

Kapitulli

1

PJESA E PËRGJITHSHME

Materialet që përdoren në elektroteknik janë shumëfarëshe. Këto nuk janë materiale që përdoren vetëm në fushën elektrike ose magnetike, por edhe materiale të tjera të cilat, së bashku me këto, jepin një tërësi të prodhimeve elektroteknike. Përveç veticë elektrike dhe magnetike, siç janë përcueshmëria e rrymës elektrike, fluksi magnetik, ndarja e përcuesve në potenciale të ndryshme etj., për materialet elektroteknike duhet të definohen edhe veçoritë e tjera, si ato mekanike, termike, teknologjike. Pra, materialet elektroteknike duhet të studohen më gjërësisht, sidomos kur të kemi parasysh zhvillimin bashkëkohor të teknologjisë së materialeve në përgjithësi.

Për njojen e materialeve elektroteknike duhet së pari të njihen bazat teorike nga të cilat duhet nisur gjatë studimit e zhvillimit dhe karakteristikat themelore që mundësojnë përdorimin e tyre.

Materialet elektroteknike të një prodhimi final mund të janë aktive, konstruktive dhe ndihmëse.

Materialet aktive janë ato që në mënyrë aktive e kryejnë funksionin e tyre në një prodhim. Detyrë e tyre është ta përçojnë (mkëmbin) rrymën, të bëjnë kryçjen dhe çkyçjen e qarkut elektrik, t'i ndajnë pjesët në potenciale të ndryshme, ta përçojnë fluksin magnetik, të emitojnë elektrone, të bëjnë shndërrimin e energjisë elektrike në lloje të tjera të energjisë dhe anasjelltas ose të akumulojnë energji. Materialet konstruktive, në anën tjetër, bëjnë lidhjen e materialeve aktive për të pëfituar prodhime finale. Materialet ndihmëse kanë detyra të llojlojshme. Bëjnë ftohjen, lyrjen si dhe kryejnë funksione të tjera të cilat ndihmojnë dhe mundësojnë funksionimin e suksesshëm të prodhimit.

inerte e atomit, ngase nuk ka ndikim të drejtpërdrejtë në veçoritë kimike dhe elektrike të elementeve. Pjesët inerte janë të shpërndara në mënyrë të rregulltë dhe formojnë të ashtuquajturën rrjet kristalor, kurse elektronet valente bëjnë lidhjet dhe mundësojnë mbajtjen e renditjes ndërmjet tyre.

Nëse trupi përbëhet vetëm prej një kristali, ka të bëjë me strukturë monokristalore. Në një trup të tillë të gjitha atomet, jonet ose molekulat, në mënyrë të rregulltë janë të shpërndara në nyjet e kristaleve. Mirëpo këto janë raste të rralla. Rastet më të shpeshta janë kur trupi i ngurtë paraqet bashkësi shumë monokristalesh, të cilat në mënyrë arbitrale janë të lidhura ndërmjet veti. Struktura e trupit të tillë quhet polikristalore. Materialet me strukturë kristalore janë anizotrope, që shihet nga fakti se veçoritë fizike të kristaleve nuk janë të njëjta në drejtime të ndryshme.

Ka raste që materiali të mos ketë strukturë as monokristalore e as polikristalore, duke qenë molekulat e tilla të shpërndara pa kurrfarë rendi. Në raste të tilla fjala është për gjendje amorfë të materialit. Trupat amorfë janë izotropë dhe këto materiale kanë veti të njëjta fizike në të gjitha drejtimet.

Rrjetin kristalor, si kuptim fizik, e përshkrumjë me sistemin e koordinatave, boshtet e të cilit x , y , z në mes veti rrjinë nën këndet α , β , γ . Vlerat e këndeve dhe gjatësia e boshteve të kristaleve (a , b , c) nuk janë gjithnjë të njëjta. Kjo gjë mundëson ekzistencën e shumë tipe sistemesh të kristaleve. Në vitin 1855 Brav konstatoi se të gjitha rrjetat kristalore mund të klasifikohen në shtatë sisteme me 14 tipe rrjetash kristalore, siç është paraqitur në tabelën 1.3.

Tab.1.3. Sistemi kristalik sipas Bravet

Sistemet e rrjetave kristalore	Numri i rrjeta. në sistem	Shenja e rrjetës	Raporti i boshteve të kristalit	Raporti I këndeve të kristalit	Shembuj
1 Triklinik	1	P	$a \neq b \neq c$ sipas dëshirës	$\alpha \neq \beta \neq \gamma$ por jo $(\pi/2)$ rad.	K_2Cr_2O , K_2CrO_7 , $CuSO_4 \cdot 5H_2O$
2 Monoklinik	2	P, C	$a \neq b \neq c$ sipas dëshirës	$\alpha = \gamma = (\pi/2)$ rad $\beta \neq (\pi/2)$ rad	$CaCO_4 \cdot 2H_2O$ (gjipsi) β -S
3 Rombik	4	P,C,I,F	$a \neq b \neq c$ sipas dëshirës	$\alpha = \beta = \gamma = (\pi/2)$ rad	α -S, Ga, SnSe, $PbCO_3$, SnS, GeS, KNO_3 , GeSe
4 Tetragonal	2	P,I	$a=b$, c sipas dëshirës	$\alpha = \beta = \gamma = (\pi/2)$ rad	SnO_2 , B-Sn, TiO_2 , KH_2PO_4 , $PbWO_4$
5 Trigonal	1	P	$a=b=c$	$\alpha = \beta = \gamma = (\pi/2)$ rad	$NaNO_3$, Ce, Bi, Kuarci, Kalciti, Magnezi
6 Heksagonal	1	P	$a=b$, c sipas dëshirës	$\alpha = \beta = (\pi/2)$ rad $\gamma = (2\pi/3)$ rad	HgS , SnS, Mn, Zn, Cd, akulli, grafiti
7 Kubik	3	P,I,F	$a=b=c$	$\alpha = \beta = \gamma = (\pi/2)$ rad	Cu, Ag, Au, Fe, Pb, Hg, $NaCl$, Si,Ge, ZnS, CaF_2 , diamanti

Në Fig. 1.4. janë paraqitur tipe rrjetash kristalore të sistemit rombik.

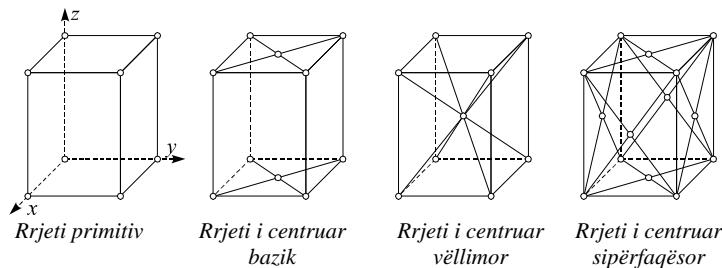


Fig. 1.4. Tipe rrjetash kristalore të sistemit rombik.

1.3. STRUKTURA E KRISTALEVE REALE

Struktura e kristaleve reale, për shkak të jopërsosmërisë të ndryshme, dallohet në esencë nga struktura ideale e kristaleve. Veçoritë mekanike, termike, elektrike, optike dhe veçoritë tjera të materialeve të trupave bukur shumë varen nga jopërsosmëria e strukturës kristalore.

Kristalet e papërsosura (joideale) klasifikohen sipas asaj se a është qendra e ndërprerjes së përsosmërisë së kristaleve në pikë, përgjatë një vije ose nëpër një sipërfaqe:

- papërsosmëritë pikësore (gropëzat, atomet në pozita intersticiale, atomet e shtesave),
- papërsosmëritë linjore,
- papërsosmëritë sipërfaqësore.

Papërsosmëritë pikësore që zakonisht quhen defekte pikësore janë:

- defekti i Frenklinit,
- defekti i Shotkiut dhe
- atomet shtesë.

Te defektet e Frenklinit, në kushte të caktuara, disa atome kristalore mund t'i lëshojnë pozitat themelore dhe të marrin pozita të tjera. Për këto atome thuhet se kanë aftësi të "avullohen" nga vendet e tyre dhe të "kondenohen" në vende të caktuara në kristale. Kështu lindin zbratzësitë në strukturë - vakancat dhe atomet në pozita speciale - atomet intersticiale. Formimi i vakancave së bashku me atome në

pozita intersticiale quhet defekt sipas Frenklinit. Kjo gjendje është ilustruar në Fig. 1.5a.

Në kristale me atome të paketuara në mënyrë të dendur formimi i defekteve Frenklini është shumë i vështirë, sepse është e vështiruar zhvendosja e atomeve dhe qëndrimi i tyre në pozita intersticiale. Mirëpo edhe në këto kristale bëhet "shkëputja" e atomeve nga pozita themelore dhe lëvizja e tyre nëpër kristale. Nëse atomet përgjatë këtyre lëvizjeve nëpër kristale nuk ndalen në asnjë pozitë brenda tyre, ato do të vijnë deri te sipërfaqja e kristalit dhe të mbisin në këto pozita. Ky lloj defekti, kur brenda kristaleve mbisin vakanca, quhet defekt sipas Shotkinit. Kjo gjendje është ilustruar në Fig. 1.5b.

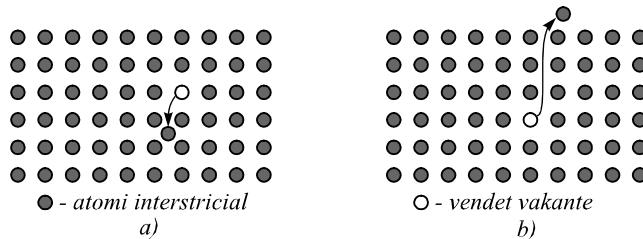


Fig. 1.5. Paraqitja e defekteve sipas: a) Frenklinit dhe b) Shotkiut.

Procesi i zhvendosjes së atomeve nga brendia e kristaleve dhe vendosja e tyre në sipërfaqe ka si pasojë zmadhimin e vëllimit të kristalit, përkatësisht bëhet zvogëlimi i dendësisë së kristaleve, meqenëse masa e kristalit nuk ndryshon.

Defektet e Frenklit dhe të Shotkiut kanë ndikime të mëdha në shumë procese që zhvillohen në kristale, por më i theksuari është ndikimi i tyre në veçoritë mekanike, termike, magnetike, optike etj.

Papërsosmëria e strukturës së materies, pos të tjerash, mjaft varet prej prezencës së atomeve shtesë në kristale reale. Edhe me metodat më bashkëkohore, që përdoren për pastrimin e kristaleve të ndryshme, nuk mund të përfitohet materiali absolutikisht i pastër. Madje, edhe materialet shumë të pastërtë përmbytjnë atome shtesë deri 10^{-9} %. Në këto materiale të pastërtë ekzistojnë 10^{11} atome shtesë në 1cm^3 .

Atomet shtesë në materialin bazik mund të jenë të shpërndara në dy mënyra, duke formuar:

1. - tretësirë të ngurtë substitucionale
2. - tretësirë të ngurtë intersticionale.

Në rastin e parë, atomet shtesë vijnë në vendet e atomeve themelore (fig.1.6a), ndërsa në rastin e dytë atomet shtesë vijnë në vendet - marrin pozita intersticiale në mes të atomeve të materialit bazik (Fig.1.6b). Tretësirat e ngurta substitucionale

formohen në mes dy lloj materialesh, atomet e të cilave kanë madhësi gati të barabartë, ndërsa tretësirat e ngurta intersticiale rëndom formohen në mes të atomeve me dimensione mjartë të ndryshme. Vetëm tretësirat substituciale mund te formohen në të gjitha marrëdhëniet e dy komponenteve përbërëse. Për këtë është e nevojshme që atomet e komponenteve përbërëse t'i përm bushin të ashtuquajturat rregulla të Hjum-Roterit (Hum-Rothery):

1. ndryshimet në dimensione të jenë më të vogla se 15%,
2. të kenë strukturë të njëjtë kristalore,
3. ndryshimet në elektronegativitet të mos jenë të mëdha dhe
4. të kenë valencë të njëjtë.

Shtesat mund të kenë ndikim bukur të madh në shumicën e veticës mekanike, kimike, magnetike, elektrike dhe në veçoritë tjera të materialeve të ngurta. Te gjysmëpërçuesit shtesat ndikojnë shumë në vlerën e rezistencës specifike elektrike. Kështu, p.sh. silici i pastër në temperaturë të dhomës duhet të ketë rezistencë specifike elektrike $2000 \Omega\text{m}$. Mirëpo, kur në të gjenden shtesat në sasi 10%, rezistanca specifike elektrike zvogëlohet në $1 \Omega\text{m}$.

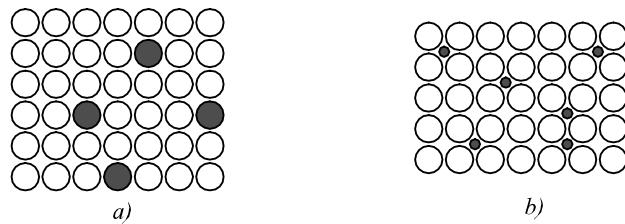


Fig. 1.6. Skemat e tretësirave të ngurta: a) tretësirat substitucionale, b) tretësirat intersticionale.

Meqenëse në këtë mënyrë analizuam vetëm defektet pikësore, duhet theksuar se këto paraqiten edhe te materialet që përbëhen prej më shumë komponentesh, për arsy se në kushtet laboratorike pjesëmarrja e komponenteve nuk përputhet gjithmonë me formulën kimike. Sasia më e madhe e atomeve në këtë rast paraqitet si atome intersticiale, ose anasjelltas do të paraqiten vakancat.

Lidhjet që mundësojnë renditje të rregullt të atomeve në kristale dhe krijimin e bashkësive më të mëdha të tyre janë të ndryshme. Kryesisht dallojmë këto lloje lidhjesh:

1. lidhjet jonike ose heteropolare,
2. lidhjet kovalente ose atomike,
3. lidhjet metalike dhe
4. lidhjet e Vandervalsit.

1.3.1. LIDHJA JONIKE OSE HETEROPOLARE

Lidhja jonike bëhet vetëm në mes të dy atomeve të ndryshme, elektropozitive dhe elektronegative. Atomet elektropozitive lehtë i lëshojnë elektronet e lira. Zakonisht, këto janë atomet e grüpuit të parë dhe të dytë në sistemin periodik të elementeve (Li, K, Na, Ba, Mg, etj.).

Atomet elektronegative janë ato atome, të cilat lehtë i pranojnë elektronet. Zakonisht këto atome u përkasin elementeve të grüpuit VI dhe VII në sistemin periodik (O, F, Cl, Br, J etj.). Lidhja jonike paraqet bashkëveprimin elektrostatik në mes joneve, elektrizimet e të cilave kanë parashenjë të kundërt. Pikërisht për këtë, lidhja jonike shpeshherë quhet lidhje heteropolare.

Si shembull marrim molekulën e kripës së kuzhinës e cila ka lidhje jonike (NaCl). Kur atomet e natriumit dhe të klorit afrohen në mes veti, elektroni valent i natriumit kalon në shtresën elektronike të klorit. Kjo shkakton formimin e dy joneve me elektricitete të ndryshme (të kundërt) dhe tërheqjen në mes tyre (Fig. 1.7).

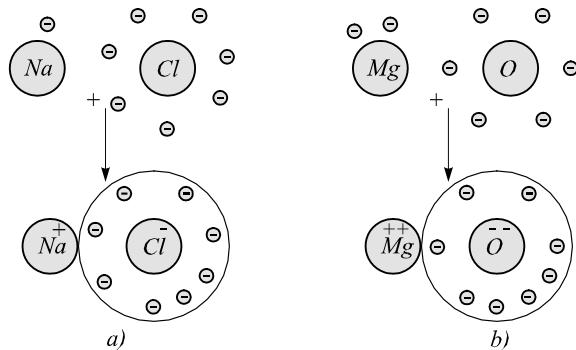


Fig. 1.7. Lidhja jonike te: a) molekulat e MgO , b) molekulat e NaCl

Si shembull të dytë, për krasim marrim lidhjen jonike të molekula e oksidit të magnezit dhe të klorurit të natriumit. Te MgO dy elektrone të magnezit kalojnë në atomin e oksigenit, duke formuar jone dyfish të elektrizuara (Fig.1.7b). Për këtë arsy, forcat elektrostatike janë më të forta të jonet e MgO se sa të NaCl . Ndryshimet në intensitetin e veprimit të forcave elektrostatike në mes jonesh manifestohen edhe në pikën e shkrirjes, që për MgO është 3073 K, ndërsa për NaCl rreth 1073 K. Bashkëdizimet tipike që kanë lidhje jonike janë: NaCl , KCl , KBr , KI , CsCl , CuO , Cr_2O_3 , MoF_2 etj.

1.3.2. LIDHJA KOVALENTE OSE ATOMIKE

Lidhja kovalente ose atomike është e pranishme në molekula dhe në trupa të ngurtë, shpeshherë të përbërë nga atome të njëjtë. Këto zakonisht janë molekulat e hidrogenit, klorit, silicit, kallajit, sulfurit, selenit dhe të kristaleve të diamantit e germaniumit. Përveç kësaj, kjo lidhje është edhe në shumë bashkëdyzime inorganike të elementeve të grupeve III dhe IV te sistemit periodik të elementeve (si te InSb, GaAs) dhe gati te të gjitha bashkëdyzimet organike.

Atomet, në të cilat paraqitet lidhja kovalente i “bashkojnë” elektronet valente, duke i formuar çiftet e elektroneve dhe duke mbushur shtresat e tyre periferike deri në konfiguracion stabil d.m.th. numri maksimal teorik i elektroneve. Gjatë këtij procesi, elektronet që marrin pjesë në formimin e lidhjes kovalente i përkasin edhe njërit edhe tjetrit atom. Në bazë të parimit të Paulit, spinet e këtyre elektroneve janë të kundërtë (antiparalele).

Lidhja kovalente mund të formohet edhe te atomet e ndryshme që kanë afinitet për formimin e elektroneve çifte me spina antiparalele. Kjo është e theksuar te GaAs, InSb etj. Formimi i lidhjes kovalente është ilustruar në Fig. 1.8, në shembullin e molekulës së hidrogjent.

Elekroni në atomin e izoluar të hidrogenit ndodhet në gjendje të pangacmuar. Kur dy atome të hidrogenit afrohen, duke i përputhur pjesërisht shtresat elektronike të tyre, nëse spinet e elektroneve janë antiparalele, shkaktohet formimi i lidhjes kovalente.

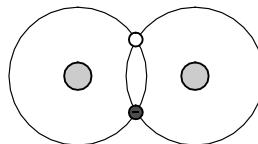


Fig.1.8. Paraqitura skematike e lidhjes kovalente dydimensionale e formuar në molekulën e hidrogenit. Për t'u vërejtur ndryshimi në spinat e orientuarë, elektronet janë paraqitur me rrathë të plotë dhe të zbrazët.

Gjatë këtij procesi të dy elektronet gjenden në mes të bërthamave të atomeve, siç është paraqitur në (Fig.1.8).

Në Fig. 1.9. është paraqitur mënyra e formimit të lidhjes kovalente të silicit, i cili ka katër elektrone në shtresën e jashtme. Këto elektrone me spina paralele mund të formojnë katër lidhje kovalente me katër atome të afërta, më ç'rast do të formohen katër çifte të elektroneve, d.m.th. konfiguracion stabil me tetë elektrone.

Karakteristikë tjetër e lidhjes kovalente është që ajo mund të realizohet vetëm në drejtime të caktuara. Sidomos është e theksuar kjo veti te atomet e silicit.

Në fund, duhet theksuar se lidhja atomike ose kovalente është lidhje e fortë stabile dhe se intensiteti i saj varet prej shkallës të mbushjes së shtresave elektronike.

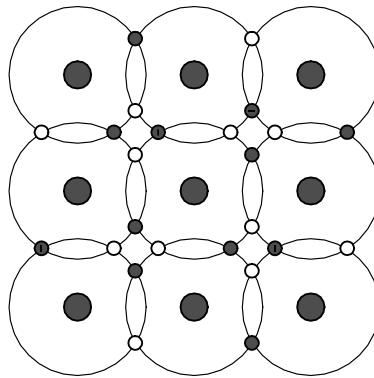


Fig.1.9. Paraqitura dydimensionale e lidhjes kovalente në kristalin e silicit.

1.3.3. LIDHJA METALIKE

Lidhja metalike është kryesisht e shprehur te trupat e ngurtë të elementeve te grupet I, II dhe III te sistemit periodik. Meqenëse këto elemente quhen metale, edhe lidhja e tyre quhet lidhje metalike. Paraqitura skematike e tillë është paraqitur në Fig. 1.10.

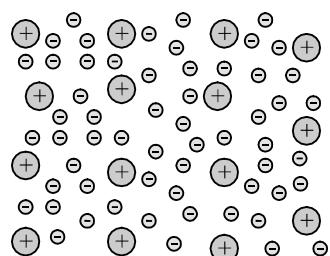


Fig.1.10. Paraqitura skematike e trupit të ngurtë me lidhje metalike.

Jonet pozitive janë të zhytura në gazin e elektroneve të lira.

Elektronet valente në metale janë të lidhura dobët për atomet amë. Nën veprimin reciprok të atomeve, gjatë formimit të materialeve të ngurta, elektronet valente lehtë i lëshojnë atomet e tyre dhe në mënyrë kaotike lëvizin nëpër tërë strukturën e trupit të ngurtë. Për këtë arsy, këto elektronet shpejsherë quhen elektrone të “lira”. Elektronet e lira nuk i përkasin vetëm një atomi, por njëkohësisht të gjitha atomeve, ose tërë trupit të ngurtë. Është bërë ligj që trupin e

ngurtë ta paraqesim skematikisht si gaz elektronik ose si re elektronike, në të cilin janë zhytur jonet pozitive të shpërndara nëpër vende të caktuara.

Ekzistenza e trupit të ngurtë është rezultat i veprimeve têrheqëse ndërmjet joneve të elektrizuar pozitivisht, në njëren anë, dhe gazit elektronik, në anën tjeter, si dhe nga veprimet shtyrëse në mes të joneve pozitive.

Lidhja metalike mund të ekzistojë vetëm në një bashkësi të madhe atomesh, gjë që për lidhjet tjera nuk është e domosdoshme.

1.3.4. LIDHJA E VAN DER VALSIT

Kjo lidhje ekziston te materialet e ndërtuara me atome neutrale dhe molekula që kanë shtresën e fundit elektronike të plotësuar.

Materialet që kanë lidhje të Van der Valsit ose molekulat janë gazet inerte në gjendje të lëngët dhe të ngurtë, hidrojeni, oksigeni, azoti në gjendje të ngurtë dhe shumë bashkëdyzime organike dhe inorganike, materialet shtresore gjysmë-përçuese etj.

Lidhja e Van der Valsit është e natyrës elektrostatike dhe është e kushtëzuar me têrheqjen në mes të dipoleve te atomeve ose te molekulave.

Lidhjet molekulare janë shumë më të dobëta se sa në tipet e përshkruara më parë. Për këtë arsy, kjo lidhje shpeshherë quhet edhe lidhje sekundare. Energjia e veprimeve reciproke të atomeve ose të molekulave te kjo lloj lidhje varet prej distancave në mes të atomeve ose të molekulave. Të gjitha materialet me lidhje molekulare kanë temperaturë të ulët të shkrirjes dhe avullohen lehtë. Kjo është pasojë e lidhjeve të dobëta dhe se këto materiale kanë energji të vogël lidhëse.

Në fund, mund të konstatojmë se shumica e materialete të ngurta nuk kanë vetëm një tip të lidhjeve, por duhet të bëhet fjalë për lidhje të kombinuara. Te bashkëdyzimet gjysmë-përçuese, PbS, PbSe, PbTe, janë të pranishme lidhjet jonike dhe kovalente njëkohësisht. Mirëpo, te materialet e ndryshme rëndom njëra prej lidhjeve është dominante, për ç'arsye, trupat e ngurtë kristalorë ndahen në kristale, jonike, metalike, kovalente dhe molekulare.

**Tab.1.4. Varësia e veticës tê kristaleve sipas tipit të lidhjes
në temperaturë $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (293K)**

Veçoritë	Tipi i lidhjeve			
	jonik	atomik	metalik	molekular
Përfaçsuesit tipikë	NaCl, LiF, CaCl ₂	diamanti, Si, Ge, SiC	Na, Fe, Cu	Ar, He, Ne, Kr
Energjia e lidhjeve J/mol	$6 \cdot 10 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10 \cdot 10^4$	$1 \cdot 4 \cdot 10^4$	10^3
Pika e shkrirjes në K	700-3300	500-3700	230-4150	600
Rezistenza spec. el. (Ωm)	$10^{12} \cdot 10^{20}$	$10 \cdot 10^{20}$	$10^{-3} \cdot 10^{-6}$	$10^{12} \cdot 10^{20}$
Koef. i përq. ter. (W/mK)	2-20	4-600	40-400	0,04-4

Varësitë e disa madhësive fizike nga lloji i lidhjeve janë paraqitur në tabelën 1.4. Duhet theksuar se tipi i lidhjeve kushtëzon edhe shumë veti të materialeve; prandaj, shpeshherë duke shpjeguar veçoritë e materialeve të ndryshme përmenden lidhjet që mbizotërojnë në to.

1.4. KLASIFIKIMI I MATERIALEVE ELEKTROTEKNIKE SIPAS VETIVE ELEKTRIKE

Te atomet e izoluara, varësisht prej nivelit energetik në të cilin gjenden, disa elektrone mund të kenë vetëm energji të caktuar. Te materialet e ngurta që përbëjnë sistem shumë atomesh, një numër i madh i atomeve është i shtrydhur në një vëllim të vogël, ku influenca reciproke është e konsiderueshme. Me kolektivizimin e atomeve bëhet degëzimi i gjendjes. Pikërisht për këtë, formohen zonat energetike. Në pajtim me parimin ekskluziv të Paulit, duhet theksuar se në çdo nivel energetik nuk mund të vendosen më tepër se dy elektrone me spina të kundërt.

Ndërmjet zonave energetike ndodhen zonat e ndaluara, nëpër të cilat nuk mund të kalojnë elektronet. Kalimi i elektroneve nga zona e ulët nëzonë më të lartë e karakterizon gjendjen e ngacmuar ose të zgjuar të atomit. Kur elektri i përfiton energjinë e mjaftueshme, për ta lëshuar zonën më të lartë të plotësuar, atomi jonizohet.

Për veçoritë elektrike të elementeve kanë rëndësi dy zonat më të larta. Kur të gjitha elektronet valente gjenden në lidhje valente, atëherë asnjë elektron nuk është në gjendje energetike të shënuar më lart. Gjendja energetike e elektroneve valente është paraqitur në zonën e parë më të ulët, për ç'arsye zona më e lartë është e zbrazët, ndërsa zona e ulët është e mbushur. Për këtë arsyen del edhe emri zona e “zbrazët”, për zona më të larta dhe zona e plotësuar apo valente për zonën e parë më të ulët. Në Fig. 1.11 janë paraqitur disa ndërmjet pozita të zonave valente dhe përquese.

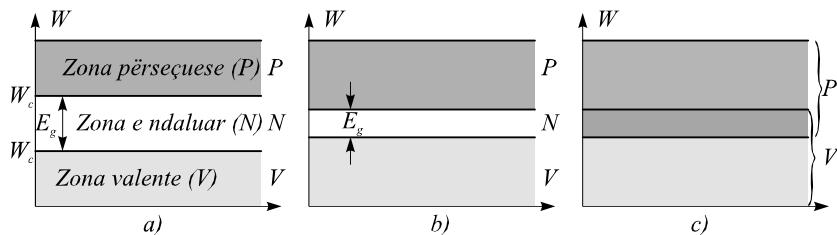


Fig.1.11. Shpjegimi skematik i zonave energetike: a) dielektrikët, b) gjysmëpërquesit dhe, c) përquesit

Elektronet që arrijnë gjendjen energetike për të kaluar në zonën më të lartë janë të liruar nga lidhjet valente dhe lëvizin nëpër rrjetin kristalor. Nën veprimin e

fushës elektrike këto elektrone vihen në lëvizje të harmonizuara duke u mëkëmbur rryma elektrike, ndërsa elektronet në lidhje valente këtë nuk mund ta bëjnë. Për këtë arsy, zona më e lartë quhet edhe zona përquese.

Fig. 1.11a paraqet materialet izoluese ose dielektrike. Largësia e madhe ndërmjet zonave tregon se elektroneve valente të atyre elementeve duhet t'u shtohet energji e madhe për lirimin e tyre nga lidhjet valente.

Për këtë arsy, në temperaturatë rëndomta një numër i vogël i elektroneve mund të arrijë energjinë e nevojshme që të lirohet nga lidhja. Mirëpo, me rritjen e temperaturës numri më i madh i elektroneve valente arrin energjinë e nevojshme për të përballuar zonën e ndaluar. Rasti i paraqitur në Fig. 1.11b vlen për materiale gjysmëpërquese. Te këto elemente zona përquese dhe valente janë relativisht afër njëra-tjetrës. Me rritjen e vogël të temperaturës disa prej elektroneve valente fitojnë energji termike, që është më e madhe se gjërisia e zonës së ndaluar dhe kështu paraqiten elektrone të lira. Këto elektrone mund të bëjnë lëvizje të orientuar edhe nën veprimin e fushës së dobët elektrike.

Materialet, te të cilat zona valente dhe zona përquese pjesërisht përputhen edhe në temperaturatë ulëta, quhen materiale përquese. Në Fig. 1.11c skematikisht janë paraqitur zonat valente dhe përquese për materiale përquese.

Klasifikimi që u tregua më parë është bërë në bazë të madhësisë së zonës së ndaluar, gjërisë së saj. Mirëpo, **materialet elektroteknike mund të ndahen në materiale dielektrike, gjysmëpërquese dhe përquese edhe sipas vlerës së rezistencës specifike elektrike.**

Rezistanca specifike (ρ) është madhësi që varet nga shumë faktorë: temperaturo, shtypja, lagështia etj. Në temperaturën e dhomës dhe në kushte tjera normale rezistanca specifike elektrike për materiale dielektrike është $10^{10} - 10^{19}$ Ωm , për gjysmëpërques prej $10^{-4} - 10^{10}$ Ωm dhe për materiale përquese prej $10^{-8} - 10^{-4}$ Ωm .

Dallimi në mes të këtyre materialeve nuk vërehet vetëm në madhësinë e rezistencës specifike elektrike, por edhe në varësinë e saj nga temperatura. Te përquesit ρ rritet me rritjen e temperaturës, kurse te materialet gjysmëpërquese dhe dielektrike zvogëlohet. Përveç kësaj, ρ ndryshon dobët me ndërrimin e temperaturës.

1.5. KLASIFIKIMI I MATERIALEVE ELEKTROTEKNIKE SIPAS VETIVE MAGNETIKE

Veçoritë magnetike të materialeve shpjegohen me ekzistimin e ndërveprimit të momenteve magnetike të atomeve dhe molekulave. Momentet magnetike të atomeve dhe molekulave janë rezultat i ekzistimit të momenteve magnetike orbitale të elektroneve dhe momenteve magnetike të spinit të elektroneve. Përveç

Është e natyrshme se te shumë prodhime, sidomos në shkallën e sotme të zhvillimit të teknologjisë, kur materialet konstruktive janë aktive, me qëllim të shfrytëzimit maksimal dhe të përfitimit të prodhimeve me dimensione sa më të vogla, transformatorët matës e kanë izolimin nga rrëshirat epokside, që njëherë paraqesin materiale konstruktive.

Sipas detyrave primare, që do të jenë edhe baza e studimit të mëtejjmë të materialeve elektroteknike, këto ndahen në katër grupe kryesore:

1. - materialet përcuese,
2. - materialet gjysmëpërcuese,
3. - materialet dielektrike dhe
4. - materialet magnetike.

Duke pasur parasysh se të gjitha dukuritë dhe veçoritë e materialeve kanë të bëjnë me strukturën e tyre, duhet që në pikë të shkurtra të njohim njojuritë themelore të strukturës së atomit dhe të materies.

1.1. NJOHURITË THEMELORE TË STRUKTURËS SË ATOMIT

Për thjeshtimin e llogaritjeve të komplikuara gjatë caktimit të raporteve të ndryshme, madhësive kualitative dhe kuantitative, shpeshherë kufizohemi në studimin e modelit të thjeshtë të atomit. Kuptohet se rezultatet e dala nuk mund të jalin vlera të sakta numerike, por me rëndësi është fakti se modeli i thjeshtuar në mënyrë korrekte i jep varësitë funksionale ndërmjet disa karakteristikave, nëse bëhet sqarimi i mekanizmit themelor që e përcakton atë varësi. Me studimin e këtij mekanizmi, shpeshherë mund të nxjernen konkluzione për veçoritë e disa grupe materialesh. Me fjalë të tjera, modeli atomik mundëson unifikimin e njojurive tonë për veçoritë e materialeve.

Në bazë të numrit të madh eksperimentesh, është vërtetuar se atomi përbëhet nga bërthama e elektrizuar me elektricitet pozitiv nukleusi dhe mbështjellësit të përbërë nga elektrone me elektricitet negativ, të cilat lëvizin me shpejtësi të madhe përreth bërthamës. Është konstatuar se bërthama përbëhet prej grimcave neutrale - neutroneve dhe grimcave të elektrizuara pozitivisht - protoneve, dhe prej grimcave të tjera. Elektronet me elektricitet negativ e neutralizojnë veprimin e bërthamës me elektricitet pozitiv. Meqenëse elektriciteti i një protoni dhe elektroni është i njëjtë përnga vlera absolute, por me shenjë të kundërt, numri i protoneve dhe i elektroneve është i njëjtë në atomin neutral. Ky numër shënohet me Z (Z - paraqet numrin rendor të elementit në sistemin periodik të elementeve).

kësaj, momentet magnetike të atomeve dhe molekulave varen edhe prej momenteve magnetike të bërthamave.

Protonet, madje edhe neutronet, kanë moment magnetik. Mirëpo, momentet magnetike të këtyre grimcave janë shumë më të vogla se të elektroneve. P.sh. te materialet feromagnetike momenti magnetik i spinit të elektronit është 650 herë më i madh se momenti magnetik i protonit.

Të gjitha materialet përnga vetit magnetike mund të klasifikohen në dy grupe. Në grupin e parë janë materialet, momenti magnetik i të cilave është i barabartë me zero, kur nuk ekziston fusha e jashtme magnetike. Këto materiale quhen materiale diamagnetike. Kur materialet diamagnetike janë nën ndikimin e fushës së jashtme magnetike, në atom indukohet momenti magnetik. Në grupin e dytë janë materialet, momentet magnetike të të cilave nuk janë zero në mungesë të fushës së jashtme magnetike. Varësisht nga ndërveprimi i momenteve magnetike të atomeve, këto materiale ndahan në paramagnetike, feromagnetike, antiferomagnetike dhe ferimagnetike.

Duhet të theksojmë se në të gjitha grupet e materialeve të lartpërmendura indukohet momenti magnetik, kur vendosen në fushën e jashtme magnetike. Prandaj, të gjitha materialet njëkohësisht janë edhe diamagnetike. Meqenëse intensiteti i momenteve magnetike të indukuara të atomeve është i pakonsiderueshëm ndaj momentit magnetik veçoriak, efekti diamagnetik nuk është i konsiderueshëm.

1.6. VEÇORITË THEMELORE TË MATERIALEVE ELEKTROTEKNIKE, STANDARDIZIMI DHE KUSHTET E PËRDORIMIT

Si rezultat i strukturave shumëfarëshe mikro dhe makrostrukturave, materialet kanë veçori të llojlojshme.

Disa prej këtyre veçorive mundësojnë që materiali të jetë i përshtatshëm për përdorim në elektroteknikë. Numri i veçorive është shumë i madh, por, meqenëse kemi të bëjmë me materiale elektroteknike, do t'i analizojmë këto veçori:

1. elektrike,
2. magnetike,
3. mekanike
4. termike,
5. kimike dhe
6. teknologjike.

Dy veçoritë e para janë primare për materiale elektroteknike dhe do t'i shqyrtojmë detajisht gjatë studimit të çdo grapi materialesh veç e veç. Në pikë të shkurtëra, do të njihemi me kuptimin e veçoritë tjera, që kanë rëndësi përfunksionimin dhe përdorimin e një materiali.

1.6.1. VEÇORITË MEKANIKE

Po qe se duam të fitojmë një aparat funksional me fortësi të caktuar të konstruksionit, me dimensione minimale e me shpenzime sa më të vogla, duhet që te materialet elektroteknike të studiohen veçoritë mekanike.

Dendësia e materies në raste të përgjithshme është definuar si:

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV} \quad (1.1)$$

ose te materialet homogjene, kur dendësia nuk ndryshohet nga pikë, është:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.2)$$

ku: m -është masa e materies, V -vëllimi i materies.

Është karakteristikë e të gjitha materialeteve, pra edhe e atyre elektroteknike, prania e zbratzive a e poreve që janë të dukshme ose të padukshme, dhe përbëhen prej një numri të madh të pjesëve të vogla. Prandaj, duhet marrë në përdorim kuptimin përfundimtare të dendësinë e vërtetë dhe atë të dukshme. Dendësia e vërtetë definohet:

$$\rho_V = \frac{m}{V_V} = \frac{m}{V_d - V_0} \quad (1.3)$$

ku:

V_V -është vëllimi i vërtetë,

V_d -vëllimi i dukshëm dhe

V_0 -vëllimi i zbratzive të çfarëdo lloji.

Poroziteti i materialit, nga ana tjetër, shprehet si marrëdhënie në mes të vëllimit të zbratzive dhe poreve të tënë vëllimit.

Duke u bazuar në karakterin e zbratzive (poreve), dallojmë porozitetin e vërtetë, të dukshëm dhe të fshehtë. Te poroziteti i vërtetë p , merren parasysh të gjitha zbratzitë dhe poret. Në atë rast do të kemi:

$$p = \frac{V_0}{V_d} = \frac{V_d - V_V}{V_d} = 1 - \frac{V_V}{V_d} = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_V} \quad (1.4)$$

Poroziteti i dukshëm p_d definohet vetëm në bazë të zbratzive dhe poreve të dukshme të hapura, ndërsa poroziteti i fshehtë caktohet nga vëllimi i zbratzive dhe poreve të fshehta.

Përveç kuptimit të porozitetit, shpeshherë definohet edhe kuptimi i mbushjes i definuar si marrëdhënësi mes të vëllimit të tërë të materialit dhe vëllimit të poreve, me ç'rast do të kemi:

$$m = \frac{V_d}{V_0} \quad (1.5)$$

prandaj: $p+m=1$.

Ndikimi i ngarkesave mekanike të materialit mund të jetë i shumëfarshëm, varësisht nga vendi dhe përdorimi i tij. Mu për këtë, duhet që përmes shqyrtimeve të konstatohet dhe të kontrollohen veçoritë e tyre në zgjatje, përkulje, përdredhje etj. Fortësia në tërheqje dhe elasticiteti e karakterizojnë materialin lidhur me qëndrimin e tij ndaj veprimit të forcave të jashtme, të cilat tentojnë t'ia ndërrojnë formën. Vlera e deformimit dhe ndrrimit të dimensionit të trupit, për një forcë, varet nga natyra e lidhjeve në rrjetin kristalik, dhe është e lidhur me ligjin e Hukut:

$$\Delta l = \frac{l \cdot F}{E \cdot S} \quad (1.6)$$

ku:

Δl - paraqet deformimin e trupit,
 l - është gjatësia e trupit,
 F - forca që vepron në trup,
 S - është prerja tërthore e trupit dhe
 E - moduli i elasticitetit.

Duke marrë në konsiderim kuptimin e zgjatjes relative:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (1.7)$$

dhe sforcimit normal si:

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

do të kemi:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \quad (1.8)$$

Varësia ndërmjet sforcimit σ dhe zgjatjes relative ε , praktikisht ndërrimit të sforcimit të zgjatjes relative, përcakton se a është trupi i ngurtë elastik ose plastik. Në Fig. 1.12 janë paraqitur varësitë e zgjatjes nga sforsimet normale e relative përlloje të ndryshme të trupave.

Në rastin e parë (a) fjala është për metalin elastik, ku në deformimet e vogla ekziston pjesa reversibile dhe është i dukshëm kufiri i rrjedhjes së materialit, kurse në rastin e dytë (b) është paraqitur materiali plastik, ku nuk vërehet kufiri i rrjedhjes. Lakoret 1. dhe 4. në rastin (c) janë nxjerrë për trupa të ngurtë dhe elastikë.

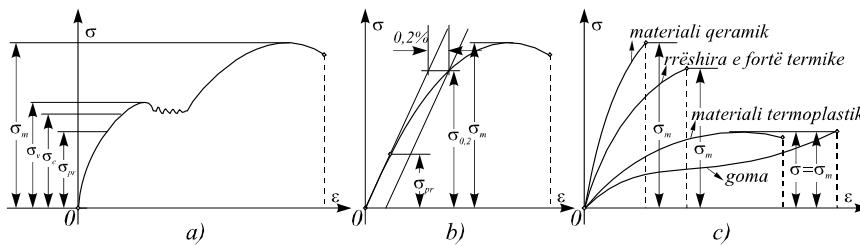


Fig. 1.12. Ndërrimi i sforsimit normal me zgjatje për: a) metalin elastik, b) metalin plastik, c) jometalin.

Madhësitetë e rëndësishme në Fig. 1.12. janë:

1. σ_e paraqet kufirin e elasticitetit që tregon se deri në çfarë sforcimi deformimet e materialeve janë elastike.
2. σ_v paraqet kufirin e plasticitetit ose të rrjedhjes, deri ku materiali deformohet në mënyrë plastike, nga e cila bëhet ndryshimi i dimensioneve të tij.
3. σ_m paraqet vlerën më të lartë të sforcimit, e cila fitohet duke e rritur ngarkesën shkallë-shkallë nga vlera zero deri sa të këpupet materiali. Te shumica e materialeve kjo vlerë përputhet me sforcimin përmes së cilët bëhet shkatrimi i materialit.
4. σ_{02} paraqet kufirin e plasticitetit, që nuk ka vlerë të theksuar për materiale. Përcaktohet si sforcim që te i cili arrihet zgjatja e përhershme prej 0,2% (për materiale të lehta kjo vlerë merret shpesherë si zgjatje e përhershme).
5. σ_{pr} paraqet kufirin e proporcionalitetit në mes të σ dhe ε , gjegjësisht paraqet vlerën deri kur vlen ligji i Hukut.

Veçoria tjetër e materialit është edhe fortësia e tij, që është e përkufizuar me rezistencën në penetrim të materialit të fortë të formës së caktuar. Fortësia, para së gjithash tregon gjendjen e materialit në sipërfaqe të tij dhe caktohet me metodat e Brinelit, Vikersit, Rokvelit dhe Shorit.

1.6.2. VEÇORITË TERMIKE

Materialet elektroteknike gjithmonë i nënshtrohen më shumë ose më pak nxehjes, e cila paraqitet si rezultat i humbjeve në aparate elektroteknike, ose si rezultat i vet procesit të eksplotimit dhe bartjes së energjisë elektrike. Gjatë këtyre proceseve lirohet një sasi bukur e madhe e nxehësisë. Në disa raste i tërë procesi teknologjik mbështetet në lirimin e nxehësisë, që nevojitet për ngrohje dhe kryerjen e punëve tjera. Për këtë arsy, duhet ditur veçoritë termike të materialeve të ndryshme.

Temperatura e shkrirjes dhe e avullimit të një materiali tregon se në çfarë temperaturë do të ndërrohet gjendja aggregate dhe se temperatura e punës së ndonjë aparati duhet me qenë sa më larg temperaturës së shkrirjes dhe avullimit të tij.

Koeficienti linear i zgjerimit termik paraqet zmadhimin së njësisë të gjatësisë ku rritet temperatura e materialit për një shkallë dhe është e rëndësishme për raste ku ka lidhje mekanike të materialeve të ndryshme të cilat nxehen ose ftohen. Në barazinë e mëposhtme jepet raporti për koeficientin linear të bymimit termik (zgjatja e trupit për Δl në interalin e kohës Δt):

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta t \quad (1.9)$$

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t}$$

Nxehtësia specifike e materialit tregon se çfarë sasie e nxehtësisë duhet t'i bëhet masës njësi të materialit të caktuar që të nxehet për një shkallë. Në bazë të këtij përkufizimi nxehtësia specifike ose kapaciteti specifik termik shprehet si:

$$C = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT} \quad (1.10)$$

ku:

dQ - paraqet sasinë sasinë e nxehtësisë të sjellë në trup,

dT - paraqet rritjen e temperaturës së trupit dhe

m - është masa e trupit të caktuar.

Vlera e nxehtësisë specifike është e ndryshme për materiale të ndryshme, dhe varet nga temperatura në të cilën bëhet përcaktimi i saj. Kjo ka rëndësi se cakton shpejtësinë e arritjes së temperaturës maksimale të punës në procesin e nxehjes, ose në procesin e mbingarkesave që nuk zgjasin shumë. Kështu ngjan te lidhja e shkurtër në sistem dhe në proceset tjera transitore, të cilat përcjellin me amplituda të theksuara të rrymës.

Te trupat e gaztë, nxehtësia specifike nuk përkufizohet vetëm me temperaturë, por edhe me shtypje. Për këtë shkak, te gaznat përdoret kuptimi i nxehtësisë specifike të gazit për shtypje konstante c_p dhe vëllim konstant c_v , dhe këto madhësi janë të lidhura me një koeficient k , që e jep raportin e tyre:

$$k = \frac{c_p}{c_v} \quad (1.11)$$

që gjithashtu, paraqet një madhësi karakteristike të gazrave e cila me parametrat e tjerë të gazit është e lidhur me shpejtësinë e zërit v në to përmes relacionit:

$$k = \frac{m}{R} \frac{v^2}{T} \quad (1.12)$$

Dhe, në fund, është me rëndësi edhe koeficienti i përqarjes së nxehtësisë, i cili tregon aftësinë e materialit për ta përquar nxehtësinë. Kjo karakteristikë është

me rëndësi të veçantë për trupat e ngurtë, ku në shumicën e rasteve nuk shprehet forma tjetër e përquarjes së nxhetësisë.

Koeficienti i përqueshmërisë së nxehësisë luan rolin e përqueshmërisë specifike të përquesit. Rëndësia e tij shihet nga shprehja:

$$\frac{1}{\lambda S} = \frac{dQ}{dT} - \text{grad}T \quad (1.13)$$

ku:

λ - paraqet koeficientin e përquarjes së nxehësisë,

S - sipërfaqen tërthore e cila qëndron normal në drejtimin e përquarjes së nxehësisë.

Te materialet me vlerë më të madhe të λ bartja e një sasie të nxehësisë, që zhvillohet në brendi të ndonjë aparati, do të bëhet me gradient më të vogël të temperaturës se në rastin e materialeve me vlerë më të vogël të λ . Koeficienti λ ka rëndësi veçanërisht në regjimet stacionare, kur ka kohë të mjaftueshme përvendosjen e fluksit të nxehësisë Q kah vendet që e pranojnë nxehësinë.

1.6.3. VEÇORITË KIMIKE

Veçoritë kimike të materialeve definojnë aftësinë e qëndresës së materialeve ndaj ndikimeve të jashtme, tretjes në materialet tjera, qendrushmërisë së materialeve ndaj ndikimeve të kushteve atmosferike etj. Përveç rastit të elektrolitit, me të cilin mund të përfitohen efekte të caktuara, prania e proceseve kimike të materialeve elekroteknike mund të ketë ndikim negativ në punën normale të një aparati elektrik. Pikërisht për këtë, kur bëhet zgjedhja e materialeve të ndryshme, kërkohet që këto materiale të jenë sa më neutrale në pikëpamje kimike, ndërmjet veti dhe ndaj ambientit. Ndodhë që materiali me prejardhje organike me kohë të fillojë të zbërthehet në komponente, ku njëra prej tyre mund të jetë aktive në pikëpamje kimike dhe kështu të rrezikojë konstruksionin.

1.6.4. VEÇORITË TEKNOLOGJIKE

Veçoritë teknologjike janë informata përmendësinë e përpunimit të materialeve. Aftësia e deformimit të trupit në të ftohtë dhe në të nxehëtë, mundësia e derdhjes në formë (kallëp), farkimit, kalitjes, tërheqjes, saldimit, pikjes etj., janë veti teknologjike me rëndësi për përdorimin e një materiali në prodhimet elektroteknike.

1.6.5. STANDARDIZIMI

Standardizimi paraqet formimin me plan të një sistemi të bazave teknike, të prodhimit, mënyrës dhe mjeteve të marrëveshjes si dhe të tipizimit të prodhimeve. Me standardizim rritet produktiviteti, zvogëlohen shpenzimet, shtohet siguria dhe kualiteti, garantohet ndërrimi i pjesëve dhe zhvillohen marrëdhëniet kooperuese në planin kombëtar dhe ndërkontinentale.

Vetë standardi i përmban këto elemente:

- të dhënat përshkruese (terminet, kushtet etj.),
- të dhënat për formën dhe madhësinë (profili, dimensionet, njësitë),
- të dhënat për materialin (veçoritë fizike, kimike etj.),
- të dhënat për udhëzime (udhëzimet e llogaritjes, provave etj.),
- të dhënat për sigurinë (rregullat për ndërtim, shfrytëzim, mbrojtje etj.).

Gjatë viteve të fundit është punuar mjaft në lëmin e përcaktimit të rregullave, rekomandimeve dhe vetë standardizimit, si në vend ashtu edhe në botë.

Prej standardeve që përdoren në botë do të veçojmë: standartet IEEE, VDE, DIN, GOST, ASTM dhe BS, si dhe rekomandimet Europiane IEC.

1.6.6. KUSHTET E PËRDORIMIT TË MATERIALEVE ELEKTROTEKNIKE

Me kushtet e përdorimit të materialeve në elektroteknikë kuptojmë kushtet e brendshme ose të jashtme, me të cilat duam të mundësojmë zhvillimin e të gjitha proceseve të domosdoshme për ndërtimin e aparatit përkatës elektroteknik dhe sigurimin e karakteristikave të dëshiruara.

Kushtet e brendshme mundësojnë zhvillimin e proceseve të nevojshme përfunksionimin e aparatit. Këto janë kushtet elektrike, mekanike, magnetike, termike etj., që do t'i shpjegojmë te materialet konkrete.

Kushtet e jashtme janë:

- temperatura e ambientit,
- lagështia atmosferike,
- faktori biologjik,
- shkëllimi i diellit,
- faktori gjeografik,
- njelmësia e ajrit,
- ndikimi i erërave,
- ndotja atmosferike etj.

Temperatura e ambientit, në të cilën parashikohet puna e aparateve të ndryshme elektroteknike, paraqet njëren nga të dhënrat elementare me të cilat manovrohet gjatë llogaritjeve dhe projektiveve të aparateve. Influencës së temperaturës së ambientit i nënshtrohen karakteristikat elektrike dhe mekanike të materialeve ose të aparateve elektrike.

Temperatura e ambientit ka ndikim të konsiderueshëm në përcaktimin e dimensioneve të disa pjesëve të aparateve në fazën e projektimit. Kujdes të veçantë duhet kushtuar si temperaturave të larta ashtu edhe atyre të ulëta, që vështërsojnë punën e aparatit.

Lagështia atmosferike, gjithashtu, paraqet ndikim të jashtëm që mund të ketë influencë në veçoritë mekanike, elektrike dhe kimike të materialeve në përgjithësi. Si zvogëlimi ashtu edhe zmadhimi, në krahasim me lagështinë e zakonshme të ambientit, mund të ndikojë negativisht në karakteristikat e materialit. Për shembull, lagështia e ambientit zvogëlon rezistencën sipërfaqësore të aparateve, me ç'rast mundësohen rritja e rrymave sipërfaqësore, dhe kështu shkaktohet kapercimi i tensionit në mes të pikave më potenciale të ndryshme. Sidomos ndikim të madh lagështia e ambientit bën në stabilimentet e tensionit të lartë, të cilat janë nën ndikimin e sforcimeve të theksuara të tensioneve dhe ndotjeve industriale.

Faktori biologjik luan rol të rëndësishëm në funksionimin e aparateve elektroteknike që punojnë në zonat tropike, gjegjësisht në rajone me klimë të butë dhe lagështi. Ndikimi i bakterieve dhe qenieve të gjalla është i theksuar te materialet e ndryshme shtresore dhe fijore dielektrike. Ndikimi i këtij faktori mund të ketë natyrë elektrike, mekanike dhe kimike. Më të rëndësishmet janë prishjet elektrike të materialeve izoluese organike, të cilat shpeshherë janë ushqim i përshtatshëm për mikroorganizma. Ndodh që për një kohë të shkurtër të bluhet e tërë masa izoluese nga këto organizma dhe kështu i tërë materiali izolues të shkatërrohen.

Faktori zoologjik, në vete përfshin një grup të madh insektesh që pengojnë punën normale të aparateve. kështu mendohet vetëm për ato shtazë dhe insekte, të cilat në mënyrë kontinuale dhe për një kohë të gjatë veprojnë në shkatërrimin gradual të materialeve.

Rrezatimi i diellit ndikon në vjetësimin e materialeve, prish ngjyrën dhe llaket e ndryshme. Pikërisht për këtë, materialeve u shthonen përbërës të ndryshëm, që zvogëlojnë aftësinë absorbuese të rrezeve ultraviolete. Mirëpo pengimi i rrezatimit direkt të diellit është mënyra më efikase e mbrojtjes.

Sasia e njelmesisë në ajër ndikon dukshëm jo vetëm në materiale dielektrike, por edhe në metale. Veçanërisht në këto kushte të pavolitshme punojnë stabilimentet elektroenergjetike të stacionuara gjatë bregdetit. Mbrojtja nga ndikimi i kripës bëhet me anën e pastave silikone dhe llakeve të ndryshme izoluese.

Një nga kushtet e jashtme që ndikon shumë është edhe ndotja e ambientit. Zhvillimi i industrisë dita ditës edhe më shumë e vështirëson punën e aparateve dhe të stabilimenteve të ndryshme. Sasia e pluhurit që del nga tymtarët e kombinateve

dhe uzinave të ndryshme, e cila mund të arrijë vlerën edhe disa tonë tona të në ditë, është shkaktare e shumicës së prishjeve dhe avarive në sistemin elektroenergetik. Sedimentimi i pluhurit mineral, blozës, kripërave, mbeturinave të gazeve të industrisë kimike etj. në sipërfaqe të aparateve zvogëlon rezistencën sipërfaqësore.

Në Fig. 1.13. është paraqitur frekuenca e prishjeve (shkarkimeve) në funksion të tensionit të trasmetimit për aparate që punojnë në zona me ndotje industriale.

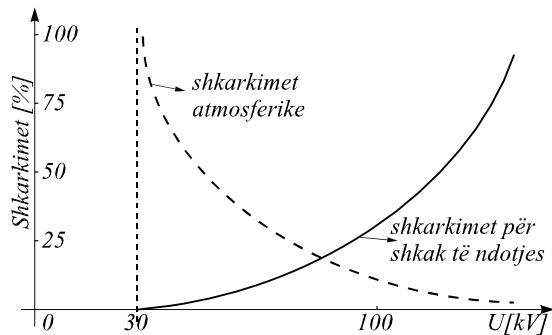


Fig. 1.13. Frekuenca e shkarkimeve në funksion të tensionit të trasmetimit

Ndikimi i ndotjes ka karakter elektrik, mekanik dhe kimik. Krijimi i forcave mekanike, zhvillimi i proceseve kimike dhe shkarkimet elektrike e vështirësojnë funksionimin e drejtë të aparateve dhe i vjetërsojnë materialet izoluese etj. Mu përkëtë, gjatë projektimit të aparateve që do të përdorën edhe në zona me ndotje industriale duhet paraprakisht të dimenzionohet izolimi, të gjenden forma më të përshtatshme që pengojnë sedimentimin e pluhurit në aparate, dhe kohë pas kohe të kontrollohet izolimi me qëllim të përcaktimit të shkallës izoluese (Si), e cila definohet duke marrë parasysh vlerat e përballimit të mbitensioneve të brendshme, të jashtme dhe ndotjen industriale. Në Fig. 1.14. është dhënë një skemë principiale e shqyrtimit të izolimit me tension alternativ të frekuencës prej 50 Hz.

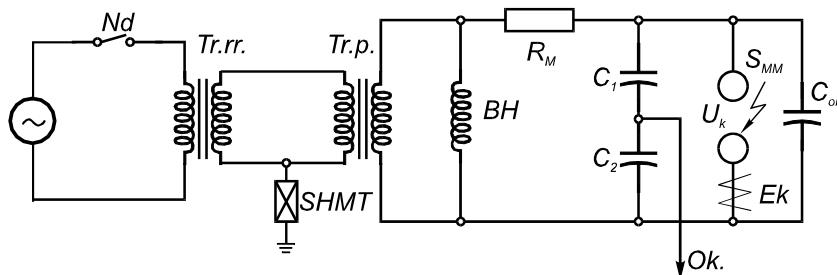


Fig. 1.14. Skema principiale e shqyrtimit të izolimit me tension alternativ me frekuencë 50 Hz.

ku:

Tr.rr	- transformatori rregullues,	C_1, C_2	- pjestuesi kapacitiv,
Tr.p	- transformatori provues,	C_{ob}	- kapaciteti i objektit,
SHMT	- shkarkuesit e mbitensionit,	S_{MM}	- sferat mbrojtëse,
R_M	- rezistenca mbrojtëse,	U_k	- tensioni i shqyrtimit.
BH	- bobina harkshuarëse.		

Duke marrë parasysh se dimensionet e atomit janë të vlerës $\sim 10^{-10}$ m, ndërsa rreza e bërthamës është $\sim 10^{-15}$ m, në aspektin e fizikës klasike atomi në pjesën më të madhe është i "zbrazët", por nga aspekti i mekanikës kuantike elektronet që rrotullohen rrëth bërthamës, para së gjithash paraqesin shpërndarje kontinuale të ngarkesës.

Masa e elektronit është shumë më e vogël se masa e protonit dhe e neutronit. Pikërisht për këtë, e tërë masa e atomit është e koncentruar në bërthamën e tij. Çiftet e protoneve dhe të neutroneve (nukleonet) dhe elektronet rrotullohen rrëth boshtit të tyre dhe kanë moment të caktuar të sasisë së lëvizjes ($p=J h /2\pi$), ku J - është numër i tërë ose $1/2$. Shuma vektoriale e të gjitha momenteve elementare të sasisë së lëvizjes në bërthanë formon momentin e sasisë së lëvizjes sa saj, ose spinin e bërthamës. Për shkak të antiparalelizmit të shpeshtë të momenteve elementare të sasisë së lëvizjes, vlera e spinit të bërthamës nuk është proporcionale me shumën e nukleoneve që e formojnë bërthamën. Me rrallimin e nukleoneve, paraqitet edhe lëvizja rrotulluese e ngarkesave, bartëse e së cilës është protoni dhe, si rrjetim i kësaj paraqitet edhe momenti dipol magnetik i nukleonit.

Gjendja e çdo elektri në atom mund të karakterizohet plotësisht me katër numra kuantikë:

1. numri kuantik kryesor n , që e definon energjinë e atomit, me vlera $n=1, 2, 3, \dots$;
2. numri kuantik orbital l , që e definon momentin orbital të lëvizjes së elektronit, me vlera $l=0, 1, 2, \dots, (n - 1)$;
3. numri kuantik magnetik m , që e karakterizon momentin magnetik, me vlera $m=0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$;
4. numri kuantik i spinit s , që e karakterizon rrotullimin e elektronit rrëth boshtit të vet, me vlera $s=+1/2$ dhe $-1/2$.

Të gjitha elektronet, që e kanë numrin kryesor kuantik të barabartë përbëjnë një shtresë ose luspë. Në bazë të numrit kuantik $n= 1, 2, 3, \dots$, shtresat e elektroneve shënohen me shkronjat K, L, M, N, ...

Elektronet me numër të njëjtë kuantik n të atomit dhe numër të ndryshëm kuantik l përbëjnë nënluspat e atomit. Gjendjet që u përgjigjen vlerave të ndryshme të numrit $l=0, 1, 2, \dots$ shënohen me shkronjat s, p, d, f, ...

Numri i mundshëm i gjendjes së elektroneve të karakterizuar përmes numrave kuantikë n, l, m është n^2 . Sipas parimit të Paulit, në gjendjen e dhënë kuantike të caktuar me anën e tre numrave kuantikë nuk mund të gjenden më shumë se dy elektrone. Duke e marrë në konsiderim edhe numrin kuantik s , del se në gjendjen e karakterizuar me të katër numrat kuantikë mund të ekzistojë vetëm një elektron.

Në tabelën 1.1, është dhënë shpërndarja e elektroneve me shënimin e numrit maksimal të elektroneve në disa nënluspa. Natyrisht, nuk është e domosdoshme që të gjitha nënluspat të mbushen me elektrone.

Tema për diskutim

1. *Ku qëndron ndryshimi në interpretim të strukturës së atomit në mes të fizikës klasike dhe mekanikës kuantike?*
2. *Çka definojnë numrat kuantik të atomit?*
3. *Atomi në gjendje të ngacmuar dhe të pangacmuar.*
4. *Çfarë defektesh mund të paraqiten në mikrostrukturë të materies nën veprimin e fushave të jashtme: elektrike, magnetike, mekanike, termike she atomeve shtesë?*
5. *Lidhjet kimike mundësojnë radhitje të rregullt të atomeve në kristale. Sa dhe si ka ndikim energjie e çdo lidhjeje kimike në vetitë e materialeve përkatëse?*
6. *Çka janë matrialert me strukturë monokristalore dhe polikristalore?*
7. *Duke i definuar zonat energjetike të materialeve bëjmë edhe klasifikimin e tyre. Si shpjegohet ky klasifikim?*
8. *Sa dhe si janë të shpërndara elektronet në luspa dhe nënluspa të atomit. Çka është parimi i Paulit?*
9. *Sa dhe si ndikojnë faktorët e jashem në veçoritë e materialeve në përgjithësi?*
10. *Shkalla- niveli i izolimit , standardizimi dhe shqyrtimi i veçorive të materialeve në kohë dhe kushte të caktuara është detyrë e përhershme e specilaistëve të elektroteknikës. Pse?*

Tab.1.1. Shpërndarja e luspave, nënluspave dhe numri maksimal i elektroneve në atome

Numri kryesor kuantik	Luspa	Nënluspa	Numri maksimal i elektronve në nënluspa	në luspa
1	K	s	2	2
2	L	2s-2p	2+6	8
3	M	3s-3p-3d	2+6+10	18
4	N	4s-4p-4d-4f	2+6+10+14	32
..
.
		.	.	.
		ns-np-nd-...	.	$2 \cdot n^2$

Kur atomi është në gjendje të pangacmuar, elektronet kanë energji minimale. Si rrjedhim i kësaj, së pari mbushen luspat me nivele më të ulëta energjetike.

Në bazë të parimit të Paulit, në luspën K mund të gjenden dy elektrone, në shtresën L më së shumti $2 \cdot 2^2 = 8$ elektrone, kurse në luspën që i përgjigjet numrit kuantik n më së shumti $2 \cdot n^2$ elektrone.

Nga kjo del se mund të mbeten të zbrazëta vetëm shtresat me nivele energjetike më të larta, shtresat e jashtme. Elektronet që gjenden në luspat e brendshme, në nivele energjetike të plotësuara, janë të lidhura fort për bërtamën.

Elektronet duke marrë energji në formë të nxehësisë, të rrezatimit etj., mund të marrin sasinë e energjisë së nevojshme për të kaluar në shtresë më të lartë energjetike.

Për atomet me këtë ndryshim energetik themi se janë në gjendje të ngacmuar. Me kthimin e elektronit në gjendjen e mëparshme, ai kalon përsëri në gjendjen e pangacmuar.

Gjendja e elektroneve në luspën e jashtme është labile. Duke ia shtuar një sasi të energjisë atomit, këto lehtë shkëputen nga atomi. Këto atome janë në gjendje të jonizuar. Kështu, elektronet e lira më tej paraqiten si grimca të zakonshme elementare me elektricitet negativ dhe, mbas tyre atomi mbetet i cunguar, që paraqet jon të elektrizuar pozitivisht.

Çdo atom që nuk e ka të mbushur shtresën e fundit, përpinqet që gjatë takimit me atomin e afërt ta mbushë shtresën e tij, duke pranuar një sasi elektronesh, ose të japë elektrone nga shtresa e vet e fundit. Në këtë mënyrë bëhen lidhjet kimike në mes të atomeve. Numri i elektroneve në shtresën e fundit i përcakton veçoritë kimike. Këto elektrone quhen elektrone valente. Numri i tyre nuk bënë të jetë më i madh se tetë dhe përcakton se në cilin grup të sistemit periodik do të gjendet elementi. Atomet e elementeve që në luspen e jashtme kanë tetë elektrone, d.m.th. luspë të plotësuar (grupi 0), është vështirë t'u ndryshohet gjendja. Këto elemente, gazet interne, nuk hyjnë në reaksione kimike me atomet e elementeve të tjera.

Atomet e elementeve, në të cilat shtresat e jashtme nuk janë të mbushura, për stabilitet më të madh bashkohen me atome përreth në molekula. Elementet e tilla kanë strukturë molekulare. Kështu, atomet e grupeve I, II, III që përbëjnë nga 1, 2 përkatësisht 3 elektrone, leht i lëshojnë elektronet, duke mbetur të elektrizuar pozitivisht, me ç'rast bëhen jone pozitive (elemente elektropozitive).

Atomet e grupeve V, VI dhe VII, të cilat përbëjnë nga 5, 6 apo 7 elektrone valente, kanë aftësi të bashkojnë 3, 2, përkatësisht 1 elektron, me ç'rast bëhen jone negative (elemente elektronegative).

Në grupin VII të elementeve paraqiten ca parregullësi rrëth plotësimit të disa shtresave, ndërsa elementet e grupit IV janë si urë kalimi ndërmjet grupeve të elementeve elektropozitive dhe elektronegative.

Rëndësia e elektroneve valente nuk qëndron vetëm te veçoritë kimike, por edhe si bartës të veticë tjera të materies. Në (Fig. 1.1.), është paraqitur modeli i strukturës elektronike të disa elementeve kimike, kurse në tabelën 1.2 është paraqitur sistemi periodik i elementeve.

Sipas mekanikës kuantike, elektronet nuk kanë vetëm natyrë korpuskulare (grimce), por edhe valore. Në këtë rast elektroni nuk mund të paraqitet si masë e koncentruar, por si një valë elektronike që e mbush tërë hapësirën përreth bërthamës. Mekanika kuantike nuk jep përgjegje të saktë në pyetjen se ku gjendet grimca në momentin e caktuar, por vetëm mundësinë të parashikohet se çfarë është gjasa që grimca të gjendet në pjesë të caktuar të hapësirës. Me zgjidhjen e ekuacionit të Shredingerit në mekanikën kuantike, konkludojmë se energjia është kuantizuar. Mandej, momenti i sasisë së lëvizjes dhe projekzioni i tij te atomi i hidroqjenit, gjithashtu, është i kuantizuar. Në teorinë e Borit këta numra kuantikë janë shënuar me l dhe m . Shpërndarja e dendësisë së elektrizimit në mekanikën kuantike mundëson që të studjohet ideja e ekzistimit të shtresave energjetike.

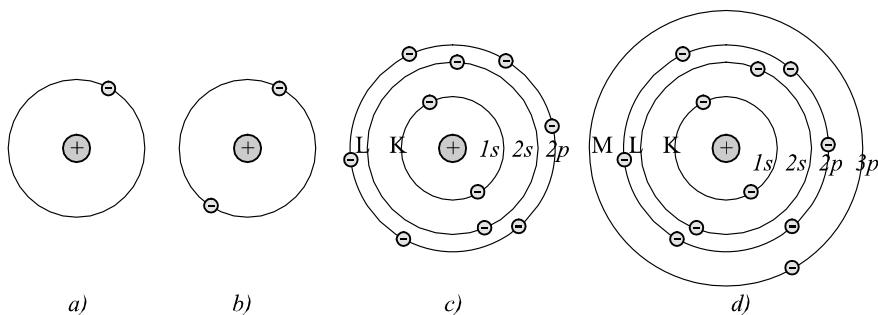


Fig. 1.1. Modeli elektronik i strukturës së atomit:

- a) atomi i hidroqjenit,
- b) atomi i heliumit,
- c) atomi i neonit dhe
- d) atomi i natriumit.

1.2. NJOHURITË THEMELORE PËR STRUKTURËN E MATERIES

Duke i bashkuar atomet e elementeve në grupe më të mëdha, formohen materialet që i njohim në praktikë. Dihet se kur afrohen dy atome, së pari paraqiten forcat dëbuuese ndërmjet bërthamave e ndërmjet elektroneve dhe forcat tërheqëse ndërmjet bërthamave dhe elektroneve. Si pasojë e kësaj paraqiten ndërrimet në lëvizjen e elektroneve të jashtme. Nëse energjia e këtyre elektroneve është më e vogël se e atomit të vettuar, bëhen lidhjet e atomeve, dhe me ndihmën e forcave lidhëse kimike fomrohen molekulat. Interaksioni ndërmjet molekulave, distanca dhe dendësia e tyre e përcakton gjendjen aggregate të materialeve.

Materialet e ndryshme paraqiten në tri gjendje agaregate:

1. gjendja aggregate e gaztë,
2. gjendja aggregate e lëngët dhe
3. gjendja aggregate e ngurtë.

Plazma, si gjendje e materies, sipas rregullës, paraqitet vetëm në kushte të veçanta. Sasia e nxehtësisë që është e lidhur ngusht me energjinë e molekulave, drejtpërdrejt ndikon në gjendjen aggregate. Nga veprimin i nxehtësisë bëhet ndërrimi i gjendjes aggregate të trupit.

1.2.1. GAZRAT

Materialet në gjendje të gaztë pa ndikim të jashtëm kanë aftësi të zgjerohen dhe të përfshijnë tërë hapësirën përreth. Në kushte normale dendësia e gazit është e vogël, ndërsa distancat në mes të molekulave janë disa herë më të mëdha se dimensionet e tyre. Në këtë gjendje aggregate energjia e molekulave dhe liria e lëvizjes së tyre është më e madhe. Lëvizja e molekulave te gazrat është kaotike dhe trajktoret e tyre janë arbitrale. Këto lëvizje përbëhen nga një grumbull vijash të drejta, gjatësish dhe drejtimesh të ndryshme, (Fig.1.2.).

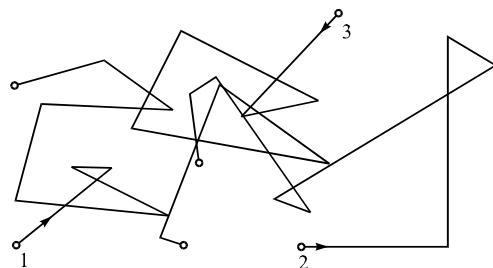


Fig. 1.2. Lëvizja kaotike e molekulave të gazrave

Ndonëse në gazra molekulat lëvizin në mënyrë kaotike, ato u nënshtrohen ligjeve të caktuara.

1.2.2. LËNGJET

Te materialet e lëngëta molekulat në mes veti gjenden në distanca më të vogla se te molekulat e gazeve dhe formojnë një kompleks jostabil në gjendje kuazistacionare. Gjendja e lëngët aggregate mund të realizohet për çdo material në temperaturë dhe shtypje të caktuar, qoftë duke kaluar prej gjendjes së gaztë ose të ngurtë. Në rastin e parë është fjala për kondensim, ndërsa në të dytin për shkrirje. Kjo do të thotë se gjendja aggregate e lëngët është gjendje në mes të trupave të ngurtë dhe të gaztë.

1.2.3. TRUPAT E NGURTË

Për materialet elektroteknike më interesante është gjendja aggregate e ngurtë (trupat e ngurtë), meqenëse pjesa më e madhe e materialeve elektroteknike janë në këtë gjendje. Materialet e ngurta kanë veti ta ruajnë formën dhe vëllimin, dhe se ndërrimet e tyre për shkak të veprimit të forcave të dobëta të jashtme në shumicën e rasteve nuk janë të konsiderueshme. Te trupat e ngurtë grimcat prej të cilave është i ndërtuar trupi (atomet, jonet, molekulat) marrin pozita të caktuara në hapësirë për dallim prej lëngjeve dhe gazeve. Në Fig. 1.3. është dhënë shpërndarja dydimensionale e grimcave përbërëse të gjendjes aggregate të ngurtë, të lëngët dhe të gaztë.

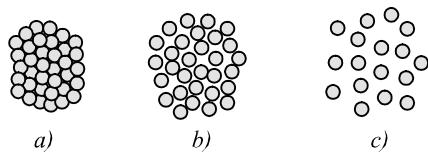


Fig. 1.3. Shpërndarja dydimensionale e grimcave përbërëse të gjendjes aggregate për trupa:
a) të ngurtë, b) të lëngët dhe c) të gaztë.

Materialet e ngurta, në përgjithësi, ndahen në kristale dhe amorfë. Në elementet që kanë strukturë kristalore, një numër i madhe i atomeve llojesh të njëjtë gjenden në hapësirë mjaft të vogël. Për t'u paraqitur renditja e tyre, mund të supozohet se çdo atom përbëhet prej dy pjesëve. Pjesën e parë e formojnë elektronet valente (elektronet e luspës së jashtme elektronike), ndërsa pjesën e dytë e formojnë bërthama dhe elektronet tjera. Pjesa e dytë shpeshherë quhet pjesa

$$\mathbf{J} = -e \times n \times \mathbf{v}_e \quad (2.27)$$

atëherë

$$\mathbf{E}_H = \frac{1}{e \times n} \mathbf{J} \times \mathbf{B} \quad (2.28)$$

Ekzistenza e kësaj fushe do të kushtëzojë paraqitjen e ndryshimit të potencialit ndërmjet pikave në anën e A₁, A₂, A₃, A₄, dhe atyre në anën e A'₁, A'₂, A'₃, A'₄. Kështu, ndryshimi i potencialit të pikave do të jetë P₁ dhe P₂ (Fig. 2.44c):

$$U_{P1P2} = j_{P1} - j_{P2} = E_H \times P_1 P_2 \quad (2.29)$$

Prandaj,

$$U_{P1P2} = \frac{1}{e \times n} (\mathbf{J} \times \mathbf{B}) \times P_1 P_2 \quad (2.30)$$

Duke iu referuar Fig. 2.44b dhe c, ndryshimi i potencialit do të jetë:

$$U_{P1P2} = \frac{1}{e \times n} J \times B_a \quad (2.31)$$

ose:

$$U_{P1P2} = \frac{1}{e \times n} \frac{I}{b} B \quad (2.32)$$

Ky tension quhet tensioni i Hollit.

Barazia për \mathbf{E}_H (fushën e Hollit) mund të shkruhet në formë:

$$\mathbf{E}_H = -\frac{1}{e \times n} (\mathbf{B} \times \mathbf{J}) = R_H (\mathbf{B} \times \mathbf{J}) \quad (2.33)$$

Madhësia $R_H = -1/e \times n$ quhet konstanta e Hollit. Për materiale në të cilat vetëm elektronet janë bartësit e ngarkesave të elektricitetit, konstanta e Hollit është negative. Meqenëse është $s = e \times m$, atëherë

$$|R_H| \times s = m_H \quad (2.34)$$

Barazia e fundit nevojitet për definimin e lëvizshmërisë së bartësve dhe quhet lëvizshmëria e Holit. Duhet vërejtur se kjo lëvizshmëri, në rastet e përgjithshme, ndryshon nga lëvizshmëria "drift". Në materialet përquese këto dy lëvizshmëri praktikisht janë të njëjta.

Konstanta e Hollit nuk është madhësi permanente, por pak a shumë varet prej temperaturës, llojeve të shtesave në materiale etj. Në tab. 2.41. janë dhënë konstantat e Hollit dhe të lëvizshmërisë në temperaturën e dhomës për disa metale.

Gjatë përcaktimit eksperimental të lëvizshmërisë dhe koncentrimit të bartësve të ngarkesave duhet bërë siç vijon:

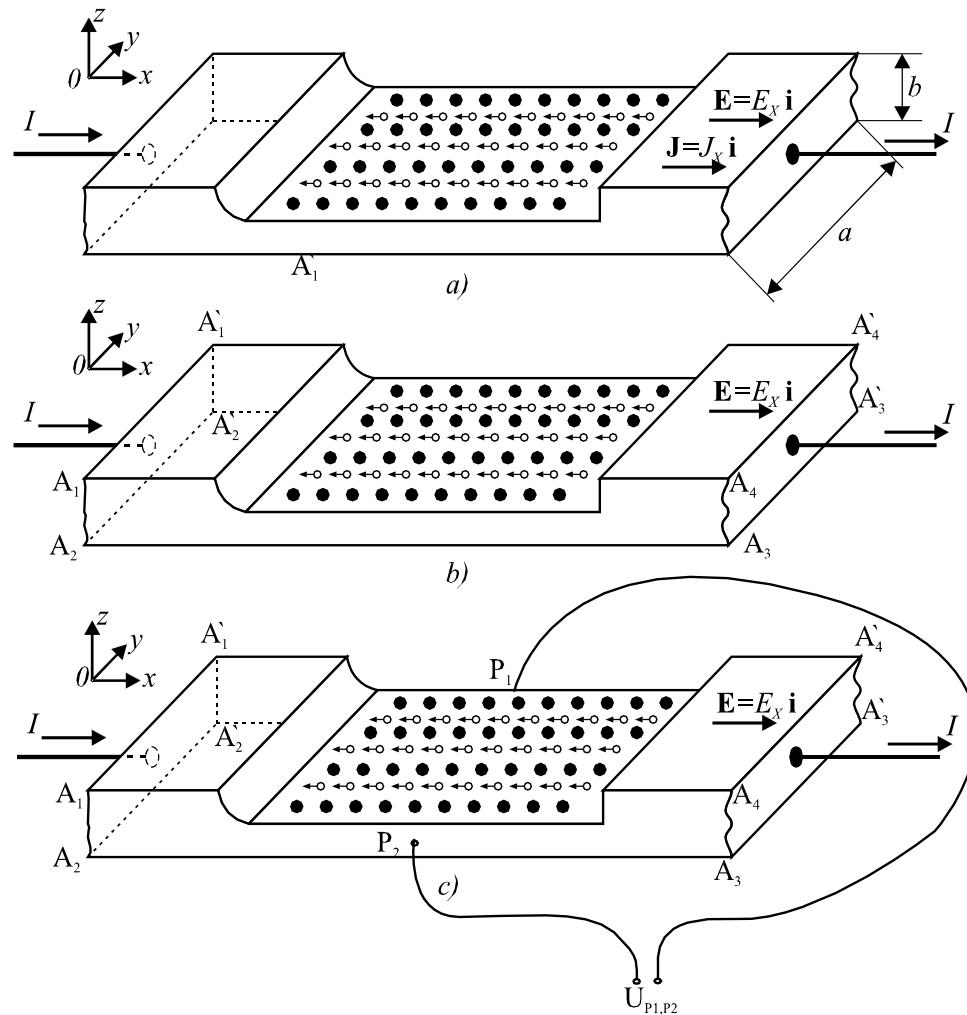


Fig. 2.44. Mostra:

- (a) e formës së paralelopipedit kënddrejtë të materialit që ka shpërndarje kontinuale të rrymës nëpër prerjen tërthor paralele me boshtin yOz . Mostra
- (b) është material i njëjtë i vendosur në fushën homogjene magnetike të orientuar në kahje të boshtit Oz . Mostra
- (c) me rastin e ndarjes së elektrizimeve negative dhe pozitive në mostër paraqitet fusha e Hollit E_H .

Tab. 2.41. Konstantet e Hollit dhe të lëvizshmërisë së elektroneve në disa metale për $T=20^{\circ}\text{C}$.

Metalet	$10^{10} \mathbb{R}_H$ (m^3/C)	mH (m^2/Vs)
Ag	-0.84	0.0056
Al	-0.30	0.0012
Au	-0.72	0.0030
Cu	-0.55	0.0032
Li	-1.70	0.0018
Na	-2.50	0.0053

- Në mostrën e formës së paraqitur në Fig. 2.44 a duhet të vendosim rrymë të përhershme, e mandej e njëjtë të futet në fushë magnetike të induksionit \mathbf{B} , ashtu që vektorët \mathbf{J} dhe \mathbf{B} të kenë drejtim si në Fig. 2.44b.
- Të matet intensiteti i rrymës në mostër, intensiteti i induksionit magnetik dhe tensioni i çfarëdo pike P_1 dhe P_2 (Fig. 2.44c). Gjatë matjes së tensionit $U_{P_1P_2}$ nuk është me rëndësi të dihet se cila prej pikave, P_1 dhe P_2 , është në potencial më të lartë. Gjithashtu, edhe me rastin e matjes së rrymës nuk është me rëndësi të dihet drejtimi i rrymës.
- Në bazë të matjeve të bëra dhe barazisë (2.35) llogaritet konstanta e Hollit, përkatesisht koncentrimi i ngarkesave.
- Llogaritet lëvizshmëria e ngarkesave të Hollit $m_H = |\mathbb{R}_H| \mathcal{S}$ në bazë të konstantes së caktuar të Hollit dhe matjes së përqueshmërisë specifike elektrike të mostrës.

$$|U_{P_1P_2}| = |\mathbb{R}_H| \times \frac{IB}{b} \quad (2.35)$$

Në qoftë se duhet të përcaktohet eksperimentalisht edhe tipi i bartësve të elektricitetit gjë që është shumë me rëndësi për gjysmëpërcuesit, atëherë veprohet në këtë mënyrë:

- Me ndihmën e voltmetrit caktohet se cila pikë: P_1 ose P_2 është në potencial më të lartë dhe, në bazë të kësaj caktohet kahja e vektorit \mathbf{E}_H .
- Për drejtime dhe kahje të njohura të vektorëve \mathbf{B} dhe \mathbf{J} (Fig. 2.44 b) përcaktohet kahja e vektorëve $\mathbf{B} \times \mathbf{J}$. Nëse vektorët \mathbf{E}_H dhe $\mathbf{J} \times \mathbf{B}$ janë të kundërt (me kahje të kundërtta), atëherë në bazë të barazisë për \mathbf{E}_H , $R_H < 0$ dhe bartësit e ngarkesave janë elektronet. Kur vektorët \mathbf{E}_H dhe $\mathbf{B} \times \mathbf{J}$ janë me kahje të njëjtë, atëherë $R_H > 0$ dhe bartësit në material janë të elektrizuar pozitivisht. Për këtë tip të ngarkesave do të bëhet fjalë më vonë.

2.9. MATERIALET GJYSMËPËRÇUESE

2.9.1. KARAKTERISTIKAT E PËRGJITHSHME TË MATERIALEVE GJYSMËPËRÇUESE

Me materiale gjysmëpërçuese ideale kuptojmë materialet e ngurta, me strukturë monokristalore, dimensionesh të pakufizuara, pa shtesa dhe pa defekte, që janë të mbrojtura nga ndikimet e fushave të jashtme elektrike dhe magnetike.

Nëse zona më e lartë energetike e trupit të ngurtë është tërësisht e plotësuar e mbi të ka zonë tërësisht e lirë, që është e distancuar nga zona e plotë me një zonë të ngushtë me energji të ndaluar, zonë e ndaluar (më e vogël se 5eV) në temperaturën e rëndomtë, atëherë ky trup i ngurtë në zero kelvin është një dielektrik (izolator), ndërsa në temperaturën e rëndom është gjysmëpërçues.

Me materiale gjysmëpërçuese kuptojmë edhe ato materiale në të cilat energjia e zonës së ndaluar është më e vogël se 3eV . Gjerësia e zonës së ndaluar varet nga temperatura, shtypja etj. Kjo madhësi, në literaturë shënohet me W_g ose me E_g . Në tabelën 2.42 janë dhënë vlerat e gjerësisë së zonës së ndaluar për disa materiale gjysmëpërçuese në temperaturën e dhomës.

Ekzistenza e zonës valente plotësish të plotësuar, përkatësisht zonë përquese totalisht të zbrazët, në temperaturatë ulëta, si dhe ekzistenza e zonës së ndaluar energetike, ka si rrjedhim që përçueshmëria specifike elektrike e të gjitha materialete ideale gjysmëpërçuese është e barabartë me zero.

Karakteristikat e përgjithshme të materialete gjysmëpërçuese janë:

- përçueshmëria specifike elektrike gati për çdo temperaturë rritet me rritjen e temperaturës;
- përçueshmëria specifike elektrike shumë më tepër se sa te metalet varet nga deformimi i kristaleve, koncentrimi dhe llojet e shtesave në material etj;
- përçueshmëria specifike elektrike shumë varet prej faktorëve të jashtëm: temperaturës, presionit, intensitetit të drejtës, fushës elektrike dhe magnetike, nën ndikimin e të cilave ndodhet materiali etj.

Në fund duhet të theksohet se në materialet ideale gjysmëpërçuese nuk mund të ekzistojnë elektrone, energjia totale e të cilave i përket zonës së ndaluar.

Tab.2.42. Gjerësia e zonës së ndaluar energjetike në disa materiale gjysmëpërçuese në temperaturën 20 °C

Materialet	Gjerësia e zonës së ndaluar energjetike	Materialet	Gjerësia e zonës së ndaluar energjetike
Si	1,12	InSe	1,2
Ge	0,68	In ₂ Se ₃	1,2
Se	2,1	In ₂ Te ₃	1,0
Te	0,34	ZnSe	2,7
a-Sn	0,08	ZnTe	2,2
Cu ₂ O	2,0	CdS	2,4
Ag ₂ S	0,9	CdSe	1,8
AlAs	2,16	Hfs	2,0
AlSb	1,6	CdTe	1,45
GaP	2,26	SnS	1,08
GaAs	1,43	PbS	0,41
GaSb	0,70	PbSe	0,29
InP	1,35	PbTe	0,32
InAs	0,36	ZnGeP ₂	2,2
InSb	0,18	GdSnP ₂	1,2
GaSe	2,0	GdIn ₂ Te ₄	0,9
GaTe	1,5	HgIn ₂ Se ₄	0,6

2.9.2. MEKANIZMI I FORMIMIT TË NGARKESAVE TË LIRA NË GJYSMËPËRÇUESIT TË PASTËR DHE ME SHTESA

Paraqitja e ngarkesave të lira në materialet gjysmëpërçuese të pastërtë do të shpjegohet në rastin kur silici është i pastër. Atomi i silicit ka 14 elektrone. Katër nga këto elektrone janë të lidhura dobët për atom dhe, këto elektrone marrin pjesë në reaksionet kimike. Këto quhen elektrone valente. Dhjetë elektronet tjera bashkë me bërrhamën e përbëjnë mbetjen atomike.

Çdo atom në kristalin e silicit është i rrëthuar me 4 atome të afërta. Në Fig. 2.45 skematikisht është dhënë shpërndarja e atomeve dhe e elektroneve valente në kristalet e silicit. Në mes dy atomeve të afërta të silicit është bërë lidhja kovalente (shiko kapitullin e shpjegimit të lidhjeve kimike në atom). Në kristalin ideal të silicit, në zeron absolute, të gjitha elektronet janë të lidhura me atomet amë. Meqenëse në kristal nuk ka elektrone të lira, nën ndikimin e fushës së jashtme elektrike nuk mund të vendoset rryma elektrike. Për tu vendosur në kristale rryma elektrike, në materiale duhet të ketë elektrone të lira. Procesi i paraqitjes së

elektroneve të lira quhet gjenerimi. Gjenerimi i elektroneve të lira mund të paraqitet nëse kristalit të caktuar i shtohet energjia termike e dreitës ose ndonjë energji tjeter nga jashtë.

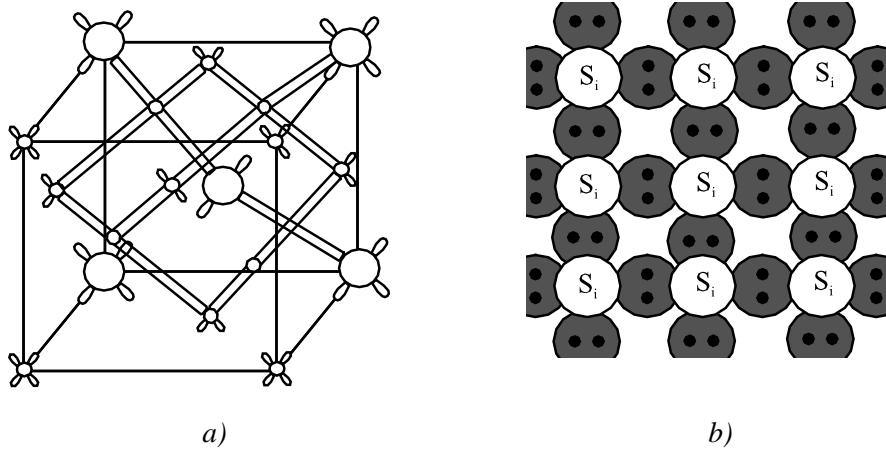


Fig.2.45. a) Qelia elementare e kristalit të silicit,
b) paraqitura skematike e shpërndarjes së atomeve dhe e elektroneve valente në kristalin e silicit.

Në Fig.2.46 a. skematikisht është ilustruar gjenerimi i elektroneve të lira në silic në llogari të energjisë termike, ndërsa në Fig. 2.46b. është paraqitur ky proces në llogari të energjisë së absorbuar të dritës.

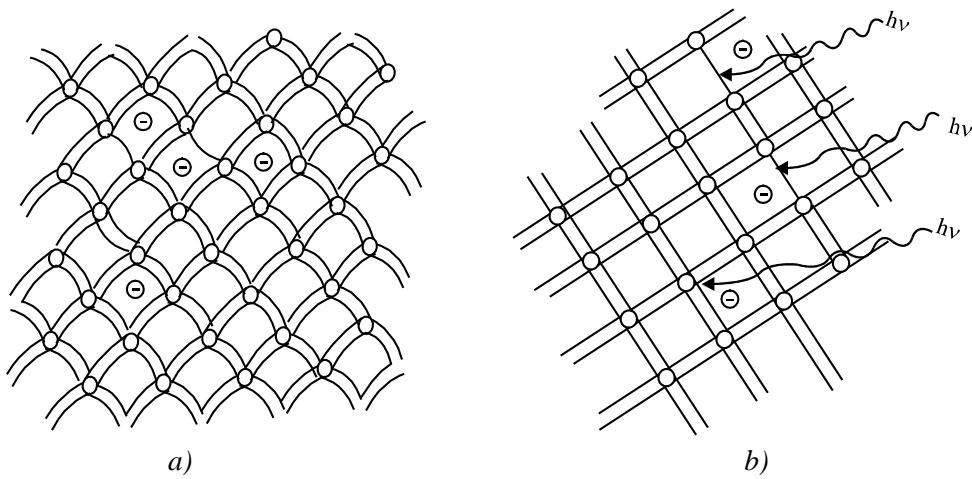


Fig.2.46. Gjenerimi i elektroneve të lira në kristalin e Si: a) në llogari të energjisë termike dhe b) në llogari të energjisë së absorbimit të dritës.

Siç shihet edhe nga Fig. 2.46 gjenerimi i çdo elektroni të lirë është i përcjellur me lindjen e një lidhjeje jo të plotë kovalente. Kjo lidhje jo e plotë quhet zbratzirë. Në kristalet e pastërtë numri i elektroneve të lira është i njëjtë me numrin e zbraztive. Materiali gjysmëpërçues, i cili edhe në temperaturatë ulëta ka numrën të njëjtë elektronash të lira dhe zbratzish, quhet materiali vetjak ose materiali i pastër gjysmëpërçues. Në temperaturën e dhomës koncentrimi i elektroneve të lira dhe të zbrazta në siliciumin e pastër është rreth 10^{10} cm^{-3} . Me rritjen e temperaturës së materialeve gjysmëpërçuese, rritet edhe numri i lidhjeve të shkëputura kovalente, përkatësisht rritet koncentrimi i elektroneve të lira dhe i zbraztive.

Elektronet e lira në kristalin e silicit, kur mungon veprimi i fushës së jashtme elektrike, lëvizin në mënyrë kaotike ngjashëm me lëvizjen e elektroneve në metale, kur në to nuk vepron fusha elektrike (Fig.2.2 a). Rruga e përshkruar e lëvizjes së elektroneve në materiale gjysmëpërçuese është e komplikuar “zigzage”, sepse elektronet, duke lëvizur termikisht, në materialin e pastër gjysmëpërçues shkapërderdhen (ndërrimi i shpejtësisë dhe drejtimit) për shkak të vibracioneve termike të atomit. Gjatë lëvizjeve elektronet e lira mund të marrin përsipër ndonjëren prej lidhjeve të shkëputura kovalente. Në këtë rast zhduket një elektron i lirë dhe një zbratzirë. Ky proces quhet rekombinimi.

Procesi i gjenerimit dhe rekombinimit të elektroneve të lira dhe i zbraztive mund të paraqitet si në Fig. 2.47. Në anën e majtë të figurës, me shigjetë është shënuar se paraqitjes së elektroneve të lira dhe zbraztive në pikëpamje energjetike i përgjigjet “kërcimi” i elektronit prej zonës valente në zonën përquese. Me shigjetë, në anën e djathtë, është paraqitur se rekombinimi të elektroneve të lira dhe zbraztive u përgjigjet “kërcimi” i elektroneve prej zonës përquese në zonën valente.

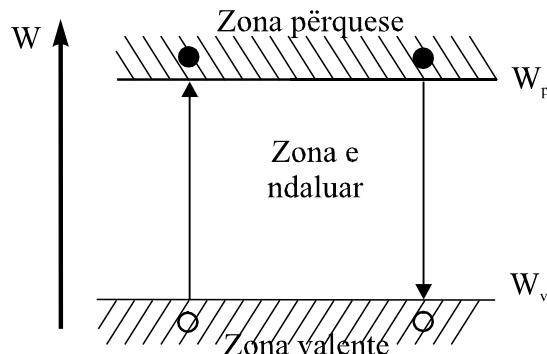


Fig.2.47. Gjenerimi dhe rekombinimi i elektroneve dhe zbrazësive të mater. vetjake ke gjysmëpër.

Zbratzitë, si vende të zbrazëta në lidhjen kovalente mund të mbushen në llogari të energjisë termike me ndonjë elektron valent të atomeve të afërtë. Tani zbratzia do të lajmërohet në vendin e mëparshëm, të elektronit valent.

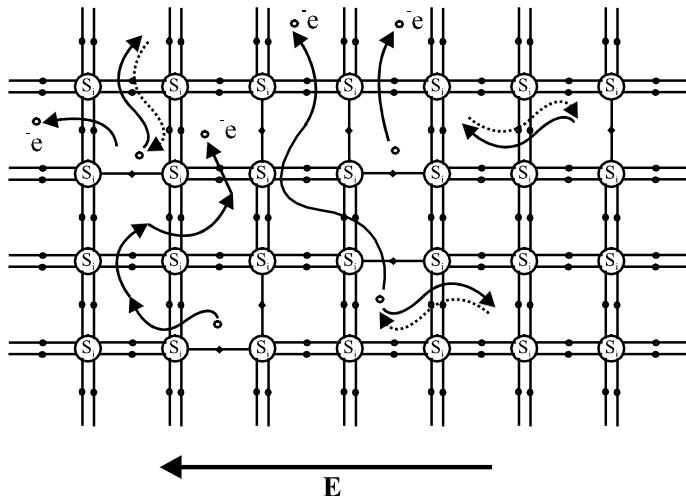


Fig.2.48. Paraqitura skematike e lëvizjes kaotike të elektroneve të lira dhe me kuazilidhje të Si të pastër.

Kështu, zbraztitë kalojnë nga njëri atom në tjetrin, duke bërë lëvizje kaotike (Fig. 2.48). Po në këtë figurë, me vija të ndërprera është paraqitur lëvizja e elektroneve të caktuara. Këto elektrone quhen elektrone me kuazilidhje, sepse kanë energji që i përket vetëm zonës valente.

Kur materiali gjysmëpërçues vendoset nën ndikimin e fushës elektrike \mathbf{E} , elektronet e lira do ta kenë edhe komponenten e shpejtësisë në drejtim të fushës; prandaj resultanta e lëvizjes së elektronit do të jetë si në Fig. 2.2 c.

Nëse me n shënojmë koncentrimin me elektrone të lira, ndërsa me η lëvizshmérinë e tyre, atëherë kësaj lëvizje të orientuar të elektroneve të lira i përgjigjet dendësia e rrymës:

$$\mathbf{J}_n = \mathbf{s}_n \times \mathbf{E}_n = e \times \eta \times n \times \mathbf{E} \quad (2.36)$$

Nën veprimin e fushës së jashtme do të lëvizin në mënyrë të orientuar elektronet e lidhura, duke i plotësuar në këtë mënyrë lidhjet e lira kovalente (Fig. 2.49). Me këtë kuptojmë se vendosjen e rrymës elektrike në materiale gjysmëpërçuese e mundësojnë edhe elektronet e lira dhe elektronet me kuazilidhje. Gjatë lëvizjes së tillë të elektroneve me kuazilidhje, lëvizja e gropëzave është e kahjes së njëjtë me fushën e jashtme elektrike.

Në qoftë se me n' dhe η' shënojmë përqëndrimin dhe lëvizjen e elektroneve me kuazilidhje, atëherë lëvizjes së orientuar të këtyre elektroneve i përgjigjet vektori i dendësisë së rrymës elektrike:

$$\mathbf{J}_n' = e \times \eta' \times n' \times \mathbf{E} \quad (2.37)$$

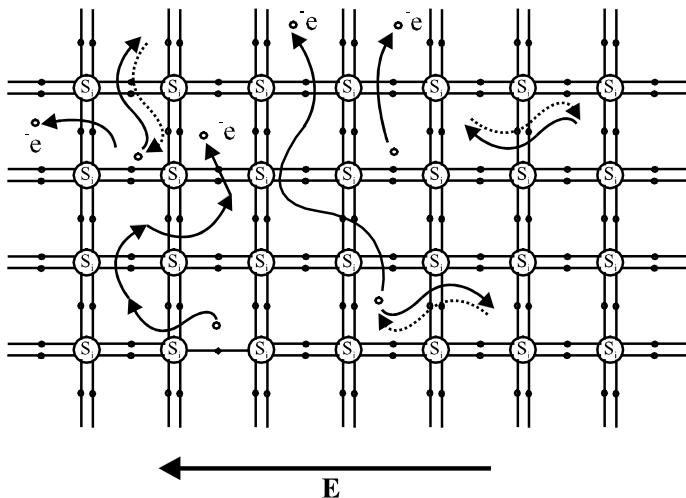


Fig.2.49. Paraqitja skematike e lëvizjes së elektroneve të lira, zbratzive dhe elektroneve me kuazilidhje (vijat e këputura) nën veprimin e fushës së jashtme elektrike.

kurse vektori i dendësisë së rrymës gjatë lëvizjes së elektroneve të lira dhe atyre me kuazilidhje, do të jetë:

$$\mathbf{J} = \mathbf{J}_n + \mathbf{J}_n' = (\eta_h \times n + \eta_h' \times a') \times e \times \mathbf{E} \quad (2.38)$$

Meqenëse gjatë lëvizjes së elektroneve me kuazilidhje, gropëzat në të njëjtën kohë lëvizin në drejtim të kundërt, në vend të lëvizjes së elektroneve me kuazilidhje vërehet lëvizja e gropëzave. Gjatë këtij procesi gropëzat duhet konsideruar si grimca, me elektrizim të barabartë me vlerën absolute të elektrizimit të elektroneve. Pikërisht për këtë, për vektorin e dendësisë së rrymës elektrike me rastin e lëvizjes së elektroneve me kuazilidhje mund të shkruhet:

$$\mathbf{J}_n' = e \times \eta_h' \times a' \times \mathbf{E} = e \times \eta_h \times p \times \mathbf{E} = \mathbf{J}_p \quad (2.39)$$

ku p dhe η_h janë përqëndrimi dhe lëvizshmëria e gropëzave, ndërsa \mathbf{J}_p është dendësia e rrymës kur lëvizin gropëzat.

Në bazë të asaj që u tha më lart, konstatojmë se:

- në çdo material gjysmëpërçues, pavarësisht a është materiali i pastër, a ka shtesë në të, ekzistojnë dy lloje të bartësve ngarkeshash - elektronet e lira dhe elektronet me kuazilidhje (elektronet valente).
- lëvizja e elektroneve me kuazilidhje mund të shndërrohet në lëvizjen e gropëzave, nëse gropëzat si kuazigrimca u bashkangjitet ngarkesa pozitive, me masë dhe karakteristika të caktuara. Përcaktimi i karakteristikave të gropëzave

nëpërmjet karakteristikave të elektroneve me kuazilidhje bëhet në lëndën e fizikës së trupave të ngurtë.

Materialet gjysmëpërçuese, që kanë edhe materiale tjera, quhen materiale gjysmëpërçuese jo të pastërtë ose materiale me shtesa.

Mekanizmi i paraqitjes së elektroneve të lira dhe zbratzive në këto materiale gjysmëpërçuese do të shpjegohet te silici, (skematikisht në Fig. 2.50,) ku një atom i silicit është zëvendësuar me atomin e arsenit ose me çfarëdo atomi të elementeve të grupit të pestë të sistemit periodik të elementeve.

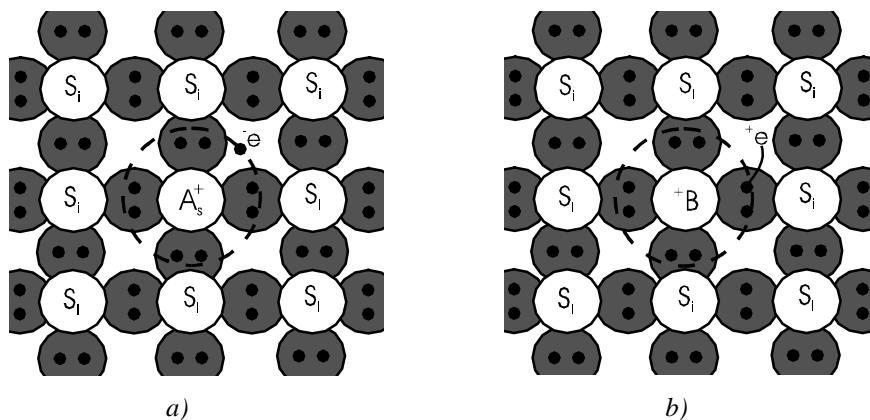


Fig. 2.50. Paraqitura skematike e kristalit të silicit në të cilin një atom është zëvendësuar me:

a) atom të arsenit dhe b) me atom të borit.

Në kristalin e silicit, katër nga pesë elektronet valente të arsenit formojnë lidhjen kovalente me elektronet valente të atomeve më të afërta të silicit (Fig. 2.50 a). Elektroni i pestë valent i atomit të arsenit nuk mund të marrë pjesë në formimin e lidhjes kovalente, sepse të gjitha lidhjet e mundshme janë të ngopura. Për arsyse se mbi elektronin e pestë, përvèç bërthamës së atomit të tij, vepron edhe atomi i silicit. Lidhja e tij me atomin e vet tanë është më i dobët, në krahasim me rastin kur atomi i arsenit ishte i vëtmuar.

Elektroni i arsenit pesëvalent, kur temperaturat janë të ulëta ($T=0$), është i lokalizuar rreth atomit të tij. Mirëpo, me ngritjen e temperaturës së kristaleve të silicit, ky elektron duke e lëshuar atomin e vet, mund të lirohet. Atomi i arsenit atëherë do të bëhet jon elektropozitiv njëfish i cili në Fig. 2.50a. është shënuar me “+”.

Që të shpjegohet paraqitura e elektroneve të lira në pikëpamje energjetike, së pari në mënyrë elementare do ta përcaktojmë energjinë e këtij elektroni para se ta lëshojë atomin e vet. Gjatë kësaj, do të supozojmë se elektroni bën lëvizje rrethore

rreth atomit shtesë në mes, që ka permetivitet të barabartë me permetivitetin e materialit gjysmëpërçues. Në këtë mënyrë, nëpërmjet permetivitetit shprehet ndikimi i atomit të silicit në lëvizjen e elektronit të shqyrtuar.

Energjia potenciale e elektronit do të jetë:

$$W_p = -\frac{Z \times e^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r}, \text{ pasi qe } j = \frac{Z \times e}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r}, \quad W_p = -e \nabla \quad (2.40)$$

Në barazinë e mëparshme, me qëllim të përgjithësimit, supozohet se elektrizimi i jonit shtesë është $Z \times e$, e jo vetëm si në rastin e jonit të arsenit në silic.

Energjia totale e këtij elektroni është:

$$W = W_k + W_p = \frac{m_e v^2}{2} - \frac{Z \times e^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r} \quad (2.41)$$

Që elektroni të bëjë lëvizje rrethore stabile, duhet të plotësohet kushti që:

$$\frac{m_e v^2}{r} = \frac{Z \times e^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r^2} \quad (2.42)$$

Nga barazia e mëparshme dhe e kushtit të kuantimit të intensitetit të momentit orbital të sasisë së lëvizjes të elektronit:

$$m_e v r = n \frac{h}{2\pi}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2.43)$$

për energji totale të elektronit do të kemi:

$$W_n = \frac{m_e}{8h^2} \frac{Z^2 \times e^4}{\epsilon_0^2 \epsilon_r^2} \frac{1}{n^2} \quad (2.44)$$

Elektroni që vazhdon të lëvizë rreth atomit të arsenit është në ambient të silicit me permetivitet dielektrik $\epsilon=12$, e me këtë forca bashkëvepruese me atomin e arsenit zvogëlohet sipas formulës (2.42) për 12 herë, ndërsa dimioni i orbitës zmadhohet për 12 herë. Sipas formulës (2.44), energjia e lidhjes së elektronit me bërrhamën e atomit të arsenit zvogëlohet për $\epsilon^2=12^2=144$ herë. Për këtë arsy, elektroni largohet prej rrethit të atomit të arsenit dhe është i aftë të lëvizë lirisht me rrjetin kristalor të silicit. Këtë elektron të lirë mund tallogarisim si elektron përcues.

Kur $r \gg \lambda$, energjia potenciale është e njëjtë me zero për elektronin e lirë, i cili është jashtë ndikimit të bërrhamës. Ndërmjet zonës së plotësuar energetike dhe zonës së lirë të silicit të pastër është i vendosur niveli energetik (E_d) i elektroneve valente të arsenit (E_d -quhet niveli energetik i donorëve).

$$E_d = \frac{m_e}{8h^2} \frac{Z^2 \times e^4}{\epsilon_0^2 \epsilon_r^2} \quad (2.45)$$

Për këtë arsy, shprehje për energjinë totale të elektronit në atomin me shtesa është:

$$W_n = -\frac{E_d}{n^2} \quad (2.46)$$

Për rastin $n=1$ energjia do të jetë $W_1=E_d$. Kjo është energjia e gjendjes elementare e elektronit të pestë valent të atomit shtesë të arsenit. Ky nivel energetik shtrihet nën kufirin e zonës përquese për vlerën e madhësisë E_d . Për atomin shtesë të arsenit në silic është $Z_d=1$ dhe $E_r=2$, prandaj është $E_d=0,1\text{eV}$. Kjo do të thotë se niveli energetik $W_1=-E_d$ gjendet në zonën e ndaluar energetike, (Fig. 2.51a).

Meqenëse energjia e elektronit të lirë është e njëjtë me njëren nga energjitet e zonës përquese, gjatë paraqitjes së elektronit të lirë thuhet se elektroni ka kaluar prej nivelit energetik E_d në zonën përquese. Ky kalim në Fig. 2.51a është paraqitur me shigjeta të vogla.

Siq pamë më parë, atomet me shtesa të arsenit lirojnë elektrone të lira dhe për këtë shkak quhen shtesa donore (atomet donore me shtresë). Gjatë dhënies së elektroneve të lira, atomet shtesë donore jonizohen. Niveli energetik E_d quhet nivel energetik donor.

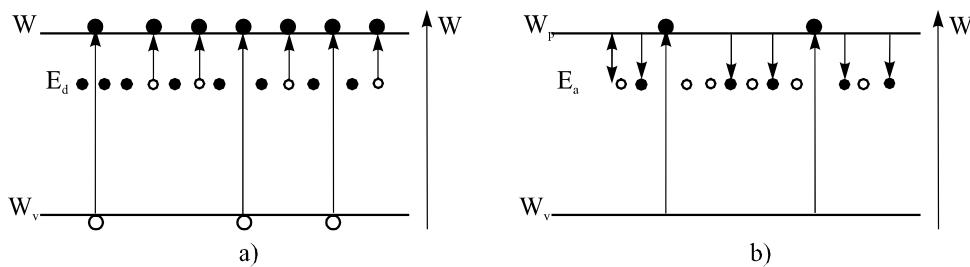


Fig. 2.51. Paraqitura skematike e lindjës së elektroneve të lira (bartësve të lirë) në atomin shtesë të materialeve gjysmëpërquese në domenin energetik:
a) me shtesa donore, b) me shtesa akceptore.

Elektronet e lira mund të paraqiten edhe në llogari të ionizimit të atomit të materialit bazik (në rastin e tanishëm të atomit të silicit). Mekanizmi i paraqitjes së elektroneve të lira me rastin e ionizimit të materialeve themelore është paraqitur më parë, ndërsa në Fig. 2.51b është paraqitur me shigjeta të gjata. Paraqitura e elektronit të lirë të silici është e përcjellë me paraqitjen e zbratzisë në zonën valente. Mirëpo, në temperaturat e ulëta (që për disa materiale gjysmëpërquese është edhe temperatura e dhomës) numri i elektroneve të lira të paraqitura si rezultat i ionizimit të atomeve donore është shumë më i madh se numri i elektroneve përkatesisht i zbratzive, të lira të cilat paraqiten te atomet e veta. Për këtë shkak, përqueshmëria specifike elektrike e këtij materiali gjysmëpërques do të jetë:

$$s = s_n + s_p = e(n\eta_h + p\eta_p) \quad (2.47)$$

sepse $n >> p$. Në barazinë e mëparshme n dhe p paraqesin koncentrimin e elektroneve të lira dhe zbratzive, ndërsa n dhe p lëvizjet e tyre.

Nga barazia e mëparshme shihet se në formimin e rrymës elektrike në materiale gjysmëpërçuese rol dominant do të kenë elektronet e lira. Për këtë shkak, këto shpeshherë quhen bartës kryesorë të ngarkesave elektrike. Zbratzia në këtë rast është bartës sekondarë. Për material të tillë gjysmëpërçues thuhet se është i tipit n .

Të shohim se si paraqiten elektronet e lira dhe zbratzitë në kristalin e silicit, ku siç është paraqitur edhe skematikisht në Fig. 2.50b, një atom i silicit është zëvendësuar me një atom të borit ose të ndonjë elementi tjetër të grupit të tretë të sistemit periodik. Bori është trevalent. Elektronet valente të atomit të borit formojnë lidhjen kovalente me elektronet valente të tri atomeve të afërta të silicit. Lidhja e katërt kovalent në mes të atomit të borit dhe të silicit mund të bëhet kur në llogari të energjisë së nxehësisë disa prej elektroneve valente më larg atomit te silicit do të vijnë në vendin e lidhjes së paplotësuar kovalente (Fig. 2.50b). Gjatë kësaj gjendje atomi i borit bëhet jon i elektrizuar negativisht dhe shënohet me “-”. Nga vendi prej nga ka ardhur elektroni do të paraqitet zbratzia që mund të lëvizë nëpër material gjysmëpërçues.

Për t'u paraqitur ky formim i zbratzive, duhet të përcaktohet energjia e elektroneve të atomit shtesë të borit. Ngashëm me përcaktimin e energjisë së atomit të pestë valent të arsenit, mund të caktohet edhe energjia e elektroneve te bashkuara prej atomit të borit. Energjia e gjendjes themelore të këtij elektroni, në krahasim me kufirin e poshtëm të zonës përquese, është dhënë me barazinë:

$$W_1 = -E_g + \frac{m_e}{8\hbar^2} \frac{Z^2 \times e^4}{e_0^2 e_r^2} = -E_g + E_a \quad (2.48)$$

Për rastin e atomit të borit në silic energjia do të jetë $W_1 @ 1.01 \text{ eV}$, sepse është $Z=1$ dhe $e_r @ 2$. Kjo do të thotë W_1 gjendet në zonën e ndaluar energetike në afërsi të kufirit të sipërm të zonës valente (mbi zonën valente, për E_a , siç shihet edhe nga Fig. 2.51b).

Para se elektroni të kapet për atomin shtesë ka pasur energji, e cila i përket zonës valente. Pikërisht për këtë, në paraqitjen energetike thuhet se elektroni ka kaluar nga zona valente në nivelin energetik E_a . Në zonën valente, në këtë rast ka ngelur gropëza. Në Fig. 2.51b ky kalim është treguar me shigjeta të vogla.

Meqenëse atomi i borit i lidh për vete elektronet (në këtë rast shtesë është atomi i borit) kjo shtesë quhet akceptore (atomet shtesë akceptore).

Niveli energetik E_a quhet niveli akceptor energetik. Gropëzat formohen edhe me kalimin e elektroneve nga zona valente në zonën përquese. Në Fig. 2.51 b kjo është paraqitur me shigjeta më të gjata. Mirëpo, për formimin e gropëzave, në llogari të kalimit të elektroneve nga atomi i materialit bazë në atomin shtesë duhet energji shumë më e vogël në krahasim me energjinë që nevojitet për formimin e çifteve të elektroneve dhe të gropëzave. Pikërisht për këtë, gjatë temperaturave të

ulëta numri i elektroneve të lira në këtë material gjysmëpërçues është i pakonsiderueshëm në krahasim me numrin e përgjithshëm të gropëzave.

Përçueshmëria specifike elektrike e materialeve gjysmëpërçuese me shtesa akceptore në temperaturat e ulëta është:

$$s = s_n + s_p = e(n\eta_h + p\eta_p) @ s_p = e \times p \times \eta_p \quad (2.49)$$

sepse është $p \gg n$.

Në formimin e rrymës elektrike në temperaturat e ulëta te materialet gjysmëpërçuese me shtesa akceptore rol kryesor luajnë zbratztitë. Mu për këtë, në këto raste zbratztitë paraqesin shumicën e bartësve të ngarkesave, ndërsa elektronet paraqesin pakicën e bartësve të ngarkesave elektrike. Ky lloj i materialit gjysmëpërçues thuhet se është i tipit p .

2.10. KLASIFIKIMI I MATERIALEVE GJYSMËPËRÇUESE

Klasifikimi i materialeve gjysmëpërçuese mund të bëhet në shumë mënyra: në bazë të strukturës kristallore, madhësisë; përkatesisht vlerës të zonës së ndaluar energjetike, lidhjeve kimike, përdorimit të tyre etj. Këtu klasifikimi i materialeve gjysmëpërçuese do të bëhet në ato elementare dhe legura gjysmëpërçuese.

a) Materialet elementare gjysmëpërçuese

Në sistemin periodik të elementeve gjenden gjithsej 12 materiale elementare me veçori gjysmëpërçuese (Fig. 2.52).

Grupi	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Perioda							
II	Be	B	C	N	O		
III		Al	Si	P	S	Cl	
IV		Ga	Ge	As	Se	Br	
V		In	Sn	Sb	Te	J	Xe
VI			Pb	Bi	Po	At	

Fig. 2.52. Renditja e elementeve gjysmëpërçuese në sistemin periodik të elementeve.

Dy grupet e para të sistemit periodik të elementeve nuk kanë elemente gjysmëpërçuese. Bori është elementi i vetëm i grupit të tretë të sistemit periodik, që u përket elementeve gjysmëpërçuese. Nga elementet e grupit të katërt të cilët bëjnë pjesë në materiale gjysmëpërçuese janë: karboni, silici, germaniumi dhe kallaji.

Të dy modifikimet alotropike të karbonit (grafiti dhe diamanti) kanë veçori gjysmëpërçuese edhe pse grafiti është më afër metaleve, ndërsa diamanti më afër është materialeve dielektrike. Silici dhe germaniumi përvëç përdorimit praktik janë materialet më të rëndësishme gjysmëpërçuese. Vetëm modifikimi kristalor i kallajit që shënohet me α , është elementi i fundit në grupin e katërt të elementeve të sistemit periodik.

Elementet gjysmëpërçuese të grüpuit të pestë të sistemit periodik janë: fosfori, arseni dhe antimoni.

Në grupin e gjashtë të elementeve që janë gjysmëpërçuese hyjnë sulfuri, seleni dhe teluri.

Në grupin e shtatë të elementeve gjysmëpërçuese të sistemit periodik të elementeve bën pjesë vetëm jodi.

Të gjitha këto elemente gjysmëpërçuese luajnë rol të rëndësishëm në teknikën bashkëkohore, qoftë si elemente gjysmëpërçuese ose si komponente të legurave të komplikuara gjysmëpërçuese. Ne do t'i shqyrtojmë veçoritë e disa elementeve gjysmëpërçuese të cilat kanë përdorim dhe rëndësi më të madhe në teknikën bashkëkohore (në Fig. 2.52 është paraqitur me shrafurë të dyfishtë).

Karboni (C)

Karboni është element i grüpuit IV të sistemit periodik.

Në natyrë gjendet në formë bashkëdyzimesh, sidomos në karbonatin e kalciumit (CaCo_3), mandej në magnezit, (MgCo_3), donomit ($\text{CaCo}_3 \cdot \text{MgCo}_3$) dhe siderit (FeCo_3) etj.

Të dy modifikimet alotropike të karbonit (grafiti dhe diamanti), që u cekën më parë, janë materiale gjysmëpërçuese. Grafiti dhe diamanti ndryshojnë në mes veçori në bazë të shumë veçorive. Diamanti karakterizohet me fortësi të madhe, zonë të zgjeruar ndaluese etj.

Përkundër diamantit graniti është material i butë, me zonë ndaluese të ngushtë energjetike. Meqenëse gjerësia e zonës energjetike ndaluese është e ngushtë (vogël) në krahasim me diamantin, përcueshmëria specifike elektrike e tij është shumë më e madhe se e diamantit. Ndryshimi i veçorive të grafitit dhe diamantit bazohet në strukturën e tyre kristalore.

Atomet e karbonit te diamantit kanë lidhje kovalente. Lidhjet kovalente të diamantit kushtëzohejnë edhe fortësinë të tij të madhe, përcueshmërinë e vogël, temperaturë të lartë të shkrirjes etj.

Struktura e grafitit ndryshon shumë nga ajo e diamantit. Atomet e karbonit të grafitit janë të renditura nëpër bazat e gjashtëkëndëshit të rregullt. Çdo atom i karbonit, në suazat e një shtrese, është i rrëthuar me tri atome më të afërtë, në mes të të cilëve ekzistojnë lidhjet kovalente. Distanca në mes të atomeve më të afërtë është $r_1=1,42\times10^{-10}\text{m}$. Meqenëse kjo distancë është më e vogël se sa te diamanti, intensiteti i lidhjeve brenda një shtrese të grafitit është më I madh se te diamanti.

Distanca në mes shtresash të grafitit është $r_2=3,6 \times 10^{-10}$ m ku veprojnë forca të dobëta të Van der Valsit. Për shkak të strukturës shtresore, grafiti ka dendësi më të vogël se diamanti, është i butë dhe shumë lehtë copëtohet. Struktura shtresore e tij bën që një numër i madh veçorish të grafitit të janë anizotrope.

Disa veçori të diamantit dhe grafitit, në kushte të caktuara, janë dhënë në tabelën 2.43.

Si material gjysmëpërçues, diamanti përdoret për njehsorë kristalorë të rrezatimeve dhe të grimcave të jonizuara.

Grafiti përdoret si material ndihmës për përfitimin e trupave të ngrontë për përpunimin teknologjik të materialeve gjysmëpërçuese, për përfitimin e elektrodave për qëllime të ndryshme, brushave për makina rrrotulluese, për mbarimin e rezistorëve nga karboni etj.

Tab. 2.43. Disa veçori të grafitit dhe diamantit

Veçoritë	Modifikimi t diamanti	grafi
Përçueshmëria specifike elektrike gjatë temperaturës 300 K (W/cm^{-1})	10^{-8}	1×10^3
Gjerësia e zonës së ndaluar, eV, $\Delta E_g/\Delta T$ (eV)	5,6 (OK)	0,1 (300 K)
Lëvizshmëria gjatë 300 K (cm^2/Vs)	$-1,2 \times 10^{-4}$	
elektroneve	1800	
gropëzave	1200	

Silici (Si)

Silici është element i grupit IV të sistemit periodik të elementeve.

Silici është element shumë i përhapur në natyrë. Silici zë vendin e dytë në pikëpamje të përhapjes së tij në sipërfaqen e tokës, menjëherë pas oksigjenit.

Lënda themelore nga përfitohet silici është rëra e kuarcit, (SiO_2) . Nga kjo rërë, silici përfitohet në furrat elektrike duke bërë reduksionin e koksit në temperaturë 1500–1750°C. Në këtë mënyrë përfitohet legura e silicit dhe e hekurit (ferosilici), sepse në furra, përveç rërës së kuarcit dhe karbonit, shtohet edhe xheja e hekurit. Mënyra e mëtejshme e përfitimit të silicit bazohet në formimin e bashkëdyzimeve: SiCl_4 , SiHCl_3 dhe SiH_4 . Nga këto bashkëdyzime, me procese kimike, përfitohet silici polikristalor. Meqenëse silici i përfituar në këtë mënyrë nuk është shumë i pastër përfitimin e monokristalit, i cili përdoret në teknologjinë e gjysmëpërçuesve si komponente, silici i tillë i nënshtrohet pastrimit të mëtutjeshëm.

Silici i pastër ka ngjyrë të përhimtë të mbyllur. Pjesët e fërkuara të silicit kanë shkëlqim çeliku. Silici është material që thyhet lehtë.

Silici ka strukturë kristalore të diamantit. Qelula elementare e silicit përmban 8 atome. Konstanta e rrjetit dhe distancat në mes të atomeve me të afërta të silicit janë $5,43 \times 10^{-10}$ m dhe $2,35 \times 10^{-10}$ m. Lidhja kovalente në mes të atomeve të afërta në

silic është e fortë, për ç'arsye për këtë gjërësia e zonës së ndaluar dhe temperatura e shkrirjes janë relativisht të larta.

Disa veçori të silicit kushteve të caktuara janë dhënë në tabelën 2.44.

Gjërësia e zonës së ndaluar të silicit varet nga temperatura. Është vërtetuar eksperimentalisht se kjo varshmëri (siç është paraqitur edhe në fig.2.53) e gjërësisë së zonës të ndaluar nga temperatura është e theksuar. Duke rritur temperaturën zvogëlohet gjërësia e zonës. Për intervalin e temperaturave nga 175 deri 350 K gjërësia e zonës së ndaluar te silici i pastër mund të llogaritet sipas:

$$E_g = 1,21 - 3,6 \times 10^{-4} T, \quad (2.50)$$

ku: T është e shprehur në K, ndërsa E_g në eV.

Tab. 2.44. Disa veçori të Si në kushte të caktuara

Veçoritë	Vlerat numerike
Mikrofortësia [kg/mm ²]	7 (M)*
Temperatura e shkrirjes [°C]	1421
Koeficienti i përqueshmërisë termike [W/mK] në 300K	145
Gjërësia e zonës së ndaluar [eV] gjatë:	
300K	1,12
0K	1,16
Koncentrimi vetjak [cm ⁻³] gjatë temperaturës prej 300K	$1,6 \times 10^{10}$
Lëvizshmëria [cm ² /Vs] gjatë temperaturës prej 300K e:	
elektroneve	1500
zbratzësirave	600
Permitiviteti relativ statik	11,9
Fortësia dielektrike [MV/m]	30

* Fortësia sipas Mosit.

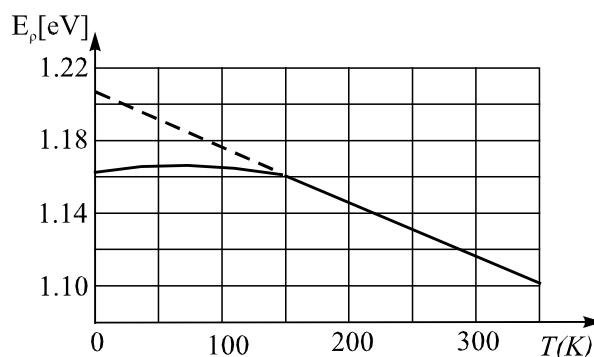


Fig. 2.53. Varsia e gjërësisë të zonës së ndaluar nga tem.te silici i pastër

Rezistenca specifike elektrike në zeron absolute që i përgjigjet koncentrimit të shtesave më të vogla se 10^3 cm^{-3} , përafërsisht është 10^3 Wm .

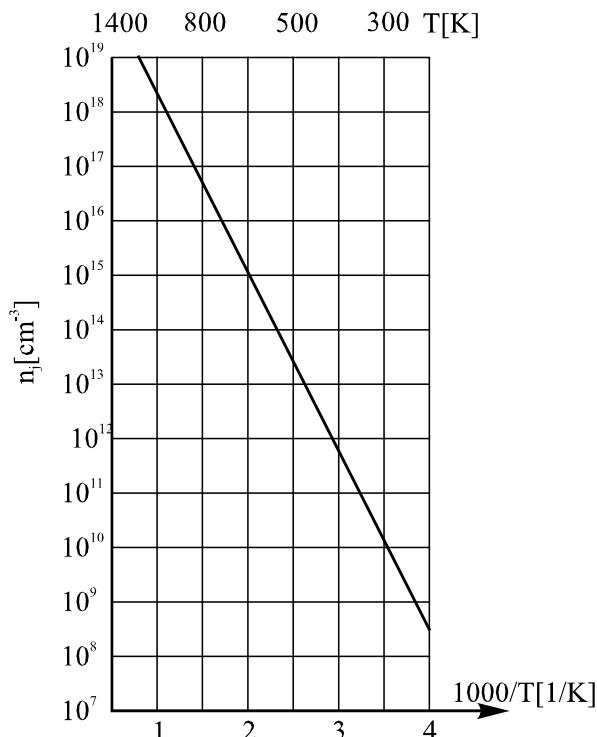


Fig.2.54. Varësia e koncentrimit vetjak të ngarkesës nga temperatura për Si

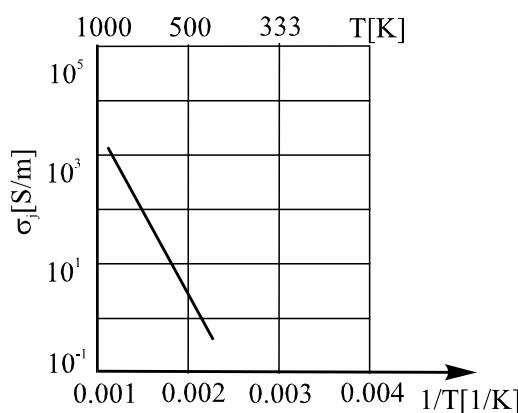


Fig.2.55. Varësia e përqueshmërisë specifike elektrike nga temperatura për Si.

Është vërtetuar eksperimentalisht gjithashtu edhe varësia e koncentrimit vetjak të ngarkesave në funksion të temperaturës, e cila është paraqitur edhe grafikisht në (Fig. 2.54.). Në (Fig. 2.55) është paraqitur varia e përçueshmërisë specifike elekrike e silicit nga temperatura.

Meqenëse përçueshmëria elekrike specifike e materialeve gjysmëpërçuese me shtesa varet nga temperatura, koncentrimi i atomeve shtesë dhe nivelet e donoreve, E_d , përkatesisht akceptorëve E_a , këtu do të përmendim në rend të parë tretshmërinë e disa elementeve në silic, e mandej do të jepim vlerat e niveleve akceptore dhe donore. Në fig. 2.56 është cekur varia e tretshmërisë maksimale nga temperatura për disa shtesa më të rëndësishme në silicin e ngurtë. Nga fig. 2.56. shihet se arseni, fosfori dhe bori kanë tretshmëri më të madhe. Dy elementet e para në silic paraqesin shtesa donore, ndërsa bori paraqet shtesë akceptore.

Në fig. 2.57 janë paraqitur energjitetë e niveleve akceptore dhe donore të shtesave të ndryshme në silic gjatë temperaturave të ulëta që janë të përcaktuara eksperimentalisht. Siç janë cekur edhe më parë, elementet e grupit të pestë dhe të tretë janë shtesa donore, përkatesisht akceptore. Për elementet e grupit të pestë niveli energetik E_d shtrihet në zonën e ndaluar në afërsi të kufirit të poshtëm të zonës përçuese. Pikërisht, për këtë thuhet se këto elemente për silicin paraqesin shtesa të cekëta.

Elementet e grupeve I, II, VI dhe VIII të sistemit periodik të elementeve në silic janë shtesa të "thella" (nivelet energetike donore janë shumë larg kufirit të zonës përçuese, ndërsa niveli akceptor energetik është shumë larg kufirit të sipërm të zonës valente). Këto elemente mund të janë ose donore ose akceptore në silic si shtesa. Përveç kësaj, atomet e këtyre elementeve mund të janë të jonizuara njëfish ose shumëfish, duke formuar në këtë mënyrë dy nivele energetike, siç është paraqitur edhe në (fig. 2.57). Të përmendim edhe këtë se, e njëjtë shtesë mund të formojë nivele donore ose akceptore, siç shihet në (fig. 2.57) për arin. Energjia e niveleve donore e paraqitur në (fig. 2.57.) është llogaritur prej kufirit të poshtëm të zonës përçuese, ndërsa energjia e niveleve akceptore është e llogaritur prej kufirit të sipërm të zonës valente. Në figurë të gjitha nivelet e paraqitura janë donore, nëse janë mbi mesin e zonës së ndaluar (vija e ndërprerë), dhe se të gjitha janë akceptore, nëse janë nën mesin e zonës së ndaluar. Nivelet donore nën mesin e zonës së ndaluar janë shënuar me D, ndërsa nivelet akceptore mbi mesin e zonës së ndaluar janë shënuar me A.

Varësia e përqëndrimit të gropëzave në funksion të temperaturës në silic me shtesë të borit është paraqitur në Fig. 2.58a. Për mostra të njëjtë të silicit në Fig. 2.58b dhe 2.58c janë dhënë varsi të lëvizshmërive të hollit të gropëzave dhe përçueshmërisë specifike elekrike nga temperatura. Kur përqëndrimi i shtesave është i madh, përçueshmëria specifike elekrike e silicit mbetet konstante; mirëpo, me ngritjen temperaturës kjo rritet, sepse atëherë silicii vepron si material përçues përsa i përket rezistencës specifike elekrike (mostra 6 në Fig. 2.58).

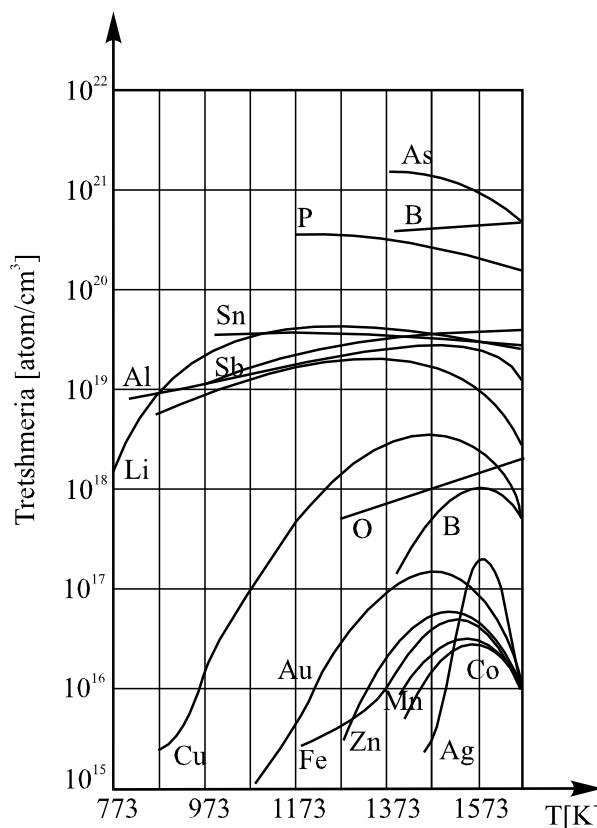


Fig.2.56. Varësia e tretshmërisë së elementeve në secilin nga temperatura.

Li	Sb	P	As	Bi	Ni	S	Mn	Ag	Pt	Hg
0,033	0,039		0,044	0,049	0,069	0,35	0,18	0,37		etj.
0,045	0,067		0,065	0,26	0,31	0,24	0,22	D		0,034
B	Al	Ca	In	Ti	Co	Zn	Cu	Au	Fe	O

Fig. 2.57. Nivelet donore dhe akceptore të shtesave të ndryshme në përbërjen e silicit.

Varësia e përqëndrimit të elektroneve nga temperatura në silic me shtesa të arsenit është paraqitur në Fig. 2.59a. Për shembuj të njëjtë të silicit janë dhënë varsitë e lëvizshmërive të hollit të elektroneve dhe të përcueshmërisë specifike elektrike prej temperaturës (Fig. 2.59b dhe Fig. 2.59c).

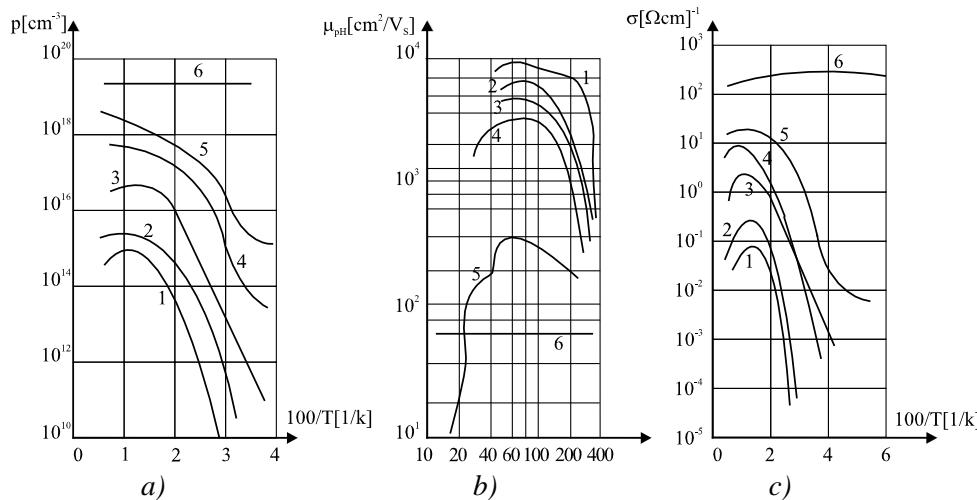


Fig. 2.58. a) Varsia e koncentrimit të zbraztive në silic prej temperaturës,
 b) varsia e lëvizshmërive të hollit të zbraztive të silicit prej temperaturës,
 c) varsia e përqueshmërisë specifike elektrike të silicit prej temperaturës. Shtesat në silic janë atomet e borit me koncentrim: (1-1,3) $\times 10^{14}$; (2-7,0) $\times 10^{14}$; (3-2,4) $\times 10^{16}$; (4-2,0) $\times 10^{17}$; (5-1,0) $\times 10^{18}$ dhe (6-1,5) $\times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$.

Silici në gjendje kristalore është shumë inert. Aktivitet më të madh ka silici amorf. Silici nuk tretet në thartina, por tretet mirë në baza të zbutura dhe të përqëndruara. Silici tretet mirë edhe në përzierjen $\text{HNO}_3 + \text{NF}$.

Për brejtjen e silicit përdoren bazat dhe thartinat makrodefektet në monokristalalet e silicit shumë lehtë eleminohen në tretjet e KOH ose NaOH. Mirëpo, mjete për brejtje shumë vështirë shpërlahan. Për polimin kimik të silicit përdoren mjete të tharta në bazë të thartinës azotike.

Silici nuk bën pjesë direkte në reaksione kimike me hidrogjenin, mirëpo me metoda speciale kimike mund të përfitohen bashkëdyzime të silicit me hidrogjenin. Këto bashkëdyzime quhen silane. Në mes tyre më i rëndësishmi është monosilani (SiH_4). Monosilani është i pangjyrë dhe gaz stabil, kur nuk është prezent ajri. Monosilani kalon në gjendje të ngurtë gjatë temperaturës - 185°C , ndërsa fillon të avullohet gjatë temperaturës - $111,9^\circ\text{C}$. Monosilani është stabil deri në temperaturën 400°C , kur zbërthehet në silic dhe hidrogen. Në këtë mënyrë edhe përfitohet silici i pastër.

Silici bashkëdyzohet me elemente halogjene: me fluorin në temperaturat e zakonshme, ndërsa me elemente tjera duke e bërë nxehjen. Tetroklor silici përfitohet drejtpërdrejt prej silicit dhe klorit, ose gjatë veprimit të fluorit në përzierjen e ngrohtë SiO_2 dhe thëngjillit. Në temperaturën e dhomës SiCl_4 është

tretje e pangjyrë, e cila avullohet gjatë temperaturës $57,2^{\circ}\text{C}$, ndërsa ngurtësohet gjatë temperaturës -69°C .

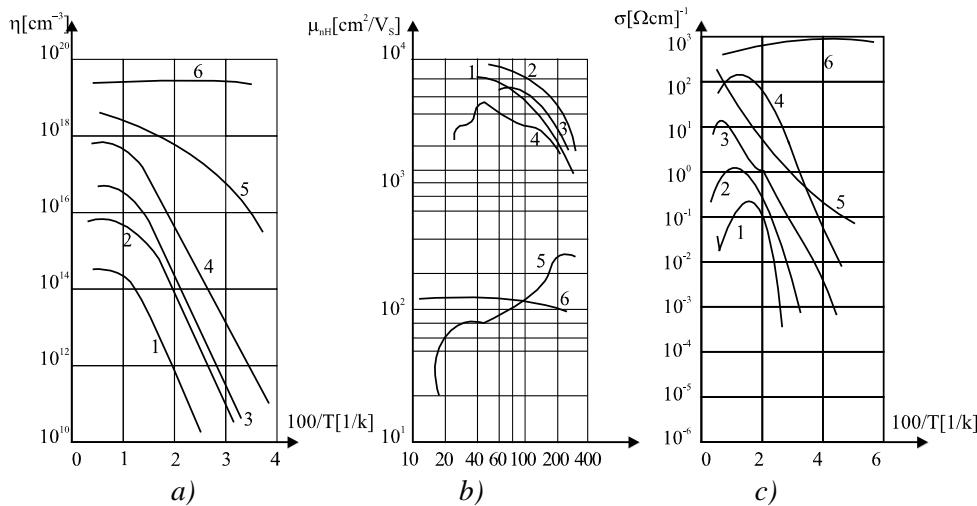


Fig. 2.59. a) Varësia e koncentrimit të elektroneve në silicium prej temperaturës; b) Varësia e lëvizshmërisë së hollit të elektroneve në silic prej temperaturës; c) Varësia e përcueshmërisë specifike elekrike të silicit prej temperaturës. Shtesat në silic janë atomet e arsenit me koncentrim: 1- $1,75 \times 10^{14}$; 2- $2,1 \times 10^{15}$; 3- $1,75 \times 10^{16}$; 4- $1,3 \times 10^{17}$; 5- $2,2 \times 10^{18}$; 6- $2,7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$.

Silici tetrakloridi është gjysmëprodhimi më i rëndësishëm gjatë përfitimit të silicit të pastër. Tetraoditi i silicit (SiJ_4), përfitohet drejtpërdrejt nga jodi dhe Si.

Reaksioni i përfitimit të SiJ_4 zhvillohet shumë lehtë, për bartje të avujve të jodit përdoret dioksidi i pastër i karbonit. Kristali i pangjyrë i SiJ_4 shkrihet në temperaturën $120,5^{\circ}\text{C}$, ndërsa avullohet në temperaturën 290°C .

Në ngashmëri me karbonin, edhe silici me oksigjenin formon dy bashkëdyzime okside: silicmonoksidin, (SiO), dhe silicdioksidin (SiO_2). Meqenëse të dy bashkëdyzimet bëjnë pjesë në materiale dielektrike, me gjerësish do të njihem i në kapitullin e materialeve dielektrike.

Silici me azotin formon bashkëdyzime stabile, si nitrit silicin, (Si_3N_4) në temperaturë mbi 1300°C . Në bazë të veçorive të tij, ky bashkëdyzim bën pjesë në materiale dielektrike. Prandaj për këto bashkëdyzime do të bëhet fjalë në pjesën e materialeve dielektrike.

Përveç këtyre bashkëdyzimeve të silicit, janë të njohura edhe bashkëdyzimet e Si me fosforin, si SiP (monofosfidi i silicit) etj. Këto bashkëdyzimet përdoren si difuzante gjatë sjelljes së shtesave donore në silic.

Megjithëse transistori i parë është nga Ge punuar qysh më 1948, sot silici paraqet materialin kryesor gjysmëpërçues, jo vetëm në prodhimin e komponenteve diskrete (transistorëve dhe diodave), por edhe për prodhimin e qarqeve integruese. Përparësitë e silicit ndaj germaniumit bazohen në gjerësinë më të madhe të zonës së ndaluar energjetike. Për këtë shkak, komponentet prej silicit mund të punojnë deri në temperaturën 200°C . Silici sot, në krahasim me arsenidin e galiumit, përdoret për përfitimin e baterive të diellit për ta shndërruar energjinë e diellit në energji elektrike.

Germaniumi (Ge)

Germaniumi është element i grupit IV të elementeve në sistemin periodik.

Në krahasim me elementet e tjera (bromit, kadmiumit, selenit, arit, argjendit, zhviës, telurit dhe platinit) mund të konkludohet se prania e germaniumit në tokë është e madhe. Mirëpo, germaniumi në sipërfaqe të tokës është shumë i shpërndarë dhe se për këtë thuhet se nuk ka në sasi të mëdha. Janë të njoitura këto minerale të germaniumit: germaniti, $(\text{Cu}_3\text{GeS}_4)$, argiroditi, $(4\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{GeS}_2)$, plumbogermaniti, $(\text{PbGe})_2(\text{OH})_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Këto minerale gjenden rrallë (germanit ka vetëm në jugperëndim të Afrikës) dhe për këtë arsy nuk janë me rëndësi këto minerale për përfitimin e germaniumit. Germaniumi është gjetur në xehet sulfide të zinkut dhe plumbit. Për këtë shkak ai përfitohet me rastin e përfitimit të zinkut.

Në tridhjet vjetët e fundit germaniumi është gjetur në gurët e thëngjillit. Në hirin e disa llojeve të thëngjillit ka germanium deri në 1%. Në hirin e linjtit të Kolumbisë germanium ka edhe deri në 9%. Sot germaniumi kryesisht përfitohet nga mbeturinat industriale gjatë përfitimit të zinkut dhe koksimit të gurit të thëngjillit. Në disa vende germaniumi përfitohet edhe nga germaniti. Gjatë përfitimit të germaniumit nga mbeturinat e tij, së pari përfitohet germaniumi tetraklorid (GeCl_4) e mandej me procese kimike bëhet pastrimi i tij. Prodhimi final i përfitimit të germaniumit në këtë mënyrë është germaniumi polikristalor. Me metoda të caktuara përfitohet germaniumi i pastër monokristalor.

Germaniumi i pastër ka shkëlqim metalik, është mjaft i fortë, por thehet shumë lehtë.

Germaniumi, sikurse edhe silici, ka strukturë kristalore diamanti. Konstanta e rrjetit dhe distancat ndërmjet atomeve janë më të mëdha se të silicit. Pikërisht për këtë, lidhjet kovalente te germaniumi janë më të dobëta dhe, gjërsia e zonës së ndaluar energjetike dhe temperatura e shkrirjes te germaniumi janë më të vogla se te silici.

Veçoritë themelore fizike të germaniumit, në kushte të caktuara, janë dhënë në tabelën 2.45.

Tab.2.45. Disa veçori të Ge gjatë kushteve të caktuara.

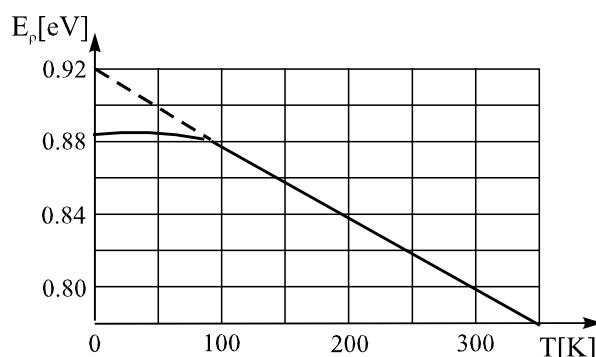
Veçoritë e Ge	Vlerat numerike
Mikrofortësia (kg/mm^2)	6 (M)
Tem.e shkrirjes ($^\circ\text{C}$)	937
Koef.i përquesh.term.gjatë tem. 300 K (W/mK)	64
Gjerësia e zon.së ndaluar (eV) për kalim direkt	
gjatë 300 K	0,803
gjatë 0 K	0,890
koncent.vetjak, cm^{-3} , për 300 K	$2,5 \times 10^{13}$
Lëvizshmëria (cm^2/Vs), për 300 K	
të elektroneve	3900
të zbratzirave	1900
Permetiviteti relativ statik	15,0
Fortësia dielektrike (MV/m)	10

Gjerësia e zonës së ndaluar te Ge i pastër varet nga temperatura. Varësia e fituar eksperimentalisht e gjerësisë së zonës të ndaluar nga temperatura është paraqitur në Fig. 2.60.

Rezistencë specifike elektrike e germaniumit të pastër në temperaturën e dhomës është $r_{\text{ge}}=47 \text{ W/cm}$. Pastërtia e këtij lloji te germaniumi është 99,999999%.

Në Fig. 2.61. është paraqitur varësia e përqueshmërisë specifike elektrike të germaniumit nga temperatura që është përfituar eksperimentalisht.

Varsia e koncentrimit vetjak të ngarkesave në germanium nga temperatura është paraqitur në Fig. 2.62.

**Fig.2.60.** Varsia e gjerësisë së zonës së ndaluar nga tem. te germaniumi i pastër

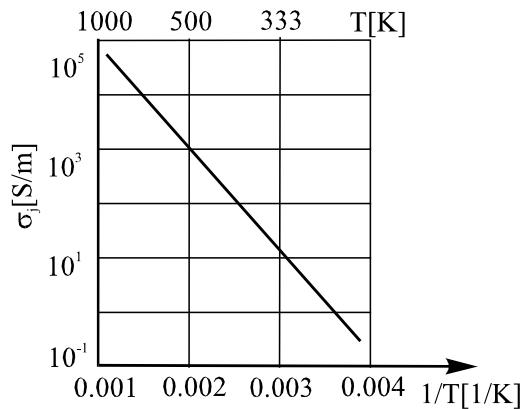


Fig.2.61. Varsia e përqueshmërisë specifike elektrike të Ge nga temperatura.

Në germanium mund të ketë shtesa të ndryshme. Varësisht nga përbërja kimike, këto mund të janë donore ose akceptore. Në Fig. 2.63. janë dhënë rezultatet eksperimentale në temperaturat të ulëta për energjitetë donore E_d dhe akceptore E_a të niveleve të shtresave të ndryshme në përbërjen e germaniumit. Të gjitha shpjegimet të cilat janë dhënë për Fig. 2.57. vlejnë edhe këtu.

Në Fig. 2.64. është paraqitur varsi e koncentrimit të elektroneve nga temperatura në germanium me shtesa të arsenit. Kjo varsi është vërtetuar eksperimentalisht.

Për mostra të njëjta të germaniumit, në Fig. 2.64. dhe c, janë dhënë varsitë e lëvizshmërive të elektroneve dhe përqueshmërisë elektrike nga temperatura.

Germaniumi i pastër nuk reagon ndaj hidrogenit.

Germaniumi me oksigjenin formon bashkëdyzime, siç janë: oksidi i germaniumit (GeO) dhe dioksidi i tij, (GeO_2). Dioksidi i germaniumit tretet shumë lehtë në ujë, duke formuar thartinat e germaniumit, e cila nuk gjendet në gjendje normale. Tretja e ujit të GeO_2 është përqesë i mirë i rrymës elektrike.

Në ajër të thatë, germaniumi mbulohet me shtresë të hollë oksidi. Trashësia e kësaj shtrese në germanumin monokristalor është rrëth $20 \times 10^{-10} m$.

Në ajër me lagështi, germaniumi errësohet ngadalë. ky proces është i theksuar te germanumi polikristalor. Oksidimi i theksuar i germaniumit fillon në temperaturë mbi $150^\circ C$ ($423 K$).

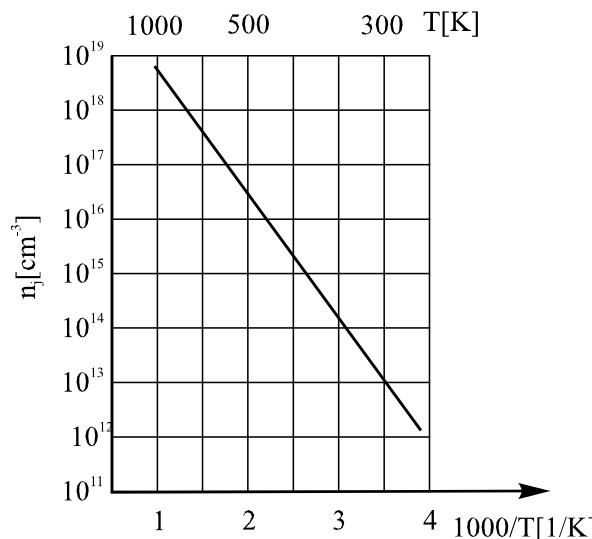


Fig. 2.62. Varësia e koncentrimit veçorijak të ngarkesave në germanium në funksion të temperaturës.

Li	Sb	P	As	S	Cu	Ag	Au	Se
0.0095	0.0096	0.012	0.013	0.18	0.20	0.09	0.04	0.14
0.01	0.01	0.01	0.011	0.011	0.02	0.04	0.05	0.03
B	Al	Te	Gd	In	Be	Zn	Cd	Mn

Fe	Co	Ni	Hg	Pt	<u>0.12</u>	0.07
----	----	----	----	----	-------------	------

Fig.2.63. Nivelet donore dhe akceptore të shtresave të ndryshme në germanium.

Germaniumi nuk bën pjesë në reaksione me ujin. Tretësi më i mirë i germaniumit është tretja alkalike e peroksidit të hidrojenit.

Gjatë nxehjes në temperaturën rreth 250°C, germaniumi drejtpërdrejt reagon me elemente halogjene. Nga këto bashkëdyzime të germaniumit dhe elementeve halogjene më i rëndësishmi është tetrakloridi i germaniumit (GeCl_4) i cili paraqet gjysmëprodhimin më të rëndësishëm nga i cili përfitohet germaniumi i pastër dhe bashkëdyzimet tjera.

Germaniumi krijon bashkëdyzime me sulfurin (GeS dhe GeS_2), edhe me azotin (Ge_3N_2). Janë të njohura edhe bashkëdyzimet me fosforin (germanium monofosfid).

Germaniumi bashk me silicin formon tretje të forta në të gjitha raportet dhe komponentet. Këto tretje të forta përdoren për përfitimin e gjeneratorëve termoelektrikë.

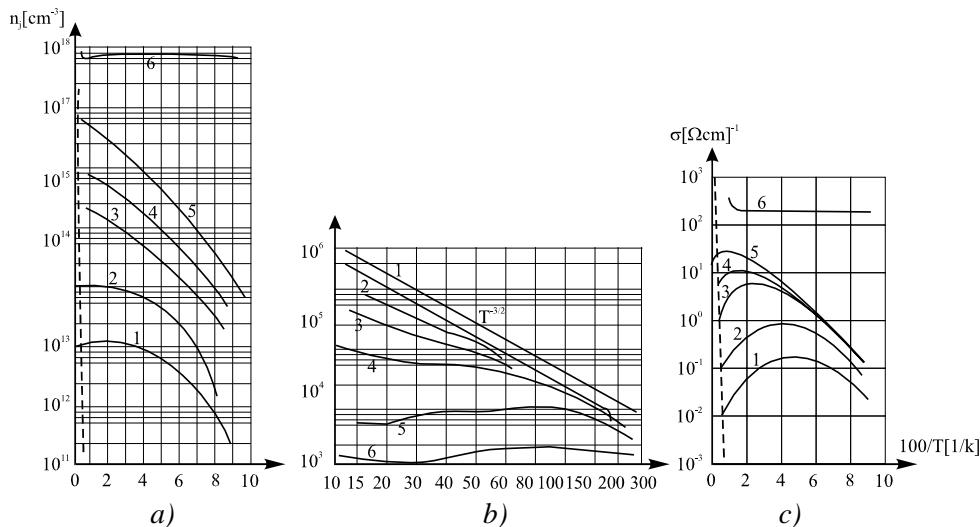


Fig. 2.64. a) Varësia e koncentrimit të elektroneve në germanium nga temperatura;
 b) Varësia e lëvizshmërisë së hollit të elektroneve prej temperaturës te germaniumi;
 c) Varësia e përqueshmërisë specifike elekrike të germaniumit prej temperaturës. Shtesat në germanium janë atomet e arsenit me koncentracion: $1-8 \times 10^{12}$; $2-8 \times 10^{13}$; $3-1,2 \times 10^{15}$; $4-7 \times 10^{15}$; $5-6 \times 10^{16}$; $6-8 \times 10^{17} cm^{-3}$.

Germaniumi është përdorur pas Luftës së Dytë Botërore. Mirëpo, më 1945 është mbaruar dioda e parë prej germaniumit ndërsa më 1948 transistori i parë. Kjo ka zgjuar interesim të madh për zbulimin e veçorive të germaniumit dhe përfitimin e tij. Germaniumi sot, si material gjysmëpërçues, pothuajse është zëvendësuar me silic.

Seleni (Se)

Seleni është element i grupit të gjashtë të elementeve në sistemin periodik.

Seleni në natyrë gjendet në formë të bashkëdyzimeve. Zakonisht, seleni është si përcjellës i sulfurit në shumë xehe sulfide, si piriti, halkopiriti dhe sfaleriti.

Seleni, zakonisht përfitohet nga mbeturinat e komorave të plumbit.

Seleni paraqitet në formën amorfë dhe në dy modifikime kristalike. Seleni amorf përfitohet me ftohje të shpejtë, kur është në gjendje të lëngët dhe të avullit, ndërsa në bazë të veçorive të tij bën pjesë në materialet dielektrike.

Seleni në gjendje kristalore ka rrjet monoklinike ose heksagonale. Të gjitha modifikimet alotropike të selenit kalojnë në modifikimin heksagonal kristalik në temperaturat prej 180-220°C.

Seleni monoklinik ka dy modifikime: a ($a=9,05$, $b=9,97$ dhe $c=11,61 \times 10^{-10}$ m) dhe b ($a=12,85$, $b=8,08$ dhe $c=931 \times 10^{-10}$ m).

Disa veçori të selenit heksagonal, përkushte të caktuara, janë dhënë në tabelën 2.46.

Modifikimi heksagonal i selenit kristalohet, përfitohet duke radhitur atomet e selenit përgjatë gjatësisë së pafundme të spirales. Çdo atom i tij është i lidhur me dy atome të afërta me lidhje kovalente. Një dredhë e spirales ka tri atome. Çdo i katërti atom gjendet mbi të parin brenda qelisë, siç shihet nga ana e majtë e Fig. 2.65. Këto qelia spirale (vargoj) renditen paralelisht njëra me tjetren në kulmet dhe në qendrën e gjashtëkëndëshit të rregullt. Në mes të atomeve të qeliave të afërta veprojnë forcat e Van der Valsit, nga të cilat mund të shpjegohet temperatura e ulët e shkrirjes së selenit (220°C).

Tab. 2.46. Disa veçori të selenit heksagonal

Veçoritë e selenit	Vlerat numerike
Parametrat e rrjetit	
Dendësia (Mg/m^3)	$a=4,36 \times 10^{-10}$ m
Temperatura e shkrirjes, (°C)	$c = 4,96 \times 10^{-10}$ m
Temperatura e avullimit, (°C)	4,8
Përcueshmëria specifike elektrike (S/cm), 300 K	220
Koeficienti i fem. (V/K), për 300 K	685
Gjerësia e zonës së ndaluar energjetike gjatë tem. 300 K, (eV)	10^{-5}
DE/DT (eV/K)	+600
	1,7-2,1
	-9×10^{-4}

Seleni ka veçori të mira të materialit fotopërçues.

Përdorimi kryesor i selenit është në ndërtimin e ridrejtuesve. Për shkak të tejdukshmërisë së pjesën infra kuqe të spektrit, seleni përdoret për përfitimin e shtresave mbrojtëse dhe filtrave për këtë pjesë të spektrit.

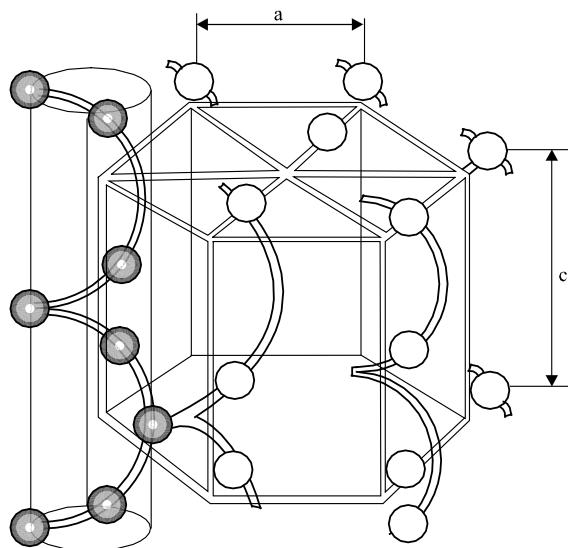


Fig. 2.65. Struktura kristallore e selenit.

B) BASHKËDYZIMET GJYSMËPËRÇUESE

Në kohën e fundit, kujdes i veçant iu kushtua shqyrtimit të veçorive të një numri të madh bashkëdyzimesh gjysmëpërçuese dhe të tretjeve gjysmëpërçuese (legurave). Një numër i madh bashkëdyzimesh kanë gjetur përdorim shumë për punimin e elementeve të ndryshme elektronike.

Bashkëdyzimet gjysmëpërçuese, në bazë të numrit të elementeve në to, ndahen në: bashkëdyzime të njëfishta, dyfishata dhe shumëfishata. Ne do t'u shtojmë kujdes të madh bashkëdyzimeve dyfishe gjysmëpërçuese (bashkëdyzimeve binare). Sipas numrit të elementeve që marrin pjesë në bashkëdyzime binare gjysmëpërçuese ndahen në këto grupe: $A^{II}B^{VI}$, $A^{II}B^V$, $A^{III}B^V$, $A^{IV}B^{IV}$, $A_2^{III}B_3^{VI}$, $A_2^VB_3^{VI}$ etj. në këto formula indeksi i sipërm tregon numrin e grupit të elementeve në sistemin periodik, ndërsa indeksi i poshtëm tregon numrin e atomeve në bashkëdyzim.

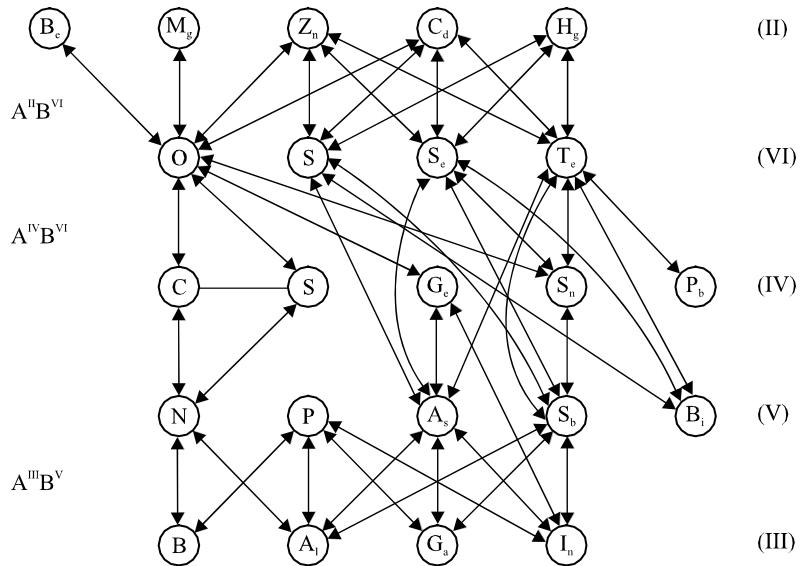


Fig.2.66. Skema e formimit të bashkëdyzimeve gjysmëpërçuese inorganike
(në anën e majtë është paraqitur tipi i bashkëdyzimit
gjysmëpërçues, ndërsa në anën e djathtë është paraqitur
grupi i elementeve të cilat i përkasin në
sistemin periodik, e që marrin pjesë
në bashkëdyzim përkatës).

Në (figurën 2.66.) është paraqitur skema e bashkëdyzimeve gjysmëpërçuese binare të grupeve më të rëndësishme inorganike. Shigjetat tregojnë mundësinë e formimit të bashkëdyzimeve gjysmëpërçuese në mes të elementeve.

Bashkëdyzimet gjysmëpërçuese të elementeve të grupeve II dhe VI të sistemit periodik të elementeve.

Në grupit II dhe VI të bashkëdyzimeve gjysmëpërçuese hyjnë: oksidet, sulfidet, selenidet dhe teluridet të beriliumit, kadmiumit, zinkut dhe të zhivës. Struktura kristalore dhe veçoritë e bashkëdyzimeve gjysmëpërçuese janë dhënë në tab.2.47.

Bashkëdyzimet gjysmëpërçuese të grupit II dhe VI përdoren për mbarimin e fotorezistorëve (CdS, CdS_e, ZnS, ZnS_e, CdTe, ZnTe), lasereve gjysmëpërçuese (ZnS, CdS, CdSe, CdTe) dhe stabilimenteve piezoelektrike (CdS, CdSe).

Bashkëdyzimet gjysmëpërçuese të grupeve III-V janë të formuara prej elementeve të grupit III të sistemit periodik (bori, alumini, galiumi dhe antimoni) me elementet e grupit V (azotin, fosforin, arsenin dhe antimonin). Bashkëdyzimet më të rëndësishme gjysmëpërçuese të formuara nga këto elemente janë: GaS dhe InSb. Përpos silicit, materiali gjysmëpërçues me veçori më të mira është GaS. Disa

veçori të GaS janë dhënë në tabelën 2.48. Që të shihen ndryshimet në kualitetin e materialeve, në këtë tabelë janë dhënë edhe veçoritë fizike të materialeve tjera gjysmëpërçuese të këtij grupi.

Materialet gjysmëpërçuese të grupeve III-V përdoren për përfitimin e fotodiodave (GaS), lasereve gjysmëpërçuese (GaAs, InAs, InP, InSb), tunel diodave (GaAs, GaSb, InSb), për transistorë që punojnë në temperaturat të larta (mbi 300°C) (GaAs, GaP), detektorë për rrezatim infrakuq (InSb), bateri solare (GaAs), aparate që bazohen në efektin e Hollit (InSb, InAs) etj. Në tab.2.48 janë dhënë veçoritë e këtyre bashkëdyzimeve.

Bashkëdyzimet gjysmëpërçuese të elementeve të grupeve IV dhe VI të sistemit periodik të elementeve.

Në bashkëdyzimet gjysmëpërçuese të elementeve të grupeve IV dhe VI hyjnë halogenidet e germaniumit, kallajit dhe plumbit. Disa nga këto bashkëdyzime (SnS, SnSe, GeS, GeSe etj). kanë rrjet rombik kristalor.

Te këto bashkëdyzime paraqitet lidhja jonike-kovalente. Në tab.2.49 janë dhënë disa veçori të këtyre bashkëdyzimeve gjysmëpërçuese.

Tab. 2.47. Disa veçori të bashkëdyzimeve gjysmëpërçuese të grupeve II dhe VI të elementeve

Bashkëdyzimet Veçoritë	ZnS	ZnSe	ZnTe	CdS	CdSe	CdTe	HgS	HgSe	HgTe
Struk. kristalore	S,V,R	S,V	S,V	S,V	S,V	S	S	S	S
Temp. e shkrirjes, (°C)	1830	1515	1295	1750 për 100 at	1250	1098	145 për 100 at	800	670
Dendësia (Mg/m³)	4,1	5,26	5,7	4,81	5,82	5,86	-	8,26	8,42
Mikrofortës. (kp/mm²)	178	135	100	-	90	60	-	25 (M)	35
Gjerësia e zonës së ndaluar (eV) për 300K	3,6	2,7	2,2	2,4	1,8	1,45	2,0	0,6	0,02-0,4
(DEs/DT)×10⁴ (eV/K)	-5,3	-7,2	-	-4,9	-4,6	-4,1	>0	-	-
Lëvizsh. e elektroneve (për 300K (e/Vs))	165	100	-	240	800	76	-	104	(1-1,7)×10⁴
Lëvizsh. zbrazëtirë			-	50		60	-	-	-
r (W/m, gjatë 300 K)	10 ⁸ -10 ¹⁰	-	10 ⁵ -10 ⁷	10-10 ⁹	-	10 ² -10 ³	10 ⁹ -19 ¹⁰	-	-
Koef. përq. termike (W/mK)	-	-	3,4×10 ³	-	-	1,1×10 ³	-	5,6×10 ²	6×10 ²
ϵ_s/ϵ_0	-	5,75	8,26	-	-	7,6	-	-	-
$\epsilon_{\infty}/\epsilon_0$	8	8,1	10,18	7-9	9,7-10,7	11	30,7	25,6	48,0
Mënyra e përfitimit	2,3	1,2,3,4	1	2,3	2,3,4	1,2,4	1,2	1,2	3,4,5

S - svalertite, V - vjurcite, R - rombike, 1 - sinteza direkte në fazën e gazët, 2 - metoda e sublimimit, 3 - metoda e transportit kimik, 4 - Brixhmanil, 5 - Met. e Çorhralskit.

Tab.2.48. Disa veçori të bashkëdyzimeve gjysmëpërçese të grupit III-V

Bashkëdyzimet Veçoritë	AIP	AlAs	AlSb	GaP	GaAs	GaSb	InP	InAs	InSb
Struk. kristalore	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Temp. e shkrirjes, (°C)	2273	2013	1330	1740	1510	985	1333	1215	798
Dendësia (Mg/m ³)	2,37	3,60	4,28	4,07	5,32	5,65	4,78	5,67	5,78
Mikrofortës. (kp/mm ²)	5,5(M)	5,2	4	9,5	7,6	4,7	4,4	3,3	2,35
Gjerësia e zonës së ndaluar (eV) për 300K	2,45	2,16	1,60	2,26	1,43	0,70	1,35	0,36	0,18
(DEs/DT) × 10 ⁴ (eV/K)	-2,6	-4,0	-3,5	-4,7	-4,0	-3,6	-2,8	-3,5	-3,0
Lëvizsh. e elektroneve (për 300K (e/Vs))	80	280	200	190	9500	4000	4600	33000	78000
Lëvizsh. zbrazëtirë	30	-	550	120	450	1400	150	460	750
Koef. përc. termike (W/mK)	92,1	84	58,6	75,3	46	33,5	67	26,8	16,7
$\frac{e_s}{e_0}$	10,9	14,4	11,12	12,53	15,63		12,35	14,55	17,72
$\frac{e_{10}}{e_0}$	8,5	10,24	9,09	10,9	14,44	12	9,52	11,8	15,7
Mënyra e përfitimit	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

1 - pastrimi zonal, 2 - metoda e Çohrolskit.

Tab. 2.49. Disa veçori fizike të bashkëdyzimeve gjysmpërçuese të grupit IV dhe VI të elementeve në sistemin periodik

Bashkëdyzimet Veçoritë	GeS	GeSe	GeTe	SnS	SnSe	SnTe	PbS	PbSe	PbTe
Rrjeta kristalore	romb	romb	kubike	romb	romb	kubike	kubike	kubuke	kubike
Temperat. e shkrirjes, (°C)	655	670	725	881	880	806	1114	1065	917
Dendësia (Mg/m ³)	4,01	5,52	6,19	5,08	6,12	6,45	7,5	8,3	8,2
Gjerësia e zonës së ndaluar energj. (eV) gjatë 300K	1,8	1,53	0,5-1,0	1,08	0,90	0,26	0,41	0,29	0,32
Elektronet Lëvizshmëria e (eV) 300 K	-	-	-	-	800	500	610	1200	1800
Zbratzirat	-	70	100	95	110	400	620	1000	900
$\frac{e_s}{e_0}$							172	206	380
$\frac{e_{10}}{e_0}$							17	24	33
Mënyra e përfitimit	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

1 - Metoda e Brixmanit. 2 - Metoda e Çohrolskit.

Për veçoritë e theksuara termoelektrike dhe fotoelektrike të bashkëdyzimeve gjysmëpërçuese të elementeve të grupit IV dhe VI, këto materiale përdoren për mbarimin e gjeneratorëve termoelektrikë, që punojnë në diapazon të temperaturës 300-600°C. Këto materiale përdoren edhe për mbarimin e detektorëve të rezatimit infrakuq, lasereve gjysmëpërçuese etj. Në kohën e fundit, halkogjenidi i germaniumit (GeS dhe GeSe) në gjendje amorfë përdoret për mbarimin e elementeve menore optike.

Në grupin V-VI të bashkëdyzimeve gjysmëpërçuese bëjnë pjesë sulfidet, selenidet, teluridi i antimonit dhe arsenit. Disa nga këto materiale kanë veçori të theksuara termoelektrike. Bashkëdyzimet gjysmëpërçuese të këtyre grupeve kanë rrjet monoklinik (As_2S_3 , As_2Se_3 , As_2Te_3), rombiku (Sb_2Te_3 , Bi_2Te_3 dhe Bi_2Se_3).

Disa veçori të bashkëdyzimeve gjysmëpërçuese janë dhënë në tabelën 2.50.

Për shkak të veçorive të mira termoelektrike, këto materiale përdoren për bërjen e gjeneratorëve termoelektrikë dhe ftohseve të ndryshme, që punojnë në temperaturë 100-600°C.

Tab. 2.50. Disa veti të këtyre bashkëdyzimeve

Veçoritë	Bashkëdyzimet								
	As ₂ S ₃	As ₂ Se ₃	As ₂ Te ₃	Sb ₂ S ₃	Sb ₂ Se ₃	Sb ₂ Tbe ₃	Bi ₂ S ₃	Bi ₂ S ₃	Be ₂ Te ₃
Struktura kristalore	M	M	M	R	R	Rb	Rb	Rb	Rb
Dendësia (Mr /cm ³)	3.43	-	6.1	4.64	5.81	6.57	6.73	7.40	7.86
Temperatura e shkrirjes (°C)	325	360	362	546	612	621	750	706	585
Gjerësia e zonës së ndaluar energjetike (eV) gjatë 300K	2.5	1.6	1.0	1.64	1.0-1.2	0.2-0.3	1.3	0.28	0.13-0.15
(DEs/DT) 10 ⁴ (eV/K)				-5.7	-7			2	-0.95
ELEKTRONEVE lëvizshmëria (cm ² /Vs) gjatë 300K ZBRAZTËSIRA	-	-	170	-	100	-	-	600	1250
	-	-	80	-	45	360	200	-	515
Koef. i përcueshmërisë termike (W/mK) gjatë 300K						6.6	2.0	2.3	0.7-1.5
Koeficienti i forcës termoelektromotore (mV/K)				-1000	+1200	+100	-700	-300	+230
Mënyra e përfitimit**	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2

M – monoklinik, R – rombik, Rb – rrjeti kristalor romboidik, 1** - Metoda e Brixhmanit, 2 – Metoda e Çohranit.

2.11. PËRCAKTIMI EKSPEIMENTAL I KONCENTRIMIT DHE I LËVIZSHMËRISË TË BARTËSVE TË NGARKESAVE ELEKTRIKE NË MATERIALET GJYSMËPËRÇUESE

Përcaktimi i lëvizshmërisë dhe i koncentrimit të bartësve të ngarkuar me ndihmën e efektit të Hollit në materialet përcuese që është treguar më parë. Në mënyrë të njëjtë mund të përcaktohet lëvizshmëria dhe bartësit edhe në materialet gjysmëpërcuese, veçanërisht në materialet e tipit *n* ose *p*.

Më poshtë do të shpjegohet mënyra e përcaktimit të lëvizshmërisë dhe koncentrimit të bartësve të lirë te materialet gjysmëpërcuese të tipit *p*. Mostra e këtij materiali është dhënë në Fig. 2.67. ku $s_p = exp(\eta)$ (kjo i përgjigjet përcueshmërisë së materialit me shtesa dhe diapazonit ku sasia e shtesave është e

vogël). Për mostrën e paraqitur më sipër mund të tregohet se konstanta e Hollit, duke abstrahuar mekanizmin r të shpërndarjes së ngarkesave, është:

$$R_{pH} = \frac{1}{e \times p} \quad (2.51)$$

Nëse merret edhe mekanizmi i shkapërderdhjes së ngarkesave (në këtë rast të zbrastive), del se:

$$R_{pH} = \frac{r}{e \times p} \quad (2.52)$$

ku r - është shpërndarja e bartësve për shkak të vibracioneve termike të atomeve, vlera e së cilës është $r=1,178$, ndërsa $r=1,93$ paraqet shpërndarje te atomet shtesë të ionizuar. Koeficienti r - quhet faktori i Hollit. Duke u bazuar në vlerat eksperimentale të s_p dhe R_{pH} , përcaktohen m_p dhe p .

Kështu do të jetë:

$$m_p = \frac{R_{pH}}{s_p} \quad \text{dhe} \quad p = \frac{r}{e \times R_{pH}} \quad (2.53)$$

Meqenëse lëvizshmëria e Hollit është $|R_H|s=m_p$, te materialet gjysmëpërçuese të tipit p do të kemi:

$$m_{pH} = r \times m_p \quad (2.54)$$

Nga barazia e mëparshme mund të konstatohet se lëvizshmëria e Hollit, m_{pH} , është më e madhe se lëvizshmëria drift e m_p te materialet gjysmëpërçuese. Te materialet përçuese $r=1$, prandaj $m_p=m$. Meqenëse koncentrimi i ngarkesave varet nga temperatura, edhe konstanta e Hollit varet nga temperatura. kjo është ilustruar edhe në Fig. 2.68. në materialin InSb.

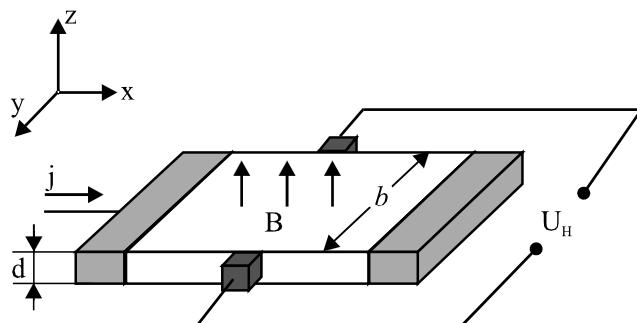


Fig.2.67. Mostra e materialit gjysmëpërçues e tipit p e cila është përdorur për përcaktimin e koncentrimit dhe lëvizshmërisë së bartësve në bazë të efektit të Hollit

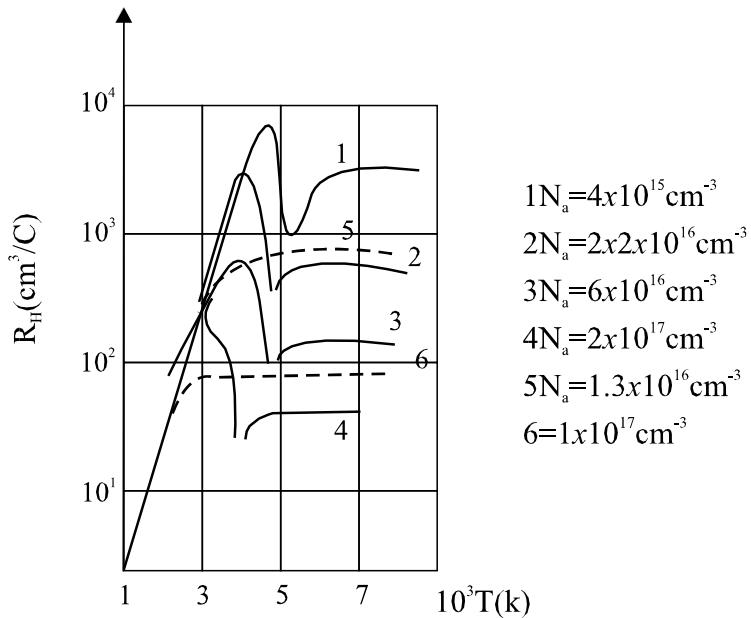


Fig.2.68. Varësia e konstantes së Hollit të materialit InSb të tipit n dhe përgjegjësia temperaturave.

Te materialet gjysmëpërçuese të tipit n, barazitë për konstante të Hollit dhe përçueshmëri specifike elekrike, duke pasur kujdes edhe për mekanizmin e shkaperderdhjes së ngarkesave, janë:

$$R_{nH} = - \frac{r}{e \times p} \quad \text{dhe} \quad s_n = e \times n \times m_h \quad (2.55)$$

Nga kjo barazi do të kemi:

$$n = \left| 1 - \frac{r}{e \times R_{nH}} \right| \quad \text{dhe} \quad m_h = \frac{s_n |R_{nH}|}{r} \quad (2.56)$$

Për përcaktimin e tipit të bartësve të ngarkesave duhet të përdoret mënyra e njëjtë e përcaktimit eksperimental të koncentrimit dhe lëvizshmërisë së elektroneve të lira te materialet përçuese.

Përcaktimi eksperimental i energjisë së zonës së ndaluar energjetike te materialet gjysmëpërçuese.

Përçueshmëria specifike elekrike e materialeve gjysmëpërçuese të pastërtë dhe me shtesa në pjesën e përçueshmërisë vetjake është:

$$s = s_0 \times e^{-\frac{E_g}{2k_B} T} \quad (2.57)$$

ku s_0 - nuk varet nga temperatura. Në diagramin e varsisë së $\ln s$ prej $1/T$ në relacionin e mëparshëm për përqueshmëri, shihet se kjo paraqet një drejtëz, (Fig. 2.69) në pjesën e përqueshmërisë vetjake. Duke u bazuar në këtë, përfundojmë se matja e përqueshmërisë specifike elektrike vetjake te materialeve gjysmëpërquese me shtesa (në kufirin e përqueshmërisë vetjake) dhe vizatimi i varsisë së $\ln s$ prej $1/T$, mund të përcaktohet prej lakut të lakores dhe gjerësisë së zonës së ndaluar energjetike të materialit gjysmëpërques.

Tema për diskutim

1. Që një material të tregoj veçori të mira perçuese duhet ta plotësoj kushtin $d < l$. Kur mund të plotësohet një kusht i tillë? Kur mund të plotësohet kusht që d^3/l , kur bëhet shkapërderdhja e resë elektronike degjenerike?
2. Pse materialet me përqeshmeri të mirë specifike elektrike (në temperaturë të dhomës- $20^\circ C$), në zeron absolute nuk tregojnë veçori supërpërçuese?
3. Pse rritet vlera r të metalet me rritjen e temperaturës. Si është varësia e $r=f(T)$ të përquesit?
4. Atomet shtesë, si defekt në mikrostrukturen e metaleve, rrisin r . Çka ndodhë me lëvizjen e lirë të elektroneve të lira në mikrostrukturen e tyre?
5. Çfarë roli ka rritja apo zvoglimi i temperaturës dhe fushës së jashtme magnetike në veçoritë e materialeve supërpërçuese?
6. Koeficienti α te materialet me veçori të ndryshme elektrike, ka vlera të ndryshme. Si ndryshon varësia e vleres së α për materiale përquese, gjysmëpërquese dhe izoluese me rritjen e temperaturës.
7. Si ndikojnë: intensiteti i fushës së jashtme, temperatURA dHE atomet shtesë në veçoritë themelore të materialeve gjysmëpërquese?
8. Çfarë vlere duhet të ketë α për materiale që përdoren për mbarimin e rezistorëve matës dhe rregullues?
9. Për bimetale dHE termocifte përdoren materiale me veçori specifike. Si realizohen këto dHE çfarë ndikimi ka temperatura në veçoritë e tyre?
10. Çfarë janë rezistorët shtresorë dHE ata masivë. Si realizohen dHE çfarë vlerash të rezistencave arrihen me rezistorë të sipërpërmendur?

Kapitulli

2

MATERIALET PËRÇUESE

2.1. MATERIALET PËRÇUESE NË FUSHËN ELEKTRIKE

Kur materia gjendet nën veprimin e fushës elektrike, atëherë mbi të gjitha grimcat elementare të elektrizuara në materiale do të veprojnë forcat mekanike. Materiali nën veprimin e fushës elektrike varet prej llojit dhe sasisë së bartësve të ngarkesave elektrike dhe intensitetit të forcave të brendshme lidhëse. Rëndësi të posaçme kanë forcat lidhëse, përkatësisht forcat e interaksionit. Kur forcat e brendshme janë të dobëta, mjafton një intensitet i vogël i fushës elektrike që të bëjë zhvendosjen e bartësve të ngarkesave elektrike, në të kundërtën, kur forcat e brendshme janë të forta, atëherë edhe fushat me intensitetë më të mëdha nuk mund ta prishin stabilitetin e vendosur dhe nuk do të shkaktohet lëvizja e bartësve të ngarkesave elektrike.

Grupin e parë të materialeve elektrike të lartpërmendura e përbëjnë përçuesit elektrikë, ndërsa të dytin, dielektrikët.

Përçuesit e rrymës elektrike, kryesisht janë materiale të ngurtë, megjithëse ka materiale që janë në gjendje aggregate të lëngët dhe e përçojnë mirë rrymën elektrike.

Gazet si gjendje e posaçme aggregate nuk mund të konsiderohen si përçues të mirë të rrymës elektrike, përvëç në disa raste të veçanta (kushte të veçanta pune).

2.2. MEKANIZMI I PËRÇUARJES SË RRYMËS NË TRUPA TË NGURTË

Te trupat e ngurtë dallojmë përçueshmëri jonike dhe elektronike. Materialet që kanë përdorim të madh në elektroteknikë karakterizohen me përçueshmëri elektronike. Rëndësi më të madhe ka përçueshmëria elektronike se ajo jonike, e cila, para së gjithash, është ngusht e lidhur me transformimin e materialit.

Në përçueshmërinë elektronike marrin pjesë dy lloje bartësh të ngarkesave elektronike: elektronet dhe gropëzat. Dendësia e rrymës elektrike në këtë rast shprehet si:

$$\mathbf{J} = Q(n^+ \vec{m}^\dagger + n^- \vec{m}) \mathbf{E} = s \times \mathbf{E} \quad (2.1)$$

ku:

n^+ - është përqëndrimi (koncentracioni) i gropëzave,

\vec{m}^\dagger - lëvizja e gropëzave,

n^- - përqëndrimi i elektroneve,

\mathbf{E} - intensiteti i fushës elektrike,

\vec{m} - lëvizja e elektroneve,

\mathbf{J} - dendësia e rrymës,

s - përçueshmëria elektrike specifike.

Përqëndrimi i bartësve të ngarkesave varet prej strukturës së materialeve, kurse raporti reciprok i tyre përcakton natyrën e mëkëmbjes së rrymës.

Te përçuesit e rrymës elektrike, që kanë përdorim praktikë, elektronet janë bartësit kryesorë të ngarkesave.

Para se të njihet mekanizimi i përçueshmërisë së rrymës elektrike, eksperimentalisht janë konstatuar disa ligjshmëri. Prandaj, çdo teori e përçuarjes së rrymës elektrike nëpër trupa të ngurtë ka për detyrë t'i shpjegojë këto ligjshmëri:

1. të shpjegojë Ligjin e Omit, sipas të cilit dendësia e rrymës elektrike në trupin e ngurtë homogjen është proporcionale me intensitetin e fushës elektrike. Kjo do të thotë se përçueshmëria elektrike si koeficient i proporcionalitetit nuk varet prej intensitetit të fushës elektrike;
2. të shpjegojë varësinë e rezistencës elektrike nga temperatura. Kjo varësi në temapratura të larta te metalet është si T^1 , ndërsa për temperaturat shumë të ulëta është si T^5 . në disa vlera të caktuara të temperaturës përçueshmëria ka vlerë praktikisht të pakufishme (superpërçueshmëria);
3. të shpjegojë efektin termoelektrik te metalet dhe
4. të shpjegojë efektin galvanomagnetik, sidomos efektin e Hollit.

Për të gjitha këto që u thanë më lart, shpjegime ka dhënë mekanika kuantike (teorema kuantike e përçueshmërisë elektrike). Sipas kësaj teorie, bartës i

ngarkesave të trupave të ngurtë me lidhje metalike është gazi i degjeneruar elektronik, i krijuar me kolektivizimin e elektroneve në strukturën kristalore. Ky lloj gazi i nënshtrohet ligjit statistikor të Fermi-Dirakut. Në këtë rast, forca si rezultat i veprimit të fushës së jashtme mund të shkaktojë lëvizjen e orientuar të elektroneve, praktikisht mëkëmbjen e rrymës elektrike në material. Kjo ndodh edhe atëherë kur forca është relativisht e vogël në krahasim me forcat e interaksionit, të cilat mbizotërojnë në kristalet e trupave të ngurtë.

Lëvizja e elektroneve, në bazë të ligjeve të mekanikës kuantike, paraqet përhapje të valëve elektronike nëpër rrjetin kristalor. Në rastet e tillë zbatohet Ligji i përhapjes së valëve elektromagnetike. Rol vendimtar për sjelljen e valëve në rrjetin kristalor luan marrëdhënia ndërmjet gjatësisë valore, e dhënë si raport i konstantes së Plankut, masës së elektroneve dhe shpejtësisë mesatare të elektroneve:

$$I = \frac{h}{m \nu} \quad (2.2)$$

ku:

h - është konstantja e Plankut,

m - masa e elektroneve,

ν - shpejtësia mesatare e elektroneve dhe e distancës së nyjeve të rrjetit kristalor d .

Kur $d^3 I$, atëherë bëhet shkapërderdhja (dispersioni) i valës elektronike, dhe kur:

$$d < l \quad (2.3)$$

vala elektronike kalon nëpër rrjetin kristalor pa kurrfarë pengesash.

Në trupat e ngurtë, me lidhje metalike, ku paketimi i elektroneve në rrjetin e rregullt kristalor është shumë i dendur, në nyje jo të lëvizshme e për temperaturë të ulët (zeroja absolute), mund të realizohet kushti që $d < l$ në mënyrë që të mos bëhet shkapërderdhja e valëve elektronike.

Deformimi i rrjetit kristalor, nëse plotësohet kushti $d^3 I$, mund të jetë shkaktar i shkapërderdhjes së valëve elektronike. Ky deformim bënë të paraqitet për shumë shkaqe. Njëra prej tyre është oshilimi termik i nyjeve të rrjetit kristalor, i cili çdo lëvizje tjetër termike ka karakter kaotik.

Në shumicën e nyjeve të kristaleve të trupit të ngurtë gjithmonë ekziston një numër i nujeve të caktuara, që me oshilimet e veta të arrijë atë shkallë që të plotësohet kushti $d^3 I$. Mirëpo, për t'u plotësuar ky kusht te materialet e ngurta ($d^3 I$) është bukur vështirë, ngase për të do të duhet temeperaturë më e lartë. Këto deformime të rrjetit kristalor rezultojnë me paraqitjen e rezistencës elektrike.

Mundësia tjetër e deformimit të rrjetit kristalor është edhe prania e disa atomeve shtesë (tjera) në strukturën e trupave të ngurtë. Shkalla e shkapërderdhjes së valëve elektronike varet nga sasia e atomeve të tjera në materiale përkatëse. Në

Fig. 2.1. është dhënë varësia e rezistencës specifike elekrike në funksion të temperaturës.

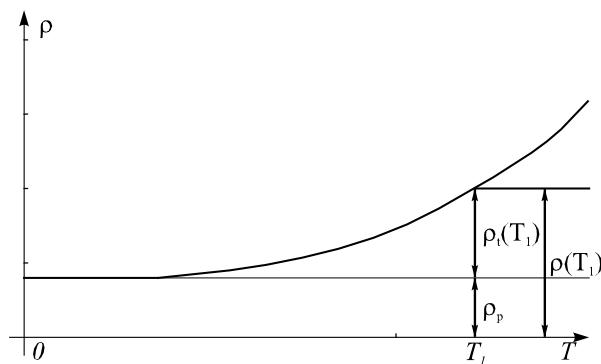


Fig.2.1. Varshmëria e rezistencës elekrike specifike prej temperaturës për metalin që nuk është superpërçues.

Nga diagrami shihet se rezistenca specifike elekrike e materialeve është e njëjtë me shumën e dy rezistencave: rezistencës së paraqitur për shkak të oshilimeve termike r_t dhe rezistencës së paraqitur për shkak të pranisë së atomeve të tjera r_p për temperaturë të caktuar T_1 :

$$r = r_t + r_p \quad (2.4)$$

Ekziston një numër i materialeve te të cilat rezistenca nuk zvogëlohet në mënyrë monotone varësisht prej temperaturës deri te vlera r_p , por në temperaturë të caktuar (temperaturë kritike) funksioni $r=f(T)$ me kërcim merr vlerën zero, që praktikisht do të thotë se përqueshmëria ka vlerë të pakufishme. Këtu mendojmë për fenomenin e superpërçueshmërisë.

2.3. PËRÇUESHMËRIA E RRYMËS ELEKTRIKE NËPËR LËNGJE

Lëngjet e pastërtë, me përjashtim të metaleve të shkrira, janë përques të dobët të rrymës elektrike. Me tretjen e disa materialeve në to, ato bëhen përques të mirë. Tretësirat e ndryshme të acideve, bazave, kripërave në ujë ose në tretës të tjerë quhen elektrolite, që i konsiderojmë përques të klasës së dyte.

Mëkëmbja e rrymës nëpër elektrolitë bëhet me lëvizjet e joneve atomeve ose grupe atomesh të ngarkuara me elektricitet.

Prandaj, mëkëmbja e rrymës nëpër elektrolit është e lidhur me transformimin e materies.

Përçueshmëria e elektrolitit varet nga përqëndrimi i tij. Me rritjen e përqëndrimit rritet përçueshmëria.

2.4. VEÇORITË THEMELORE ELEKTRIKE TË MATERIALEVE PËRÇUESE

Me veçori themelore elektrike të materialeve përçuese kuptojmë rezistencën specifike elektrike dhe ndryshimin e saj me temperaturën. Rezistenca specifike elektrike e një materiali është rezistenca e një përcuesi të materialit, me gjatës një metër, ndërsa sipërfaqja (seksioni) është një metër katror. Pra, dimensioni i rezistencës specifike elektrike është Wm^2/m , përkatësisht Wm .

Vlera reciproke e rezistencës specifike elektrike quhet përçueshmëri specifike elektrike që ka njësinë (S/m).

2.4.1. PËRÇUESHMËRIA SPECIFIKE ELEKTRIKE E MATERIALEVE PËRÇUESE

Gjatë veprimit të fushës së jashtme elektrike në materialin përcues, elektronet bëjnë lëvizje plotësuese në drejtim të fushës, por me kahje të kundërt. Meqenëse më parë lëvizja e elektroneve ka qenë lëvizje termike kaotike (Fig. 2.2a) për shkak të “përplasjeve”, lëvizja e vërtetë (Fig. 2.2c) është rezultanta e lëvizjes së elektroneve vetëm nën veprimin e fushës (Fig. 2.2b) dhe të lëvizjes kaotike.

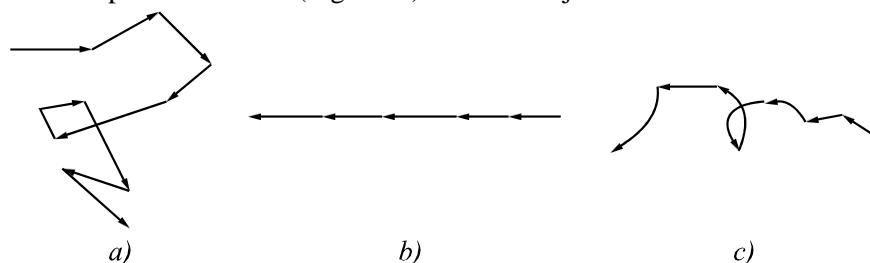


Fig.2.2. Paraqitura e lëvizjes së elektroneve në material: a) lëvizja kaotike termike e elektroneve, b) lëvizja e elektroneve vetëm nën veprimin e fushës elektrike dhe c) lëvizja rezultante e elektroneve në material.

Në këtë rast numri i elektroneve që lëvizin në kahje të kundërt të fushës elektrike, është më i madh se numri i elektroneve që lëvizin në kahje të fushës; Prandaj në përcues mëkëmbët rryma elektrike me kahje të njëjtë me fushën e jashtme elektrike.

Kur materiali përcues gjendet në fushën e jashtme elektrike me intensitet \mathbf{E} , vepron forca $\mathbf{F} = -e\mathbf{E}$. Për shkak të veprimit të kësa force sasia e lëvizjes së elektronit rritet dhe në një moment t , pas shpërndarjes, tërë sasia e lëvizjes së elektronit është:

$$m_e \times \mathbf{v}_T = e \times \mathbf{E} \times t \quad (2.5)$$

ku: \mathbf{v}_T - është vektori i shpejtësisë termike të elektronit menjëherë pas shpërndarjes, m_e - masa e elektronit.

Në fushat e dobëta, rasti te përcuesit, zmadhimi i sasisë së lëvizjes të elektroneve $-e\mathbf{E} \times t$ është e vogël, prandaj shpejtësia e lëvizjes së elektroneve pak ndryshon. Në këto kushte koha e rrugës së lirë të elektroneve është gati e njëjtë si gjatë lëvizjes termike dhe nuk varet prej intensitetit të fushës.

Sasia mesatare e lëvizjes së të gjithë N elektroneve të lira në vëllimin V në një moment të shqyrtimit është:

$$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (m_e \times (\mathbf{v}_T)_n - e \times \mathbf{E} \times t_n) = m_e \times \mathbf{v}_{mes} \quad (2.6)$$

Për shkak të lëvizjes kaotike shpejtësia termike e elektroneve të lira është barazi me zero:

$$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N m_e \times (\mathbf{v}_T)_n = 0$$

Prandaj:

$$m_e \times \mathbf{v}_{mes} = -e \times \mathbf{E} \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (t_n) \quad (2.7)$$

Nëse $\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (t_n) = t$, do të kemi:

$$\mathbf{v}_{mes} = -\frac{e \times t}{m_e} \times \mathbf{E} \quad (2.8)$$

Madhësia e caktuar me shprehjen:

$$\frac{e \times t}{m_e} = m \quad (2.9)$$

quhet lëvizshmëri e elektronit. Shpejtësia mesatare që njihet si shpejtësi "drift", është:

$$\mathbf{v}_{mes} = -m \times \mathbf{E} \quad (2.10)$$

Meqenëse vektori i dendësisë së rrymës në një pikë është i caktuar me shprehjen:

$$\mathbf{J} = -n \times e \times \mathbf{v}_{mes} \quad (2.11)$$

ku: n - është përqëndrimi i elektroneve të lira, do të kemi:

$$\mathbf{J} = -n \times e \times m \times \mathbf{E} \quad (2.12)$$

ku madhësia σ - quhet përçueshmëria specifike elektrike, ose $r=1/\sigma$ rezistencë specifike elektrike.

Në bazë të shprehjeve të mëparshme kemi:

$$\mathbf{J} = -s \times \mathbf{E} \quad (2.13)$$

që paraqet Ligjin e Omit në formë lokale. Varësia lineare në mes të dendësisë së rrymës dhe intensitetit të fushës vlen në rastet kur përqëndrimi i elektroneve të lira dhe lëvizja e tyre nuk varen nga intensiteti i fushës. Përqëndrimi i elektroneve në metale është i rendit 10^{28} m^{-3} dhe përafërsisht i njëjtë me përqëndrimin e atomeve, ngase çdo atom në metal ka një deri 3 elektrone valente. Përqëndrimi i elektroneve përçuese te disa metale është dhënë në tabelën 2.1.

Tab. 2.1. Përqëndrimi i elektroneve përçuese te disa metale

Metalet	$n \times 10^{28} (\text{m}^{-3})$
Li	4,6
Na	2,5
K	1,3
Rb	1,1
Cs	0,85
Cu	8,5
Ag	3,94
Au	3,54
Al	2,22

Lëvizja e elektroneve në metale është shumë e vogël, e rendit 10^3 - $10^4 \text{ m}^2/\text{S}\times\text{V}$, për shkak të shpërndarjes së dendur të elektroneve në metale. Lëvizja e elektroneve në disa metale në temperaturën e dhomës është dhënë në tabelën 2.2.

Tab. 2.2. Lëvizja e elektroneve të disa metaleve në temperaturën e dhomës

Metalet	$10^4 (\text{m}^2/\text{s} \times \text{V})$
Ag	56
Na	48
Be	44
Cu	35
Au	30
Li	19
Al	10
Cd	7,9
Zn	5,8

2.4.2. NDIKIMI I TEMPERATURËS NË REZISTENCËN SPECIFIKE ELEKTRIKE

Siq kemi konstatuar më parë, tërë rezistenca specifike elektrike e përcuesve është:

$$r = r_T + r_p \quad (2.14)$$

ku r_p - nuk varet prej temperaturës, dhe se varësia e r nga temperatura është e caktuar vetëm nga varësia $r(T)$.

Në temperaturat e larta shpërndarja e elektroneve për shkak të vibracioneve të atomit është më e dukshme se sa shpërndarja te atomet shtesë. Prandaj, pasi $r_p \ll r_T$,

$$r @ r_T = AT = \frac{1}{en\eta} \quad (2.15)$$

kurse në temperaturat më të ulëta (nën 100 K) është:

$$r = BT^5 + r_p \quad (2.16)$$

ku A dhe B nuk varen nga temperatura dhe e paraqesin karakteristikën e materialit. Vlera $T @ 0$, $BT^5 @ 0$, prandaj:

$$r @ r_p = \frac{1}{en\eta_p} \quad (2.17)$$

Funksioni i varësisë së rezistencës specifike elektrike nga temperatura caktohet me varësinë e lëvizjes së elektroneve nga temperatura. Në temperaturat e ulëta, lëvizja e elektroneve te metalet, për shkak të shpërndarjes së elektroneve si rezultat i vibracioneve termike është në përpjestim të zhdrojtë me T^5 :

$$\eta \gg \frac{1}{T^5} \quad (2.18)$$

kurse në temperaturat e larta është:

$$\eta \gg \frac{1}{T} \quad (2.19)$$

Varësia kualitative e lëvizjes së elektroneve nga temperatura në metale është dhënë në Fig. 2.3.

Në përgjithësi funksioni i varësisë së rezistencës specifike elektrike nga temperatura në përcues është i pandërprerë. Diskontinuitetet e rezistencës specifike elektrike në temperaturat e shkrirjes paraqiten si pasojë e prishjes së rrjetave kristalore të trupave të ngurtë dhe zhdukjes së gazit elektronik.

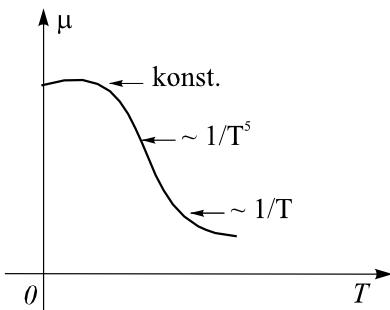


Fig. 2.3. Varësia kualitative e lëvizjes së elektroneve nga temperatura në metale

Për nevoja praktike, llogaritja e r bëhet nëpërmjet relacionit:

$$r(T) @ r(T_1)(1 + \alpha_{T_1}(T - T_1)) \quad (2.20)$$

ku, α_{T_1} – paraqet koeficientin termik të rezistencës, që për temperaturatë të caktuarë është:

$$\alpha_{T_1} = \frac{1}{r(T_1)} \times \left. \frac{dr}{dT} \right|_{T=T_1} \quad (2.21)$$

me ç'rast temperatura referente merret $T=293$ K (20°C).

Duke pasur parasysh se në shumicën e materialeve përquese rezistenca specifike elektrike, relativisht nuk ndryshon afër temperaturës që definohet si temperaturë e punës, në këtë interval mund të konsiderohet se r është konstante dhe baras me vlerën mesatare të saj për një interval të temperaturës, (Fig. 2.4.).

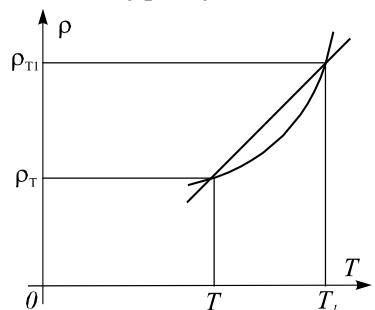


Fig.2.4. Varësia e rezistencës specifike elektrike në funksion të temperaturës

Për shkak të bymimit ekzistues të materialit, duhet dalluar koeficientin termik të rezistencës dhe koeficientin termik të rezistencës specifike elektrike.

Në tabelën 2.3. janë dhënë vlerat e përaferta të rezistencës specifike elektrike, përqueshmërisë specifike elektrike dhe koeficientit termik të rezistencës për metale të ndryshme.

Tab.2.3. Vlerat e përafërtë të r , s , dhe α për disa metale në temperaturën e dhomës

Materialet	Rezistenca specifike elektrike (r) (10^{-6}Wm)	Përçueshmëria specifike elektrike (s) (MSm^{-1}),	Koeficienti termik i rezistences (α) (K^{-1})
Ag	0.015000	61.5	0.00410
Cu	0.017241	58.2	0.00393
Au	0.022500	40.9	0.00395
Al	0.028000	35.5	0.00400
Na	0.043800	21.0	0.00160
W	0.055000	18.0	0.00500
Cd	0.060000	13.0	0.00600
Ni	0.068000	12.8	0.00670
Fe	0.097000	10.0	0.00625
Pb	0.190000	4.5	0.00420

KLASIFIKIMI I MATERIALEVE PËRÇUESE

Materialet përçuese ndahen në:

1. materiale superpërçuese,
2. materiale përçuese me përçueshmëri specifike elektrike të madhe dhe legurat e tyre,
3. materialet me përçueshmëri specifike elektrike të vogël dhe legurat e tyre,
4. materialet përçuese për qëllime speciale dhe
5. materialet gjysmëpërçuese.

2.5. SUPERPËRÇUESHMËRIA, MATERIALET DHE PËRDORIMI I TYRE

Dukuritë e supërpërçueshmërisë për herë të parë i konstatoi H. Kamerling Onnes. Duke mbajtur temperaturën e unazës prej zhive në disa kelvina me ndihmën e heliumit të lëngët, mëkëmbet rryma elektrike, që edhe pas çkyqjes së burimit ajo qëndroi dy vjet me radhë. Materialet që kanë këtë veçori quhen superpërçues, kurse dukuria quhet supërçueshmëri. Duhet të theksohet se në materialet

superpërçuese nuk hyjnë materialet që në temperaturatë të rëndomta janë përçues të mirë.

Në të vërtetë, te materialet superpërçuese në një temperaturë të caktuar të ulët (temperaturë kritike), rezistencë specifikë elektrike përnjëherë zgjedhet prej një vlerë të caktuar në zero, siç është paraqitur (Fig. 2.5.) për zhivën.

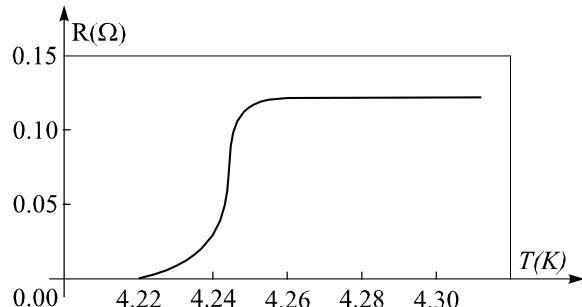


Fig.2.5. Varësia e rezistencës elektrike të zhivës nga temperatura në afërsi të zeros absolute.

Sipas teorisë BCS, në bazë të autorëve J. Berdeu, L. Cooper dhe J.R.Schriefer, karakteristikat themelore të dukurisë së superpërçueshmërisë janë:

- ndërrimi në kërcim i rezistencës specifikë elektrike të materialet ose vlerë në zero në temperaturën kritike. Në këtë mënyrë rryma e mëkëmbur në konturën superpërçuese në temperaturë nën atë kritike do të ekzistojë, edhe pse në të nuk vepron asnjë burim. Rryma në konturë mëkëmbet me ndihmën e induksionit elektromagnetik.
- fusha magnetike nuk ekziston në brendi të materialit në gjendje superpërçuese.

Kur materiali superpërçues vendoset në fushën e jashtme magnetike, atëherë në material do të kemi rrymë të përhershme elektrike për shkak të induksionit elektromagnetik. Fusha magnetike e këtyre rrymave e kompenzon fushën e jashtme magnetike. Këtë veçori të superpërçuesve së pari e konstatuan, më 1933, W. Meissueri dhe R.Ochsenfeldi (efekti i Majsuerit - fusha magnetike gjithmonë është barazi me zero brenda materialit në gjendje superpërçuese, përveç në shtresën sipërfaqësore). Për këtë arsy, materialet në gjendje superpërçuese janë përçues idealë dhe materiale diamagnete (c=1).

Te fusha magnetike vehtijke, fusha magnetike brenda përçuesit është zero (përveç në shtresën sipërfaqësore). Pa marrë parasysh se është rrymë njëkahore, ajo tërhoqet nga sipërfaqja e përçuesit.

Me vendosjen e materialit, që gjendet nën temperaturën kritike, në fushë të fortë magnetike, superpërçueshmëria zhdukjet. Kjo vlerë e fushës magnetike quhet fusha magnetike kritike H_c . Vlera e saj varet nga temperatura e materialit. Zhdukja

e superpërçueshmërisë mund të realizohet edhe me fushën magnetike vehtjake, kur vlera e saj në sipërfaqe të përçuesit është e njëjtë me vlerën kritike.

Dukuria e superpërçueshmërisë është konstatuar në 45 elemente kimike të sistemit periodik dhe në më se 100 legura. Disa prej tyre bëhen superpërçues në kushte normale, nën shtypje normale dhe në mostra masive, disa nën shtypje të larta dhe, disa kur janë në formë shtresash të holla. Në tabelën 2.4. janë dhënë temperaturat kritike dhe fushat magnetike kritike për disa elemente superpërçuese në gjendje normale. Në tabelën 2.5. janë dhënë temperaturat kritike dhe shtypjet për grupin e dytë të elementeve, që kalojnë në gjendje superpërçuese nën shtypje të mëdha, kurse në tabelën 2.6. janë dhënë karakteristikat e materialeve superpërçuese në formë shtresash të holla.

Materialet superpërçuese mund të ndahan në dy grupe ose dy tipe: tipi SI dhe tipi SII. Nëse zvogëlimi i rezistencës specifike elektrike në temperaturë të caktuar është me kërcim të menjëhershëm, ky është superpërçues i tipit SI, nëse zvogëlimi i r është shkallë-shkallë, është tipi SII. Superpërçuesit e tipit SI kanë dy gjendje stabile: gjendjen përquese normale dhe superpërçuese, ndërsa superpërçuesit e tipit SII, në mungesë të veprimit të fushës magnetike, kanë tri gjendje stabile: gjendjen përquese normale (mbi temperaturën e "sipërme" kritike), superpërçuese (nën temperaturën e "poshtme" kritike), dhe gjendje të përzjerë (ndërmjet dy temperaturave kritike). Zakonisht, superpërçuesit e tipit SII karakterizohen vetëm me një temperaturë kritike me mesataren ndërmjet të "sipërmes" dhe të "poshtmes").

Tab.2.4. Temperaturat kritike dhe fusha magnetike kritike e disa elementeve superpërçuese

Elem. . .	Temperatura T _K (K)	Fusha magnetike H _K (A/m)	Elem.	Temperatura T _K (K)	Fusha magnetike H _K (A/m)
Al	1.175-1.196	8199-8352,4	Pb	7.175-7.236	63632-63951
Cd	0.517-0.535	2356	Re	1.694-1.717	14965-16796
a-Hg	4.153-4.160	30248	Ru	0.470-0.493	3741
b-Hg	3.949	27064	Sn	3.700-3.732	24358
In	3.390-3.404	13532-23084	Ta	4.300-4.483	66148
Ir	0.103-0.140	1600	Tc	7.730-9.820	112236 (240392)*
a-La	4.800-5.200	64317	Tl	2.360-2.384	14049-14288
b-La	6.000-6.200	127360	V	4.500-5.475	92893(240392)*
Mo	0.899-0.916	6846-7801	W	0.0154-0.120	85.2-91-5
Nb	9.000-9.700	158643 (321584)*	Zn	0.855-0.875	4139-4298
Os	0.580-0.670	5147	Zr	0.460-0.560	3741

*- vlerat e fushës H_{K2} (për superpërçues të tipit S II)

Tab. 2.5. Temperatura kritike dhe shtypja për elemente që kalojnë në gjendje superpërçuese nën shtypje të mëdha

Elementet	Temperatura kritike (K)	Shtypja (GPa)
As	0,5	~ 12.0
Ba	5,1	> 14.0
Bi	3.9-8.5	2.6-7.8
Ce	1.7	> 5.0
Cs	1.5	~10.0
Ge	5.4	>11.0
P	4.6-6.1	>10.0
Sb	3.6	>0.85
Se	6.9	>13.0
Si	6.7	>12.0
Te	4.5	4.3
Y	1.5-2.7	12.0-16

Prej elementeve të njoitura, karakteristika më të mira superpërçuese ka Niobiumi. Temperatura kritike për monokristalet e niobiumit është 9.4K. Niobiumi është komponente e shumë lëgurave superpërçuese.

Tab.2.6. Karakteristikat e materialeve superpërçuese në formë të shtresave të holla

Materialet	Trashësia maksimale (m)	Temperatura (K)
Al	50 1010 m	5.8
Be	(25-1000) 10-10	9.6
Bi	300 10-10	8.0
Ga	1000 10-10	8.5
a- Hf	(125-14700) 10-10	<1.3
In	(10-15) 10-10	7.0
Pb	(100-300) 10-10	7.2
V	1100 10-10	6.02
Zn	60 10-10	1.9
Nb ₃ Sn	(0.2-2 10-10	18.35
Nb ₃ Al	(1-2) 10-10	18.5
Nb ₃ Ga	(1-2) 10-10	20.3
Nb ₃ Ge	(1-2) 10-10	23.2

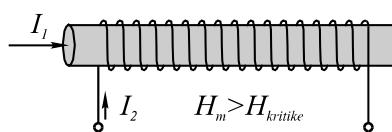
Superpërçuesit përdoren:

- për pështjelljen e elektromagneteve,
- për elemente komutuese dhe memorie,
- në teknikën e matjeve,
- për kabllo etj.

Tab. 2.7. Temperatura kritike për disa lëgura

Materiali	T _k (K)	Materiali	T _k (K)
Nb ₃ Ge	23	V ₃ Al	11,65
Nb ₃ Sn	18,1-18,5	V ₃ Ga	14,6-17
Nb ₃ Ga	20,3	V ₃ In	13,9
Nb ₃ Al	18,5-18,8	NbN	17,0
Nb ₃ Au	10,5-11,5	Nb ₃ (Sn _{1-x} B _x)	18,6
V ₃ Si	17,0-17,2	Nb _{1-x} Ti _x	11,0
Mo ₃ Tc ₂	13,5-14	Mo ₃ Re	10
NbTi ₂	9	Mo ₃ Os	11,76

Elektromagneti me mbështjellje materiali superpërçues është shumë më i vogël se ai klasik. Me rrymat e vlerave më të mëdha (humbjet në mbështjella për shkak të efektit të xhulit janë të vogla) mund të fitohen fusha magnetike të forta (~10 T).

**Fig. 2.6.** Shpjegimi skematik i kriotronit të telit.

Fenomeni i përmendor më lart, zhdukja e gjendjes së superpërçueshmërisë në fushë magnetike, ka mundësuar që superpërçuesit të përdoren për elemente komutuese - kriotrone, (Fig. 2.6.).

Në këtë rast, edhe përqesi i parë edhe i dyti janë superpërçues. Kur kriotroni gjendet në temperaturë më të ultë se temperatura kritike, atëherë të dy përqesit janë në gjendje superpërçuese. Në rast se nëpër përques janë mëkëmbur rrymat njëkahshe I_1 dhe I_2 , atëherë me fushën magnetike të rrymës I_2 mund të ndikojmë në rrymën I_1 . Kur fusha magnetike e rrymës I_2 në temperaturë të caktuar do të ketë vlerën më të madhe se ajo kritike, përqesi i parë, nëpër të cilin është mëkëmbur rryma I_1 , do të kalojë nga gjendja superpërçuese në gjendje normale kur rezistenca bëhet shumë më e madhe se në gjendjen superpërçuese. Kalimi nga një gjendje në tjetrën mund të konsiderohet si kyçje ose çkyqje në qarkun elektrik. Natyrisht, vlera e rrymës I_2 , në të cilën përquesi i parë kalon nga gjendja superpërçuese në atë normale, varet edhe nga rryma I_1 .

Përveç kriotronit të telit, ka edhe kriotrone të shtresave të holla, me shpejtësi më të mëdha të kalimit prej një gjendje në tjetrën dhe me dimisione shumë të vogla. Këto përdoren si elemente të qarqeve logjike në maqinat llogaritëse.

Siç është theksuar më parë, materialet superpërçuese përdoren edhe në teknikën e matjeve për galvanometra shumë të vegjël dhe të ndijshëm, për amplifikatorë, modulatorë, magnetometra, detektorë të rezatimit infrakuq etj.

Për bartje të energjisë në distanca më të mëdha dhe për fuqi të mëdha kablloja superpërçuese mund të bëhet konkurrente e kabllos klasike. Në (Fig. 2.7.) është paraqitur prerja e tërthortë e kabllos për rrymë njëkahshe, një pjesë e së cilës është bërë nga materiali superpërçues.

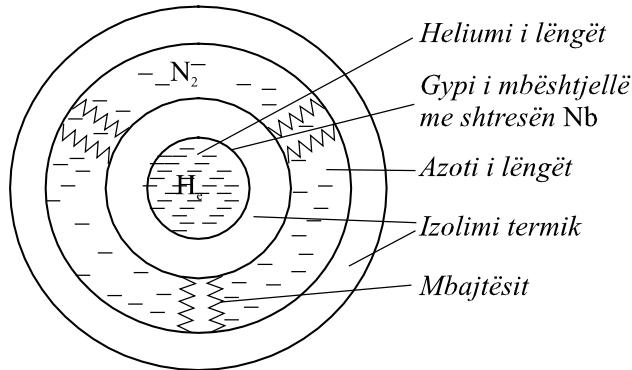


Fig. 2.7. Paraqitura skematike e prerjes së tërthortë të kabllos

Për të zvogëluar dimensionet e makinave, materialet superpërçuese përdoren edhe për magnetet e tyre. Në këtë mënyrë, gjeneratori me magnete superpërçuese, ndonse është i fuqisë tri herë më të madhe, ka dimisione dhe peshë më të vogël (Fig. 2.8.).

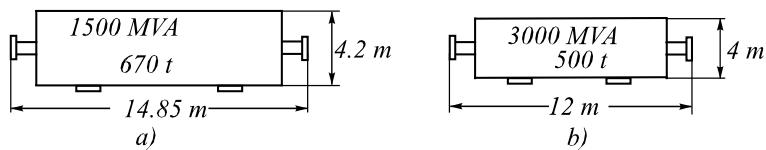


Fig. 2.8. Paraqitura skematike e gjeneratorit të rrymës alternative a) pa magnet superpërçues dhe b) me magnet superpërçues.

Nga kjo kuptohet se përdorimi i materialeve superpërçuese do të jetë edhe më i madhe në të ardhshmen.

2.6. MATERIALET ME PËRÇUESHMËRI SPECIFIKE ELEKTRIKE TË MADHE DHE LEGURAT E TYRE

2.6.1. BAKRI (*Cu*)

Bakri rrallë gjendet i pastër në natyrë. Zakonisht, ai gjendet në formë bashkëdyzimesh, xehesh, nga të cilat më të rëndësishme janë: halkopiriti (CuFeS), halkozina (Cu_2S), kupriti (Cu_2O) etj.

Zakonisht, bakri përfitohet prej xeheve të sulfidit, halkozinës dhe nalkopiritit. Procesi i përfitimit ndahet në dy faza:

1. përfitimi i bakrit të papërpunuar dhe
2. rafinimi (pastrimi) i bakrit të papërpunuar.

Pastrimi i bakrit të papërpunuar bëhet me metodën elektrolitike dhe shkrirëse. Në bazë të kësaj metode, DIN-standardet bëjnë ndarjen e bakrit të rafinuar në: bakër elektrometalurgjik dhe bakër pirometalurgjik.

Për përdorim në elektroteknikë duhet që bakri të jetë i pastër rrëth (99,5-99,9)%Cu, ose të ketë sa më pak shtesa të As, Sb, P dhe Fe ngase këto ndikojnë negativisht në vlerën e përçueshmërisë specifike elektrike (Fig. 2.13).

Bakri është metal i kuq dhe i shkëlqyer. Struktura kristalore e bakrit është kubike e centruar në sipërfaqe, ku në çdo nyje është nga një atom.

Bakri është material relativisht i fortë. Kjo mund të rritet me deformim, legurim ose farkim. Bakri lehtë përpunohet me cilindrim dhe têrheqje. Plasticiteti i madhe bënë që me përpunim të ftohtë të têrheqen fije ose fletëza të holla bakri. Varësia e ndryshimit të fortësisë të bakrit nga temperatura është paraqitur në Fig.2.9.

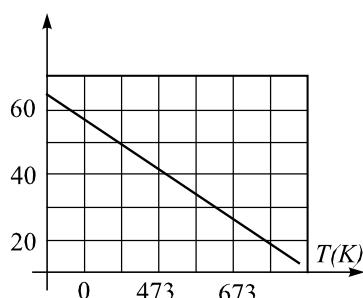


Fig.2.9. Varësia e fortësisë së Cu të butë, sipas Brinelit, nga temperatura

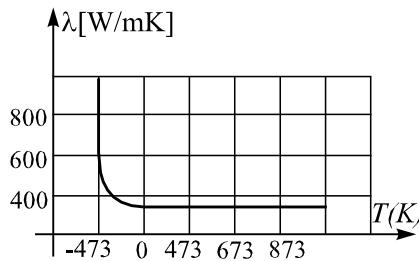


Fig.2.10. Varësia e λ se Cu nga temperatura

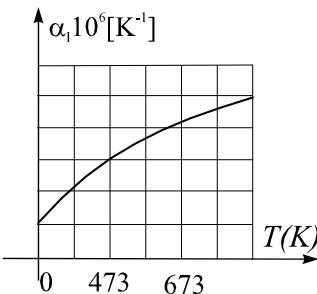


Fig.2.11. Varësia e koeficientit α të Cu nga temperatura

Bakri është përçues i mirë i nxehësisë dhe i elektricitetit. Varësia e koeficientit të përçueshmërisë termike, koeficientit të bymimit termik linear dhe rezistencës specifike elektrike në funksion të temperaturës janë paraqitur në Fig. 2.10, 2.11 dhe 2.12. ndërsa kjo varësi nga atomet shtesë është paraqitur në Fig. 2.13.

Veçoritë më të rëndësishme mekanike, elektrike, fizike, termike të bakrit në kushte të caktuara janë paraqitur në tabelën 2.8.

Klasifikimi i bakrit dhe simbolet e tyre mundësojnë dallimin dhe përcaktojnë përdorimin e bakrit përkatës për qëllime të caktuara në elektroteknikë.

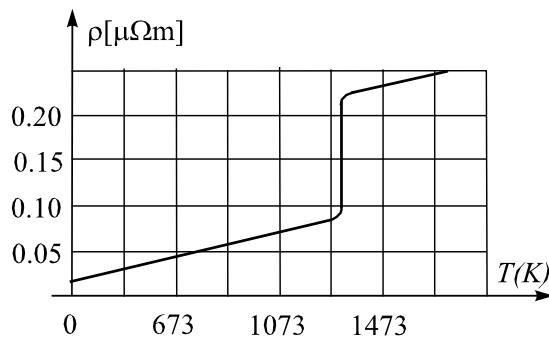


Fig.2.12. Varësia e rezistencës spec.elek. të Cu nga temperatura

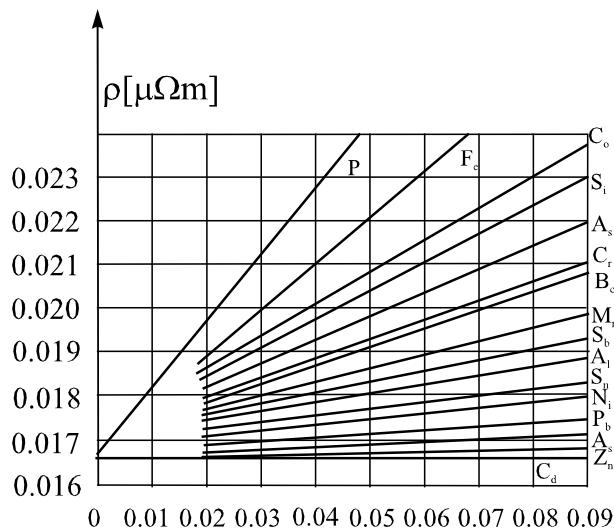


Fig.2.13. Varësia e rez.spec.elek. të Cu nga sasia e shthesave

Nga tabela 2.9. shihet se për elektroteknikë prodhohen lloje të ndryshme të bakrit me këto simbole: EK-Cu, EB1-Cu, EB2-Cu, ET1-Cu, ET2-Cu dhe ED-Cu. Në bazë të DIN standarde kërkohet që bakri të ketë rezistencë specifike elektrike $0,01724 \text{ m}\Omega\text{m}$, në temperaturë të dhomës 293 K (20°C). Këtë kërkesë mund ta përm bushë vetëm bakri EK-Cu.

Edhe pse bakri është rezistent ndaj korozionit, ndaj acideve dhe amonijakut nuk është i qëndrueshëm.

Me metodën elektrorezistuese për shkak të përqueshmërisë së madhe të nxehësisë, bakri me vështërsi saldohet. Rezistent është bakri në ambiente të thata, mirëpo kur ajri është i lagësht, në sipërfaqen e tij formohet një shtresë e hollë ngjyrë të gjelbër të zbehtë, e cila e mbron atë nga korozioni i mëtejshëm i brendshëm.

Bakri piket mirë me të gjithë ngjitësit që kanë pikëshkrirje më të vogël se bakri. Më së shpeshti përdoren këta ngjitës: Ag, CuZn, CuP dhe PbSn. Përgatitja është e lehtë, sepse nuk është e nevojshme të gërvishet sipërfaqja e cila duhet të ngjitet, por vetëm pastrohet dhe fshihet mirë sipërfaqja e bakrit.

Përqueshmëria e madhe termike dhe elektrike, farkimi, fortësia relativisht e madhe në këputje dhe rezistanca ndaj korozionit të bëjnë bakrin shumë të përdorshëm në teknikë.

Tab. 2.8. Disa veçori mekanike, termike dhe elektrike të bakrit

Parametrat	Vlerat numerike
Fortësia sipas Brinelit në 293 K	40
Koeficienti i përçueshmërisë termike α , $\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$ 293 K	385-406
Koeficienti i bymimit linear termik, $a_1 - 10^6$ (793-373) K	16.4
Temperatura e shkrirjes (K)	1356
Temperatura e avullimit (K)	2573
Përçueshmëria specifike e Cu të standardizuar, s , MS m^{-1} (293) K	58
Rezistenca specifike elek. e Cu të standardizuar, r , mWm (293) K	0.017241
Koeficienti termik i rezistencës (273-773) K, a , k^{-1}	0.00393
Fem. termike në platinë, mV (temper. e nynit të ftohtë, 273 K)	0.14
Veçoritë magnetike të bakrit	diamagnetik

Bakri në elektroteknikë përdoret për mbarimin e përçuesve, kabllove, zbarrave, pllakave, shiritave, llamarinave, mbështjellave të transformatorëve dhe makinave rrotulluese, pjesë përçuese të aparateve, instrumenteve etj.

Në teknikën elektrovakume prej bakrit punohen anodat e gypave elektronikë, mbajtësit e antikatodave në gypat e rëntgenit etj.

Edhe përkundër ndryshimeve të konsiderueshme, në koeficientin termik të bymimit linear të bakrit në krahasim me atë të qelqit, bakri përdoret edhe për lidhje të ndryshme me qelqin. Në tab. 2.9 janë dhënë vlerat për α për Cu dhe Al sipas standardit IACS (International American Copper Standard).

Bakri përdoret edhe si komponentë e rëndësishme për përfitimin e legurave të ndryshme. Më të rëndësishme janë: bronza dhe mesingu.

Disa lloje të prodhimeve prej bakrit që përdoren në elektroteknikë janë:

1. Përçuesit energjetikë me izolim prej masave plastike dhe elastomere
2. Kabllot energetike dhe sinjalizuese për tensione 1-35 kV me izolim dhe mbështjellsave prej masave plastike dhe elastomere
3. Kabllot të cilat me vështirësi lakohen me izolim dhe mbështjellës prej elastomerit
4. Kabllot e telekomunikacionit me izolim prej letrës dhe polietilenit
5. Dinamoteli
6. Telat me llak trashësie 0.02-3 mm
7. Prodhimet prej bakrit dhe legurave të tij (të térhequr dhe të shtypur në formë shkopinjsh, gypash, zbarash etj).

Tab.2.9. Të dhënat numerike për a pér Cu dhe Al, siapas standardeve IACS

Përçueshmëria siapas IACS, %	Temperatura në shkallë °C						Temperatura – T pér zero absolute pér re zistencë, shkallë °C
	0	15	20	25	30	50	
	Koeficienti termik i rezistencës, a_1 pér shkallë °C						
Alumini							
55	0.00392	0.00370	0.00363	0.00357	0.00351	0.00328	255.2
56	0.00400	0.00377	0.00370	0.00363	0.00357	0.00333	250.3
57	0.00407	0.00384	0.00377	0.00370	0.00363	0.00338	245.6
58	0.00415	0.00391	0.00383	0.00376	0.00369	0.00344	241.0
59	0.00423	0.00398	0.00390	0.00382	0.00375	0.00349	236.6
60	0.00431	0.00404	0.00396	0.00389	0.00381	0.00354	232.3
60.6	0.00435	0.00409	0.00400	0.00393	0.00385	0.00357	229.8
60.97	0.00438	0.00411	0.00403	0.00395	0.00387	0.00359	228.3
61.0	0.00438	0.00411	0.00403	0.00395	0.00387	0.00360	228.1
61.2	0.00440	0.00412	0.00404	0.00396	0.00388	0.00360	227.3
61.3	0.00441	0.00413	0.00405	0.00397	0.00389	0.00361	226.9
61.4	0.00441	0.00414	0.00406	0.00398	0.00390	0.00362	226.5
61.5	0.00442	0.00415	0.00406	0.00398	0.00390	0.00362	226.1
61.8	0.00445	0.00417	0.00408	0.00400	0.00392	0.00364	224.9
62.0	0.00446	0.00418	0.00410	0.00401	0.00393	0.00365	224.1
63	0.00454	0.00425	0.00416	0.00408	0.00400	0.00370	220.3
64	0.00462	0.00432	0.00423	0.00414	0.00406	0.00375	216.5
65	0.00470	0.00439	0.00429	0.00420	0.00412	0.00380	212.9
Bakri							
95	0.00403	0.00380	0.00373	0.00367	0.00360	0.00366	247.8
96	0.00408	0.00385	0.00377	0.00370	0.00364	0.00339	245.1
97	0.00413	0.00389	0.00381	0.00374	0.00367	0.00342	242.3
97.5	0.00415	0.00391	0.00383	0.00376	0.00369	0.00344	241.0
98	0.00417	0.00393	0.00385	0.00378	0.00371	0.00345	239.6
99	0.00422	0.00397	0.00389	0.00382	0.00374	0.00348	237.0
100	0.00427	0.00401	0.00393	0.00385	0.00378	0.00352	234.5
101	0.00431	0.00405	0.00397	0.00389	0.00382	0.00355	231.9
102	0.00436	0.00409	0.00401	0.00393	0.00385	0.00358	229.5

Efekti i skinit

Kur rrjedhë rryma alternative nëpër përcues, rezistenca e përcuesit është më e madhe se sa rezistenca kur nëpër të njejtin perçues rrjedhë rrymë e vazhduar. Kjo rritje e rezistencës është si pasojë e shpërndarjes jo të njëtrajtshme të rrymës elektrike nëpër perçues, me ç'rast fijet e jashtme përçojnë më shumë rrymë se sa fijet që gjenden afër qendres së përcjellsve me shume fije. Ky efekt quhet Efekti i skinit.

Te përcuesit me dimensione të vogla, ky efekt është i pakonsiderushem, por te pëcuesit me dimensione të mëdha, efektin duhet marrë parasysh, Kujdes të veçantë duhet kushtuar kur frekuanca e sistemit është 60 Hz. Në Tab. 2.10., janë dhënë informata për një efekt të tillë. Në Fig. 2.13.1 është treguar forma e realizimit të përcuesve prej aluminit

Tab. 2.10. Efekti i Skinit

x	K	K'	x	K	K'	x	K	K'	x	K	K'
0.0	1.00000	1.00000	2.9	1.28644	0.86012	6.6	2.60313	0.42389	17.0	6.26817	0.16614
0.1	1.00000	1.00000	3.0	1.31809	0.84517	6.8	2.67312	0.41171	18.0	6.62129	0.15694
0.2	1.00001	1.00000	3.1	1.35102	0.82975	7.0	2.74319	0.40021	19.0	6.97446	0.14870
0.3	1.00004	0.99998	3.2	1.38504	0.81397	7.2	2.81334	0.38933	20.0	7.32767	0.14128
0.4	1.00013	0.99993	3.3	1.41999	0.79794	7.4	2.88355	0.37902	21.0	7.68091	0.13456
0.5	1.00032	0.99984	3.4	1.45570	0.78175	7.6	2.95380	0.36923	22.0	8.03418	0.12846
0.6	1.00067	0.99966	3.5	1.49202	0.76550	7.8	3.02411	0.35992	23.0	8.38748	0.12288
0.7	1.00124	0.99937	3.6	1.52879	0.74929	8.0	3.09445	0.35107	24.0	8.74079	0.11777
0.8	1.00212	0.99894	3.7	1.56587	0.73320	8.2	3.16480	0.34263	25.0	9.09412	0.11307
0.9	1.00314	0.99830	3.8	1.60314	0.71729	8.4	3.23518	0.33460	26.0	9.44748	0.10872
1.0	1.00519	0.99741	3.9	1.64051	0.70165	8.6	3.30557	0.32692	28.0	10.15422	0.10096
1.1	1.00758	0.99621	4.0	1.67787	0.68632	8.8	3.37597	0.31958	30.0	10.86101	0.09424
1.2	1.01071	0.99465	4.1	1.71516	0.67135	9.0	3.44638	0.31257	32.0	11.56785	0.08835
1.3	1.01470	0.99266	4.2	1.75233	0.65677	9.2	3.51680	0.30585	34.0	12.27471	0.08316
1.4	1.01969	0.99017	4.3	1.78933	0.64262	9.4	3.58723	0.29941	36.0	12.98160	0.07854
1.5	1.02582	0.98711	4.4	1.82614	0.62890	9.6	3.65766	0.29324	38.0	13.68852	0.07441
1.6	1.03323	0.98342	4.5	1.86275	0.61563	9.8	3.72812	0.28731	40.0	14.39545	0.07069
1.7	1.04205	0.97904	4.6	1.89914	0.60281	10.0	3.79857	0.28162	42.0	15.10240	0.06733
1.8	1.05240	0.97390	4.7	1.93533	0.59044	10.5	3.97477	0.26832	44.0	15.80936	0.06427
1.9	1.06440	0.96795	4.8	1.97131	0.57852	11.0	4.15100	0.25622	46.0	16.51634	0.06148
2.0	1.07816	0.96113	4.9	2.00710	0.56703	11.5	4.32727	0.24516	48.0	17.22333	0.05892
2.1	1.09375	0.95343	5.0	2.04272	0.55597	12.0	4.50358	0.23501	50.0	17.93032	0.05656
2.2	1.11126	0.94482	5.2	2.11353	0.53506	12.5	4.67993	0.22567	60.0	21.46541	0.04713
2.3	1.13069	0.93527	5.4	2.18389	0.51566	13.0	4.85631	0.21703	70.0	25.00063	0.04040
2.4	1.15207	0.92482	5.6	2.25393	0.49764	13.5	5.03272	0.20903	80.0	28.53593	0.03535
2.5	1.17538	0.91347	5.8	2.32380	0.48086	14.0	5.20915	0.20160	90.0	32.07127	0.03142
2.6	1.20056	0.90126	6.0	2.39359	0.46521	14.5	5.38560	0.19468	100.0	35.60666	0.02828
2.7	1.22753	0.88825	6.2	2.46338	0.45056	15.0	5.56208	0.18822	¥	¥	0
2.8	1.25620	0.87451	6.4	2.53321	0.43682	16.0	5.91509	0.17649			

ku:

$$x = 2\rho a \sqrt{\frac{2f}{r}}$$

r - rezistenca specifike elektrike e bakrit

f - frekuanca e sistemit

a - rrezja e përcuesit të bakrit

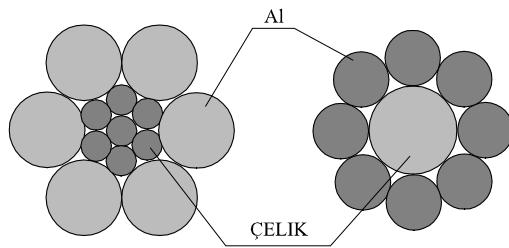


Fig. 2.13.1. Realizimi i përçuesve prej Al në formë tube

2.6.2. ALUMINI (Al)

Për shkak të aktivitetit të madh kimik alumini nuk gjendet i lirë në natyrë, por në formë xehesh të boksitit, nefelinit, kaolinës etj. Alumini gjendet në formë mineralesh të feldspatit dhe liskunit, të cilat përbëjnë pjesën më të madhe të bloqueve të silikateve. Alumini në natyrë gjendet edhe në formë të oksideve Al_2O_3 - si mineral korund, me varietetet e tij të ngjyrosura: rubini i kuq dhe safiri i kaltër.

Në përgjithësi, alumini përfitohet prej xehes së boksitit, në të cilën ka rreth 50% alumin. Së pari prej boksitit përfitohet oksidi i aluminit (argjila), ndërsa në fazën e dytë me elektrolizë përfitohet alumini i pastër.

Alumini është metal me ngjyrë argjendi në të bardhë.

Struktura kristalore e aluminit është e ngjashme me të bakrit, rrjeti kubik i centruar në sipërfaqe, ku në çdo nyje është nga një atom.

Alumini është i butë, i têrheqshëm. Në gjendje të ftohtë cilindrohet dhe farkohet mirë. Mund të têrhiqet në tela shumë të hollë dhe llamarina të dimensionesh të vogla - folie. Varësia e koeficientit termik të bymimit linear të aluminit nga temperatura është dhënë në Fig. 2.14.

Alumini bën pjesë në metale të lehta që kanë dendësinë më të vogël se 5Mg/m^3 .

Alumini, si edhe bakri, janë përçues të mirë të nxehësisë dhe të elektricitetit. Varësia e kapacitetit specifik termik dhe e rezistencës specifike elektrike të aluminit nga temperaturat e ndryshme është dhënë në Fig. 2.15. dhe 2.16.

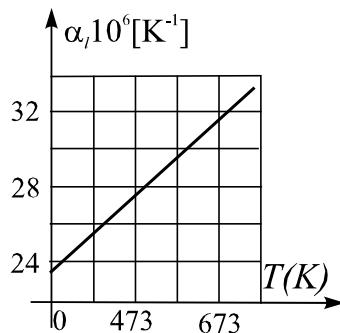


Fig. 2.14. Varësia e koeficientit termik nga temperatura

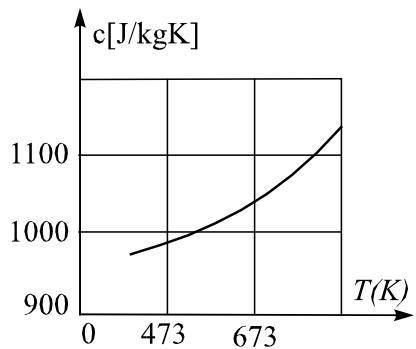


Fig. 2.15. Varësia e kapacitetit specifik termik nga temperature

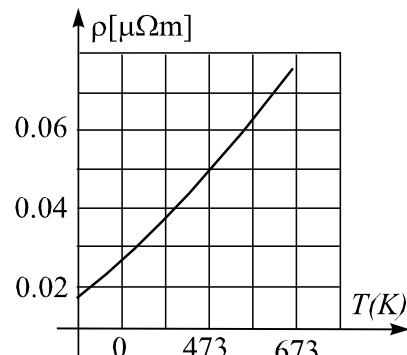


Fig. 2.16. Varësia e rezistencës specifike nga temperatura

Në tabelën 2.11. janë paraqitur disa veçori mekanike, termike dhe elektrike të aluminit.

Klasifikimi i aluminit me simbole dhe përbërjen themelore kimike, është dhënë në tabelën 2.12.

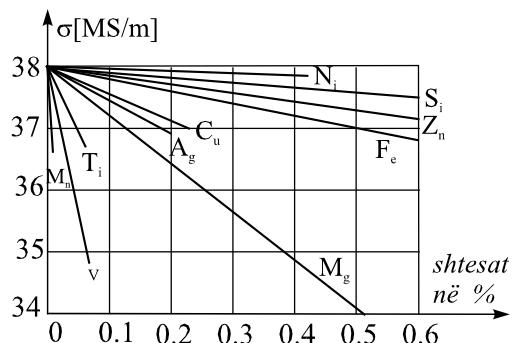
Për nevoja në elektroteknikë, për punimin e përcuesve përdoret aluminji, i cili sipas DIN-it ka simbolin E-Al 99.5. Përbërja kimike e këtij aluminji është paraqitur në tabelën e mëparshme, respektivisht në tabelën 2.12.

Në bazë të rekomandimeve IEC, për përfitimin e përcuesve prej aluminit kërkohet, varësish nga lloji i përcuesve, të ketë s më të vogël se $35,38 \text{ MSm}^{-1}$. Kjo vlerë i përgjigjet rezistencës specifike elektrike më së shumti prej $0.028264 \text{ m}\Omega\text{m}$, (293 K) dhe koeficienti termik i rezistencës specifike elektrike $a=0.00403 \text{ K}^{-1}$ ($0-150^\circ\text{C}$).

Nën ndikimin e ajrit, aluminji shumë shpejt mbrohet nga korozioni, duke formuar shtresën mbrojtëse të oksidit - Al_2O_3 . Aluminji është shumë rezistent ndaj thartinave. Në ujë të njelmët aluminji shkatërrohet fare shpejt.

Tab. 2.11. Disa veçori mekanike, termike dhe elektrike të aluminit

Parametrat	Vlerat numerike
Fortësia sipas Brinelit në 20°C (293K)	25
Koef. Termik i përqueshmërisë, α , $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, gjatë tem. 20°C (293K)	209
Koef. Termik i bymimit linear, $\alpha \times 10^6$, K^{-1} (20-100)°C (293-272K)	24
Temperatura e shkrirjes (K)	933
Temperatura e avullimit (K)	2573-2773
Përqueshmëria specifike elektrike s , MS m^{-1} (20°C), (293K)	35.4
Rezistencë specifike elektrike r , mWm (20°C), (293 K)	0.028
Koef. Termik i rezistencës specifike α , K^{-1} (0-150°C), (273-423)K	0.004
Temperatura e kalimit në materiale superpërquese T_k , (K)	1.196
Veçoritë magnetike	Paramagnetike

**Fig.2.17.** Varësia e përqueshmërisë specifike elektrike të aluminit në funksion të sasive të shtesave.**Tab. 2.12.** Përbërja kimike e aluminit

Lloji dhe simboli	Përbërja ku % Al më së paku	Shtesat e lejuara më së shumti %							Shtesat tjera maksimale
		Fe	Si	Cu	Zn	Ti	V	Cr	
A199.8	99.8	0.15	0.15	0.01	0.06	-	-	-	0.01
A199.7	99.7	0.25	0.20	0.01	0.06	-	-	-	0.03
A199.5	99.5	0.40	0.30	0.02	0.07	-	-	-	0.03
A199.0	99.0	0.80	0.50	0.03	0.08	-	-	-	0.04
E-A199.5	99.5	0.30	0.10	0.01	0.01	0.003	0.003	0.0005-0.005	

Saldimi dhe pikja e aluminit bëhet vështirë për shkak të oksidit të aluminit. Saldimi i aluminit bëhet me metoda speciale elektrike, me gaze etj. Gjatë saldimit, që të shkrinet shtresa okside e aluminit (temperatura e shkrirjes së Al_2O_3 është 2323 K), duhet të përdoren shkrirës specialë, të cilët shtresën okside që shkrinet lehtë e bëjnë masë. Si material shpeshtë, i cili i shtohet aluminit gjatë saldimit, zakonisht përdoret alumini i pastër ose silumini (legura e aluminit me rreth 4% Si).

Për pikjen e aluminit dhe të legurave të tij përdoren aso metoda që në momentin e ngjitjes shkatërrrohet shtresa okside Al_2O_3 . Pikërisht për këtë, ekzistojnë këto mënyra të pikjes së aluminit:

1. Pikja e aluminit duke e mënjanuar shtresën okside mekanikisht.
2. Pikja e aluminit duke e mënjanuar shtresën okside me metodën e ultrazërit.
3. Pikja duke e mënjanuar shtresën okside me procese kimike.

Për pikjen e aluminit mund të përdoren pikës që shkrinen lehtë, si: Sn, Zn, Cd etj. si dhe ngjitetë cilët vështirë shkrinen të bazuar në alumin.

Dendësia e vogël e metalit, përqueshmëria e madhe elektrike, soliditeti i caktuar mekanik dhe rezistencë e mirë ndaj korozionit, mundësojnë përdorim të gjërë të aluminit në teknikë.

Për sa i përket përdorimit të metaleve në elektroteknikë, alumini zë vendin e dytë, menjëherë pas bakrit.

Alumini përdoret për punimin e përcuesve, kabllove, pjesëve të holla përcuese etj. për punimin e kondensatorëve elektrolitikë. Alumini ka gjetur vend të konsiderueshëm edhe në teknikën e elektrovakuumit. Alumini përdoret me shumicë si komponente e shumë legurave te një numër i madhe metalesh.

Me zhvillimin e mikroelektronikës, alumini ka gjetur përdorim të madh në punimin e elektrodave në qarqe integruese.

2.6.3. ARGJENDI (Ag)

Në natyrë argjendi gjendet në formë elementare dhe si bashkëdyzim me elementet e tjera. Xeheja më e rëndësishme e argjendit është argjentiti Ag_2S . Sasia të vogla të argjendit ka edhe në xehet e plumbit, zinkut dhe bakrit.

Argjendi prej xehes përfitohet me metodën e cianidit. Gjatë përpunimit të xeheve të plumbit, zinkut dhe të bakrit, argjendi ndahet së bashku me këto metale. Argjendi ndahet nga bakri me metodën elektrolitike, ndërsa prej plumbit me të ashtuquajturën metodë të Parkersovit.

Argjendi ka ngjyrë të shkëlqyer dhe të bardhë.

Struktura kristalore e argjendit është rrjet kubik i centruar në sipërfaqe, ku çdo nyje i përgjigjet nga një atom.

Argjendi i pastër është shumë i butë. Me shtimin e bakrit në argjend, atij i rritet soliditeti mekanik. Argjendi është metal i cili zgjatet lehtë në tela ose në fletëza shumë të holla - folie.

Në kahasim me të gjitha metalet, argjendi është përçues më i mirë i elektricitetit. Varësia e rezistencës specifike elektrike r nga temperatura T është paraqitur në Fig. 2.18., ndërsa varësia e rezistencës specifike elektrike r prej sasisë së shtesave në përbërjen e argjendit është dhënë në Fig. 2.19.

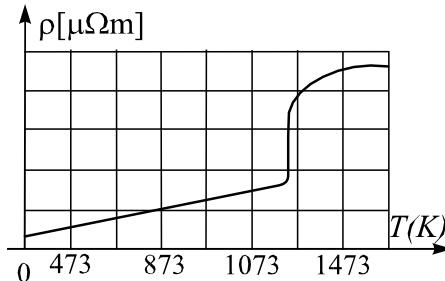


Fig. 2.18. Varësia e rezistencës specifike nga temperatura

Argjendi është stabil në ambient me ajër. Për këtë shkak argjendi numrohet në grupin e materialeve fisnike. Gjithashtu, argjendi është rezistent ndaj ndikimit të thartinave të ndryshme në temperaturë të dhomës. Nën ndikimin e sulfidit të

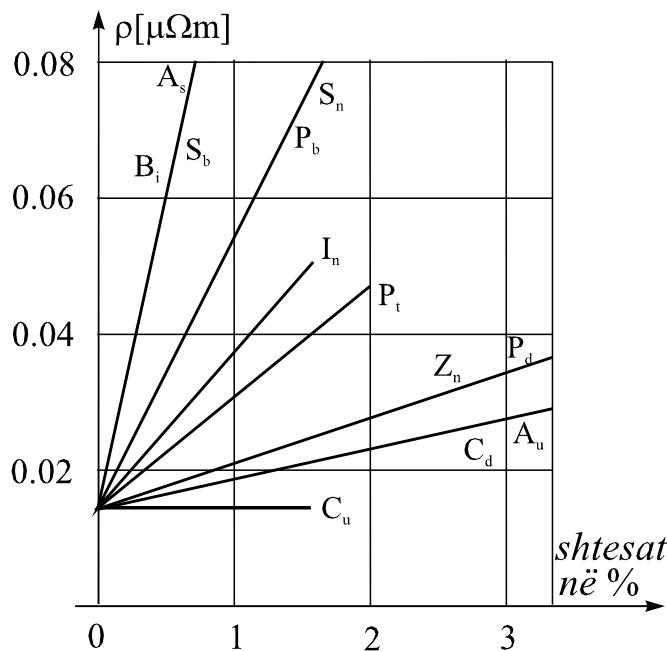


Fig. 2.19. Varësia e rezistencës specifike nga sasia e shtesave në argjend.

hidrogenit, një sasi e të cilit shpeshherë gjendet në ajër, argjendi mbulohet me shtresë të hollë të sulfidit të argjendit (Ag_2S).

Saldimi dhe pikja e argjendit nuk paraqesin proces të komplikuar. Me rëndësi është të zgjedhet ngjyra e pikësit që të mos prishet pamja e lëndës.

Ngjitjen e argjendit mund ta bëjmë me ndihmën e flakës së gazit, me metodën elektrorezistuese ose ngjitje mekanike. Si material ngjitet përdoret thupra e argjendit me sasi të pa konsiderueshme të Zn dhe Cd.

Tab. 2.13. Disa veçori mekanike, elektrike dhe termike të argjendit për kushte të caktuara

Parametrat	Vlerat numerike
Fortësia sipas Brinelit në 20°C (293K)	25
Koef. Ter. i përq. λ , $\text{Wm}^{-1}, \text{K}^{-1}$, gjatë temperaturës 20°C (293K)	453
Koef. Ter. i bymimit linear $a_1 \times 10^6, \text{K}^{-1}$ ($20-100$) $^\circ\text{C}$, (293-373) K	18.6
Temperatura e shkrirjes (K), ($^\circ\text{C}$)	1230 (961)
Temperatura e avullimit (K), ($^\circ\text{C}$)	2483 (2210)
Përqueshmëria specifike elektrike s , MS m^{-1} (20°C), (293K)	$70 \times 10^6 \text{S/m}$.
Rezistenca specifike elektrike, r , $\text{m}\Omega\text{m}$ (20°C), (293K)	0.0150
Koeficienti termik i rezistencës specifike elektrike, a , K^{-1}	0.0041
Fem-termike në krahasim me platinin gjatë temperaturës 100°C (lidhje të ftohtë 0°C), mV, (373-273) K	0.7400
Veçoritë magnetike	diamagnetik

Argjendi, me shumicë përdoret për ndërtimin e fotokatodave të komplikuara dhe shumë lloje të mbështjellësve përques të vendosur me metoda të ndryshme. Argjendi përdoret edhe për përfitimin e legurave të ndryshme me veçori të mira mekanike dhe elektrike. Gjithashtu, argjendi përdoret si komponentë e legurave përipike. Përveç kësaj, argjendi përdoret si komponentë e fotoemulzionaleve të ndijshme.

Nga argjendi përpunohen pjesët përquese në teknikën e elektrovakuumit (daljet, elektrodat). Argjendi mund të përdoret edhe si material për kontakte elektrike dhe zë vend të rëndësishëm në ndërtimin e akumulatorëve prej argjendit të zinkut.

2.6.4. ARI (Au)

Në natyrë ari më së shumti gjendet në gjendje elementare në formë kokërrzash ose fletëzash në rërën e kuarcit dhe në shkëmbinjtë e kuarcit. Pos kësaj, në sasi më të vogla ari gjendet edhe në xehet e sulfidit të bakrit, plumbit dhe hekurit, prej të cilave perfitohet ari.

Ari është material me ngjyrë të verdhë dhe shkëlqen.

Struktura kristalore e arit paraqet një rrjet kubik të caktuar në sipërfaqe, ku secilës nyje i përgjigjet nga një atom.

Ari është material shumë i butë. Lehtë farkohet dhe zgjatet në fletëza trashësie deri në të dhjetëmijtën pjesë të milimetrit.

Ari është përcues i mirë i elektricitetit dhe i nxehësisë. Veçoritë e arit janë dhënë në tabelën 2.14.

Ari është material shumë i qëndrueshëm ndaj korozionit. Gjatë nxehjes së arit, nën ndikimin edhe të ajrit, ai nuk ndryshon. Pikërisht për këtë, dhe veçorive të tjera, këto materiale, pra edhe ari, quhen metale fisnike. Ari është rezistent ndaj ndikimit të të gjitha thartinave, përvèç “ujit mbretëror” (përzierjes së thartinës së azotit me thartinën klorhidrike në përpjesën 1:3).

Pikja e arit, si edhe e argjendit, nuk paraqesin ndonjë vështirësi. Ari dhe legurat e tij mund të pikën në mënyrë elektrorezistuese me anë të gazit ose me mënyrën e induksionit. Gjatë kësaj përdoren pikësat prej CuP, Au, Sn, Cu dhe Ag si dhe kloruri i arit, ndërsa si dezoksidues përdoret boraksi.

Ari në elektroteknikë përdoret për qëllime të llojullojshme, si për shembull për kontakte elektrike, pjesë përcuese, shtresave mbrojtëse etj. Shtresat e holla prej arit kanë koeficient të vogël apsorpcioni të rrezatimit dhe përcueshmëri të lartë. Për këtë arsyë ari përdoret si filter optik neutral, për elektroda të fotorezistuesve dhe aparate tjera optoelektronike.

Në qarqet mikroelektronike për lidhjen e disa pjesëve në to përdoren telat e artë, si material i mirë ngjitetës.

Tab.2.14. Disa veçori elektrike, mekanike dhe termike te arit në kushte të caktuara

Parametrat	Vlerat numerike
Fortësia sipas Brinelit në 20°C, 293K	18
Koef. termik i përq., α , $\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$, gjatë temperaturës 20°C	312
Koef. ter. i bymimit linear $\alpha \times 10^6$, K^{-1} (20-100)°C, (293-373) K	14,0
Temperatura e shkrirjes në (K), (°C)	1346 (1063)
Temperatura e avullimit në (K), (°C)	3239 (2966)
Rezistanca specifike elektrike e arit, r , $\text{m}\Omega\text{m}$ (20)°C, 293K	0.02250
Koef. termik i rezist. specifike, α , K^{-1} (0-150)°C, (273-423) K	0.00395
Fem-termike në krahasim me platinin gjatë temperaturës 100°C (në lidhje të ftohtë 0°C), mV (27-373)K	0.740
Veçoritë magnetike të arit	diamagnetike

2.6.5. LEGURAT E BAKRIT

Sipas standardeve DIN, IEC, me legura bakri konsiderojmë ato materiale në të cilat mbizotron sasia e bakrit. Në raste të veçanta, në legurat e bakrit numrohen edhe ato legura për ngjitje (pikje dhe saldim), edhe pse në përbërjen e tyre bakri është në sasi të konsiderueshme.

Legurat e bakrit klasifikohen sipas: 1. mënyrës së përpunimit, 2. përdorimit, 3. numrit të përbërësve kryesorë, 4. natyrës së elementeve që janë përbërës kryesorë, etj.

Në bazë të natyrës së elementeve kryesore në legura ekzistojnë:

- legurat pa zink. Këto legura përmbajnë në vete rreth 60% Cu dhe elemente tjera, si p.sh. Al, Sn, Pb, Ni, Mg, Si etj. Këto legura me një emër quhen **bronza**.
- legurat me zink. Këto legura, përveç bakrit dhe zinkut, përmbajnë edhe elemente të tjera, si: Pb, Sn, Ni etj. Emri i përbashkët i këtyre legurave është **mesingu**.

Bronza

Legura e bakrit, e cila nuk ka zink, në përbërjen e vet, bronza, mund të jetë dyfishe, trefishe dhe e komplikuar. Emri i kësaj legure varet nga përbërësi kryesor në te, si p.sh.

- legura e bakrit me alumin (bronza e aluminit)
- legurat e bakrit me kallajin (bronza e kallajt)
- legurat e bakrit me nikel (bronza e nikelit),
- legura e bakrit me silicin (bronza e silicit),
- legura e bakrit me plumbin dhe kallajin (bronza, plumbi dhe bronza e plumbit dhe e kallajit).

Karakteristikë e përgjithshme e të gjitha bronzave është rritja e soliditetit mekanik dhe vlera më e madhe e rezistencës specifike elektrike në krahasim me bakrin. Ndikimi i shtesave në soliditetin në zgjatje është paraqitur në Fig. 2.20, nga shihet se duke shtuar fare pak kadmiun në bakër, përfitohet legura me soliditet të madh mekanik. Duhet theksuar se rezistencia specifike elektrike r e këtyre legurave nuk dallohet shumë nga vlera e rezistencës specifike elektrike r_{cu} të bakrit. Pikërisht për këtë, bronza e kadmiunit ka përdorim më të madh në elektroteknikë.

Përveç bronzës së kadmiunit dhe bronza e bariliumit, ka soliditet të theksuar mekanik dhe se edhe ajo shpeshherë përdoret në elektroteknikë. Disa karakteristika të bronës, që përdoren për nevoja elektrike, janë dhënë në tabelën 2.15. Këto

bronze përdoren për kontakte, pllaka të kolektorëve, kontakte rrëshqitëse, shtigje përquese etj

Tab. 2.15. Disa veçori të bronzës

Legura	Gjendja	Rezistenca spec. elek. në krahasim me r të bakrit	Soliditeti mekanik në tërheqje MPa
Legura e kadmiumit (0,9% Cd)	e zharritur e presuar në të ftohtë	95 83-90	gjer 310 gjer 730
Bronza me (0,9% Cd 0,6% Sn)	e zharritur e presuar në të ftohtë	55-60 50-55	290 gjer 730
Bronza (2,5% Al, 2% Sn)	e zharritur e presuar në të ftohtë	15-18 15-18	370 gjer 970
Bronza e fosforit (7%Sn; 1%P)	e zharritur e presuar në të ftohtë	10-15 10-15	400 1050
Bronza e beriliumit (2,25% Be)	e zharritur	17	490-600

Tab.2.16. Disa veçori fizike dhe elektrike të disa mesingjeve në 20 °C

Lloji i legurave	Elementet bazike			Dendësia	Temperat. e shkrirjes	Koef. Termik i rez. spec.	Koef. i përq. termike	Rezis. spec. elek. r ($\mu\Omega m$)
	Cu	Sn	Pb	Mg/m ³	°C	$\alpha \times 10^4 (25-100°C) K^{-1}$	$Wm^{-1} K^{-1}$	
CuZn 10	89-91	-	-	-	8.8	1050	-	155
CuZn 30	68.5-71.5	-	-	-	8.85	938	10	109
CuZn38Pb 1	59-63	-	0.5-1.5	-	8.4	890	1.7	105
CuZn38Sn 1	95-63	0.7-1.4		-	8.4	906	24	99

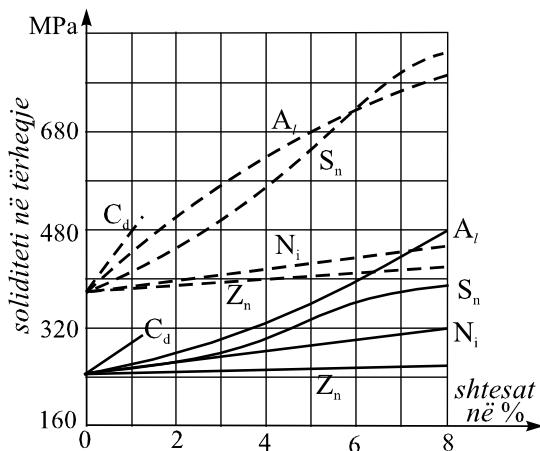


Fig. 2.20. Ndikimi i shtesave në soliditetin mekanik te legurat e bakrit të cilindruar në të ftohtë (---) dhe të zharritur (-).

Mesingu

Mesingu është legurë dykomponentesh e bakrit, së paku 50% Cu dhe zink, jo më tepër se 44% Zn. Përveç kësaj, ka edhe legura trikomponentesh të bakrit, si p.sh.

- legura e bakrit (më së shumti 50% Cu) me zink (jo më tepër se 44% Zn dhe Pb deri në 4%);
- legura speciale e bakrit me zink që, përveç Zn, përmban edhe Ni, Mg, Fe, Al, Si dhe Sn së bashku rrith 7.5%;
- legurat e bakrit (më shumë se 80% Cu) me kallaj dhe zink;
- legurat e bakrit dhe nikelit (më së paku 10%) dhe zink;
- legurat e bakrit me zink karakterizohen me rritje të soliditetit mekanik dhe me rezistencë të madhe të rezistencës elektrike specifike r në krahasim me bakrin.

Në tabelën 2.16. janë paraqitur përbërjet kimike, veçoritë fizike, termike dhe elektrike të disa legurave të bakrit me zink.

Mesingu përdoret për përfitimin e telave dhe sustave që përçojnë rrymën elektrike, lidhëseve te kabllot, pjesëve instaluese në elektroteknikë dhe pjesëve tjera të ngjashme.

2.6.6. LEGURAT E ALUMINIT

Standardi DIN bën klasifikimin dhe emërtimin e legurave të aluminit. Me legura të aluminit do të kuptojmë ato materiale në të cilat në përbërje mbizotëron alumini. Në raste të jashtëzakonshme, në legura të aluminit numrohen edhe legurat që përdoren për ngjitjen e aluminit, edhe pse në këto nuk mbizotëron përbërja e aluminit.

Si legurat e bakrit, edhe legurat e aluminit ndahen në bazë të: 1. mënyrës së përfitimit, 2. mënyrës së përdorimit, 3. numrit të përbërësve kryesorë dhe 4. natyrës së elementeve përbërëse kryesore.

Në bazë të natyrës së elementeve shtesë, ekzistojnë legura të aluminit të cilat po i paraqesim në mënyrë tabelare (Tabela 2.17).

Tab. 2.17. Legurat e aluminit

Simboli i legurave	Emërtimi i legurave
Al-Mn	legurat me mangan
Al-Mg	legurat me magnezit
Al-Si	legurat me silic
Al-Si-Mn	legurat me mangan dhe silic
Al-Cu	legurat me bakër
Al-Cu-Mg	legurat me bakër dhe magnez
Al-Cu-Si	legurat me bakër dhe silic
Al-Zn-Mg	legurat me zink dhe silic

Në elektroteknikë, legura e aluminit që përdoret për punimin e përquesve quhet me emër komercial aldre. Veçoritë kimike dhe disa veçori elektrike e fizike në temperaturë të dhomës (20°C) janë dhënë në tabelën 2.18.

Tab. 2.18. Disa veçori fizike, elektrike te aldreit.

Përbërja kimike %	Mg(0.3-0.5), Si(0.4-0.7), Fe(0.2-0.3) dhe Al
Dendësia (Mg/m^3)	2.7
Koeficienti termik i bymimit linear $a_1 \times 10^6$, K^{-1} ($20-100^{\circ}\text{C}$), ($293-373$) K	23
Përqueshmëria specifike elektrike s , Ms/m	31
Rezistenca specifike elektrike r , $\text{m}\Omega\text{m}$	0.0322
Koeficienti termik i temperaturës $a \times 10^{+4}$, K^{-1} (i rrez. Spec. elek.)	36
Koeficienti i përçueshmërisë, λ , $\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$	214

Përveç këtyre legurave të aluminit, janë të njohura edhe silumini (5-13)% Si, pjesa tjetër alumin dhe duralumini (3.5-5.5% Cu, 0.4-0.8% Mg, 0.5-0.8% Mn dhe pjesa tjetër alumin). Këto legura kanë përdorim të gjerë në maqineri, ndërsa në elektroteknikë përdoren pak.

2.7. MATERIALET ME PËRÇUESHMËRI SPECIFIKE ELEKTRIKE TË VOGËL DHE LEGURAT E TYRE

Veçoritë e përbashkëta të këtyre materialeve janë: vlera shumë e madhe e rezistencës specifike elektrike në krahasim me atë të bakrit, koeficienti i vogël termik i rezistencës specifike elektrike, qëndrueshmëria e madhe ndaj korozionit etj. Në bazë të temperaturës së shkrijes, këto materiale mund të ndahen në: materiale që shkrihen lehtë dhe materiale që shkrihen vështirë. Në grupin e parë bëjnë pjesë: zhiva, zinku, kallaji, indiumi, hekuri dhe kobalti etj., ndërsa në grupin e dytë bëjnë pjesë: molibdeni, volframi, tantali, kromi etj.

2.7.1. MATERIALET QË SHKRIHEN LEHTË

a) ZINKU (Zn)

Në natyrë zinku gjendet vetëm në formë bashkëqyzimesh. Bashkëdyzimet më të rëndësishmet janë: sulfidi i zinkut, svaleriti (ZnS) dhe smitoniti ($ZnCo_3$).

Zinku përfitohet prej xehes me metodën metalurgjike, ndërsa pastrohet me metodën e elektrolizës.

Zinku është metal i kaltër në të bardhë, që shkëlqen.

Struktura kristalore e tij është rrjet i dendur i paketuar heksagonal, ku secilës nyje i përket nga një atom.

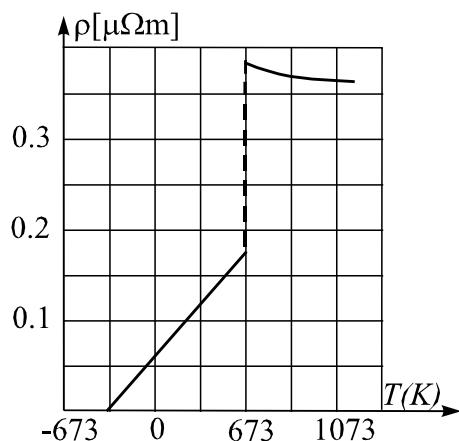
Në temperaturë të dhomës zinku është metal i thyeshëm. Në temperaturë prej 100-150°C zinku është i lakueshëm, tërhiqet në tela shumë të hollë dhe llamarina të holla. Në temperaturë më të mëdha se 200°C (473 K) zinku përsëri bëhet i thyeshëm.

Varësia e rezistencës specifike elektrike e zinkut nga temperatura është paraqitur në Fig. 2.21., ku shihet se zinku në gjendje të lëngët ka koeficientin termik të rezistencës negativ dhe shumë të vogël.

Veçoritë e rëndësishme elektrike, mekanike dhe termike në kushte të caktuara, janë dhënë në tabelën 2.19.

Tab. 2.19. Disa veçori elektrike, mekanike dhe termike të Zn

Parametrat	Vlerat numerike
Fortësia sipas Brinelit në 20°C (293K)	42
Koef. i përc. termike, λ , $\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$ në 20°C (293K)	113
Koef. term. i bymimit linear, $a \times 10^6$, K^{-1} (20-100)°C	30,0
Temperatura e shkrirjes (K), (°C)	692 (419)
Temperatura e avullimit (K), (°C)	1186 (913)
Rez. spec. elektrike ρ , $\mu\Omega\text{m}$ (20°C), (293K)	0.0592
Koef. term. i rez. spec. ele., a , K^{-1}	0.0041
Fem-termike në krahasin me Platinën (°C) mV	0.76
Temper. e kalimit në mat. superpërçues, K	0.875
Veçoritë magnetike	diamagnetike

**Fig. 2.21.** Varësia e rezistencës specifike elementare Zn prej temperaturës

Përdorimin dhe mënyrën e përfitimit të zinkut e definojnë standardet Europiane. Në tabelën 2.19 janë paraqitur llojet dhe përbërja kimike e zinkut.

Zinku është rezistent ndaj korozionit, sepse në kontakt me ajrin ai formon shtresë të hollë oksidi, e cila e mbron nga korozioni i metejshëm. Zinku tretet nën ndikimin e thartinës klorhidrike dhe sulfurike. Zinku ka gjetur zbatim si material mbështjellës (zinkimi) te elektrodat galvanike, fotoelektrodat etj. Zinku përdoret edhe për metalimin e letrës që përdoret për mbarimin e kondesatorëve miniaturalë. në këtë rast, vënia e zinkut në letër bëhet në vakuum në temperaturë 600°C. Zakonisht në vakum zinku avullohet në enë volframë, nikli dhe hromeli. Përveç këtyre, zinku përdoret si komponentë e shumë legurave metalike.

Tab. 2.19. Llojet, shenjat, përbërja kimike dhe udhëzimet për përdorimin e zinkut sipas rekondimeve IEC (standardit DIN).

Llojet e Zn	Shenjat	Përbërja kimike në % të shtesave						Udhëzime për përdorim
		Pb	Cd	Pb+ Cd+	Fe	Sn	Cu	
Zinku i mirë	Zn 99.995	0.003	0.003	0.004	0.002	0.001	0.001	Legura për ngjitje nën shtypje të pjesëve të aeroplave. Legurim të Cu me Ni
	Zn 99.990	0.005	0.005	0.006	0.003	0.001	0.002	
Zinku i mirë	Zn 99.500	0.03	0.02	-	0.02	0.001	0.002	Për zinkim galvanik të trakave të lëgurave Cu me Zn
Zinku i shkrirrë	Zn 99.500	0.45	0.15	-	0.003	-	-	Për galvanizim dhe zinkim të nxehë të trakave të lëgurave Cu me Zn
	Zn 98.500	1.40	0.20	-	0.003	-	-	
	Zn 97.500	2.0	-	-	0.006	-	-	

b) ZHIVA (Hg)

Zhiva është i vetmi metal në gjendje të lëngët.

Në natyrë zhiva gjendet në gjendje elementare, në formë grimcash të vogla në shkëmbinj. Mirëpo, zhiva gjendet edhe në përbërjen e më se 30 mineraleve të tjera. Xeheja më e rëndësishme e zhivës është cinabariti (HgS). Zhiva e pastër përfitohet me fergimin e cinabaritit në ajër dhe me kondensimin e avujve të zhivës nëpër gypa të ftohtë.

Zhiva ka strukturë romboide, ku secilës nyje i përket një atom i saj.

Zhiva është përcuesi i nxehësisë dhe i elektricitetit. Veçoritë më të rëndësishme elektrike, mekanike, termike etj. të zhivës janë dhënë në tabelën 2.20.

Tab. 2.20. Disa veçori termike, elektrike dhe mekanike të zhivës

Parametrat	Vlerat numerike
Fortësia sipas Brinelit në 20°C (293K)	lëngët
Koef. i përc. termike, α , $\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$ në 20°C (293K)	7.9
Koef. term. i bymimit linear. $\alpha \times 10^6$, K^{-1} ($20-100$) $^{\circ}\text{C}$	182
Temperatura e shkrirjes (K), ($^{\circ}\text{C}$)	234 (-39)
Temperatura e avullimit (K), ($^{\circ}\text{C}$)	630 (357)
Rez. Spec. elektrike r , $\text{m}\Omega\text{m}$ (20°C), (293K)	0.958
Koef. Term. i rez. spec. ele., a , K^{-1}	0.0009
Temper. e kalimit në mat. Superpërcues, K	4.153
Veçoritë magnetike	diamagnetike

Klasifikimi, përbërja kimike dhe udhëzimet për përdorim të zhivës të definuara sipas DIN janë dhënë në tabelën 2.21.

Metalët alkale, mandej mangani, alumini, zinku, kallaji, plumbi, kadmiumi, platini, ari dhe argjendi treten në zhivë, duke formuar legurat e zhivës - amalgamet.

Zhiva është material superpërçues. Në zhivë me vështirësi tretet bakri dhe nikeli.

Zhiva përdoret si katodë e lëngët te ridrejtuesit e zhivës për elektroda të zhivës dhe sonda gjatë matjeve të veçorive, dielektrikëve dhe gjysmëpërçuesve, barometra, manometra etj.

Tab.2.21. Llojet, shenjat, përbërja kimike dhe udhëzimet për përdorimin e zhivës (Hg)

Zhiva	Shenja	Hg më së paku %	Përbërës të patret. më së shumti	Fe max.	Pb + metale tjera më së shumti %	Udhëzime për përdorim
Zhiva 1	Hg 99.999	99.999	0.001	-	-	Për drejtues në vakum
Zhiva 2	Hg 99.99	99.990	0.010	0.0003	0.0001	Për apar. kontroll. dhe matës në inddustrin farmaceutike kimike
Zhiva 3	Hg 99.9	9.900	0,1	-	-	Në fabrikat farmaceutike dhe kimike për amalgamin e arit

c) INDIUMI (In)

Në natyrë rrallë gjendet në gjendje elementare. Më së shumti gjendet në formë bashkëqyzimesh në minerale CuInS₂ dhe në inditin FeInS₄.

Struktura kristalore e indiumit është tetragonale me rrjet vëllimor të koncentruar, ku se cilës nyje i përgjigjet një atom.

Veçoritë më të rëndësishme elektrike, mekanike dhe termike në kushte të caktuara janë paraqitur në tabelën 2.22.

Tab.2.22. Disa veçori termike, mekanike dhe elektrike te indiumit në temperaturë dhe kushte të caktuara

Parametrat	Vlerat numerike
Fortësia sipas Brinelit në 20°C (293K)	0.9
Koef. i përq. termike, α , $\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$ në 20°C (293K)	72
Koef. term. i bymimit linear. $\alpha \times 10^6$, K^{-1} (20-100)°C	28.4
Temperatura e shkrirjes (K), (°C)	429 (156)
Temperatura e avullimit (K), (°C)	2297 (2024)
Rez. spec. elektrike r , $\text{m}\Omega\text{m}$ (20°C), (293K)	0.090
Koef. term. i rez. spec. ele., a , K^{-1}	0.0049
Temper. e kalimit në mat. superpërçues, K	3.405
Veçoritë magnetike	diamagnetike

Indiumi përdoret si shtresë kundër korozionit. Prej indiumit përpunohen, me metodën e avullimit në vakuum, fotorezistorët e shtresave të holla. Indiumi është komponentë e legurave për pikje që shkrihen në temperaturatë ulta.

d) KALLAJI (Sn)

Kallaji në natyrë rrallë mund të gjendet i lirë. Xehet më të rëndësishme të kallajit janë: kositeriti, SnO_2 , dhe stanini $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$.

Për shkak të pikës së ulët të shkrirjes, kallaji shpeshherë ndahet nga shtesat në gjendje të lëngët. Pastrimi i kallajit bëhet me ndihmën e elektrolizës.

Kallaji është metal ngjyrë argjendi në të bardhë dhe shkëlqen. Kallaji i ka tri modifikime kristalore: α -, β -, dhe γ -Sn. Skema e kalimit nga njëri në tjetrin modifikim është paraqitur në Fig. 2.22.

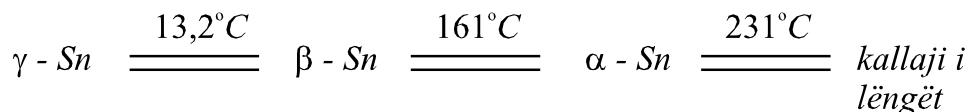


Fig. 2.22. Skema e transformimeve polimorfe të kallajit

Kallaji i tipit α -Sn ka strukturë kristalore të diamantit, ndërsa β -Sn ka rrjet tetragonal kristalor dhe γ -Sn ka rrjet kristalor rombik. Përgjatë kalimit prej β -Sn në α -Sn bëhet zmadhimi i vëllimit të kallajit (rreth 25%) dhe shndërrimi i tij në pluhur. α -Sn është material gjysmëpërçues, ndërsa β -Sn dhe γ -Sn janë metale.

Kallaji është i butë dhe duktil. Mund të farkohet dhe cilindrohet në fletëza të holla me trashësi 2,5 mm. (stanioli) dhe të zgjatën tela shumë të hollë prej tij.

Veçoritë mekanike, termike dhe elektrike të kallajit për kushte të caktuara janë dhënë në tabelën 2.23.

Tab. 2.23. Disa veçori mekanike, termike dhe elektrike të Sn

Parametrat	Vlerat numerike
Fortësia sipas Brinelit në 20°C (293K)	5.2
Koef. i përq. Termike, λ , $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ në 20°C (293K)	63.1
Koef. term. i bymimit linear. $a_1 \times 10^6$, K^{-1} ($20-100$) $^\circ\text{C}$	23,0
Temperatura e shkrirjes (K), ($^\circ\text{C}$)	504 (231)
Temperatura e avullimit (K), ($^\circ\text{C}$)	2896 (2623)
Rez. spec. elektrike r , $\text{m}^2/\text{V}\text{m}$ (20°C), (293K)	0.11
Koef. term. i rez. spec. ele., a , K^{-1}	0.0045
Temper. e kalimit në mat. superpërçues, K	3.72
Veçoritë magnetike	paramagnetike

Kallaji është i qëndrueshëm ndaj veprimeve të ajrit dhe ujit. Shkrihet në acidin klorhidrik dhe në hidroksidet alkalike. Kallaji është i qëndrueshëm edhe ndaj veprimit të lagështisë. Për këtë arsy, përdoret për mbulimin e shtresave të metaleve të cilat nuk janë të qëndrueshme (kallajimi).

Kallaji hyn në përbërjen e legurave të bakrit (bronzës) dhe në legurat për ngjiturje. Foliet e holla të kallajit (6-8 mm) përdoren për punimin e disa tipare kondensatorësh. Foliet e plumbit dhe të kallajit me trashësi 20-40 mm përdoren si fundamentë të kondensatorëve shumështresorë.

e) PLUMBI (Pb)

Në gjendje të lirë në natyrë gjendet rrallë. Më së shumëti gjendet në xehet e galenitit, (PbS), dhe cerusitit, $PbCo_3$.

Plumbi është metal me ngjyrë të kaltër që shkëlqen.

Struktura kristalore e plumbit është sipërfaqësore e përqëndruar me rrjet kubik, ku çdo nyje i takon nga një atom.

Plumbi është metal shumë i butë. Lehtë tëhollohet në fletëza të holla dhe tërhiqet në tela shumë të hollë.

Plumbi dhe legurat e tij janë helmuese.

Plumbi është metal që ka vlerë të madhe të rezistencës specifike elektrike. Varësia e rezistencës specifike elektrike nga temperatura është dhënë në figurën 2.23.

Veçoritë më të rëndësishme elektrike, termike dhe mekanike të plumbit janë dhënë në tabelën 2.24.

Llojet dhe simbolet e plumbit, përbërja kimike dhe udhëzimet për përdorim, sipas standardit DIN, janë shënuar në tabelën 2.25.

Plumbi shumë i qëndron korozionit. Është rezistues ndaj veprimit të ujit, thartinës klorhidrike dhe sulfurike, ndërsa tretet në acidin azotik dhe shirës.

Tab. 2.24. Disa veçori termike, mekanike dhe elektrike të Pb

Parametrat	Vlerat numerike
Fortësia sipas Brinelit në 20°C (293K)	3.9
Koef. i përq. Termike, α , $\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$ në 20°C (293K)	35
Koef. term. i bymimit linear, $a_1 \times 10^6$, K^{-1} ($20-100$) $^{\circ}\text{C}$	28.3
Temperatura e shkrirjes (K), ($^{\circ}\text{C}$)	600.0 (327)
Temperatura e avullimit (K), ($^{\circ}\text{C}$)	2028,0 (1745)
Rez. spec. elektrike ρ , $\text{m}\Omega\text{m}$ (20°C), (293K)	0.1900
Koef. term. i rez. spec. ele., a , K^{-1}	0.0042
Temper. e kalimit në mat. superpërçues, K	7.200
Veçoritë magnetike	diamagnetike

Veçoritë mekanike të plumbit dukshëm përmirësohen, duke i shtuar sasi të vogla të antimonit, hekurit, kadmiumit, bakrit, kallajit dhe metale tjera.

Tab. 2.25. Llojet, përbërja kimike dhe përdorimi i plumbit

Llojet e Pb Emërtimi	Sasia e detyr. e Pb	Përbërja kimike %	Udhëzime për përdorim					
Cu	Sn	Sb	As	Ag	Bi	Zn	Mn+Na+Ca	
Pb e rafinuar	Pb 99.992	(5 5 5 5 3 4 1 2)x10 ⁻⁴						
Pb i rafinuar 1	Pb 99.99	(10 10 5 5 10 50 10 10)x10 ⁻⁴	Për qelq optik, për shtr.për akumulator					
Pb i rafinuar 2	Pb 99.985	(10 5 10 5 5 100 10 10)x10 ⁻⁴	Për legura, shtresa kab.rrjeta akum.					
Pb i rafinuar 3	Pb 99.95	(10 20 20 10 10 200 20 10)x10 ⁻⁴	Për indus.kimike, kabllo, rrjeta etj.					
Pb i rafinuar 4	Pb 99.9	(50 20 30 10 30 200 20 10)x10 ⁻⁴	Për përfitimin e legu. për mbësht.të kabll.					
Rafinimi kimik vetëm i Pb	99,9Pb PbCu+(0.4-0.08)Cu	(50 20 30 10 30 200 20 10)x10 ⁻⁴	Për aparate kimike dhe stab.për përf. e acid.sulfurik.					

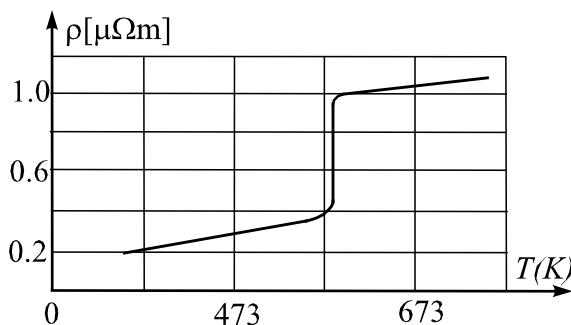


Fig. 2.23. Varësi e rezistencës specifike elektrike të Pb nga temperatura

Plumbi dhe legurat e tij përdoren si mbështjellësa të kabllove. Përveç kësaj, plumbi përdoret për pllaka të akumulatorëve. Plumbi përdoret si material mbrojtës nga rrezatimet radioaktive, si dhe legurat kryesore për pikje.

f) BIZMUTI (Bi)

Në natyrë bizmuti gjendet i lirë ose në formë bashkëqyzimesh. Xehet më të rendësishme të bizmutit janë: Bi_2S_2 , dhe okeri i bizmutit.

Bizmuti përfitohet prej oksideve të xeheve me reduksionin e hekurit, ndërsa prej xeheve të sulfidit bizmuti përfitohet me shkrirjen e tyre bashkë me hekurin.

Bizmuti ka strukturë kristalore romboide.

Bizmuti është metal me ngjyrë të kuqe në të bardhë, i cili shkëlqen.

Bizmuti ka përcueshmëri termike më të vogël. Te bizmuti, si edhe te Ga dhe Sb, rezistanca specifike, elektriqe, me rastin e kalimit të tij në gjendje të lëngët zvogëlohet. Varësia e rezistencës specifike elektriqe nga temperatura është paraqitur në figurën 2.24. Disa veçori mekanike, elektriqe dhe termike janë dhënë në tabelën 2.26.

Tab. 2.26. Veçoritë mekanike, elektriqe dhe termike të Bi

Parametrat	Vlerat numerike
Fortësia sipas Brinelit në 20°C (293K)	9.6
Koef. i përq. termike, α , $\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$ në 20°C (293K)	8.4
Koef. term. i bymimit linear. $a_1 \times 10^6$, K^{-1} (20-100)°C	13.3,0
Temperatura e shkrirjes (K), (°C)	494 (271)
Temperatura e avullimit (K), (°C)	1830, (1557)
Rez. spec. elektriqe r , $\text{m}\Omega\text{m}$ (20°C), (293K)	1.16
Koef. term. i rez. spec. ele., a , K^{-1}	0.0042
Veçoritë magnetike	diamagnetike

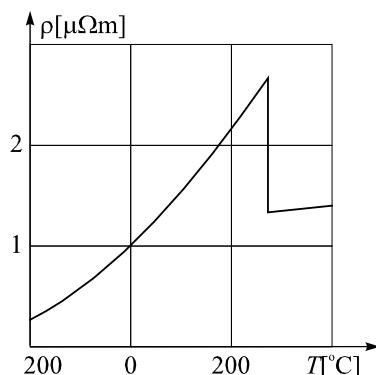


Fig. 2.24. Varësia e rezistencës specifike (Bi) elektriqe prej temperaturës.

Në temperatura të zakonshme, bizmuti është i qëndrueshëm ndaj ndikimit të ajrit. Nuk tretet në ujë, thartinë klorhidrike dhe acid të zbutur sulfurik. Tretet në acidin azotik dhe në acidin e koncentruar sulfurik.

Bizmuti përdoret për përfitimin e legurave që leht shkrihen për ngjitje, nga të cilat më të rëndësishmet janë: metali i Rozeut (Rose) (18% Sn, 31,5% Pb dhe 50% Bi), dhe metali i Vudovit (Wood), (12,5% Sn, 25% Pb, 12,5% Cd, dhe 50% Bi). Temperatura e shkrirjes së metaleve të Rozeut dhe Vudovit është 96°C, përkatësisht 58°C.

Bizmuti në formë pllakash përdoret për përfitimin e fotokatodave dhe elementeve radiacionare. Në reaktorët nuklearë, bizmuti përdoret si përcjellës i temperaturës.

g) HEKURI (Fe)

Në natyrë, hekuri rrallë gjendet i lirë. Më së shumti gjendet në formë bashkëdyzimesh me elemente të tjera. Xehet më të rëndësishme të hekurit janë: magnetiti Fe_3O_4 , sideriti FeCO_3 , limoniti $\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{xH}_2\text{O}$ dhe piriti FeS_2 .

Hekuri përfitohet në mënyra të ndryshme. Për qëllime të caktuara në elektroteknikë hekuri përdoret me pastërti rreth 99.95%. Ky lloj hekuri përfitohet me anën e elektrolizës.

Hekuri i pastër ka ngjyrë të argjendt në të bardhë dhe është metal që shkëlqen.

Rrjeti kristalor i hekurit është kubik. Gjer në temperaturën 910°C hekuri ka rrjet të përqëndruar vëllimor, ku çdo nyje i përgjigjet nga një atom. Mbi 910 e deri 1390°C Fe ka rrjet kristalor të përqëndruar sipërfaqësor, ku çdo nyje i përgjigjet nga një atom.

Mbi temperaturën 1390°C , hekuri përsëri ka rrjet kristalor të përqëndruar, vëllimor kubiku, ku çdo nyje i përket nga një atom. Siç shihet, hekuri i ka tri modifikime alotropike.

Tab. 2.26. Disa veçori të hekurit

Parametrat	Vlerat numerike
Fortësia sipas Brinelit në 20°C (293K)	50
Koef. i përc. termike, λ , $\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$ në 20°C (293K)	73.3
Koef. term. i bymimit linear. $a \times 10^6$, K^{-1} ($20-100$) $^\circ\text{C}$	10.7
Temperatura e shkrirjes (K), ($^\circ\text{C}$)	1813 (1540)
Temperatura e avullimit (K), ($^\circ\text{C}$)	3145 (2872)
Rez. spec. elektrike r , $\text{m}\Omega\text{m}$ (20°C), (293K)	0.0970
Koef. term. i rez. spec. ele., a , K^{-1}	0.00625
Veçoritë magnetike	ferromagnetike

Hekuri i pastër është material i butë. Është metal që farkohet dhe zgjatet. Në krahasim me bakrin, hekuri ka përqueshmëri të vogël elektrike dhe termike. Në figurën 2.25 është dhënë varësia e rezistencës specifike elektrike nga temperatura, ndërsa në figurën 2.26 është dhënë varësia e rezistencës specifike elektrike nga sasia e shtesave në përbërjen e hekurit. Në tabelën 2.27 janë dhënë disa veçori elektrike, mekanike dhe termike të Fe.

Hekuri, i cili zakonisht përdoret në teknikë, në masë më të vogël ose më të madhe ka sasi të ndryshme shtesash në përbërjen e tij. Këto lloje hekurash quhen

hekura teknikë. Shtesa më e shpeshtë e hekurit është karboni dhe se shpeshherë bëhet edhe ndarja e hekurit në bazë të përbërjes së karbonit në të. Hekuri teknik ndahet në disa lloje, si p.sh. çeliku që ka më pak se 1,7% karbon. Edhe çeliku klasifikohet në bazë të sasisë së karbonit. Vlen të ceket se çeliku është aq më i butë, sa më e vogël të jetë sasia e karbonit në përbërjen e tij.

Në figurën 2.25, përveç për hekurin e pastër, varësia e rezistencës specifike elektrike nga temperatura është dhënë edhe për hekuri elektroteknik (çelikun elektroteknik) me përbërje 4% Si edhe për ferrokromin (Fe - Ni - Cr).

Hekuri nuk është rezistent ndaj korozionit. Në temperaturën e dhomës dhe atmosferës të lagësht hekuri korodon shpejt. Me rritjen e temperaturës shpejtohet procesi i korozionit.

Për shkak të sasisë së madhe të shpërndarë nëpër tërë sipërfaqen e tokës (5,1%) dhe soliditetit të madh mekanik, hekuri ka përdorim të gjërë në teknikë.

Çeliku i butë, nganjëherë përdoret si përques për linjat ajrore. Disa herë përquesit telegrafikë dhe telefonikë përpunohen nga telat e zinkuar të çelikut. Hekuri, si material përques, përdoret për përfitimin e binarëve të tramvajeve, në hekurudhë dhe metro të ndryshme.

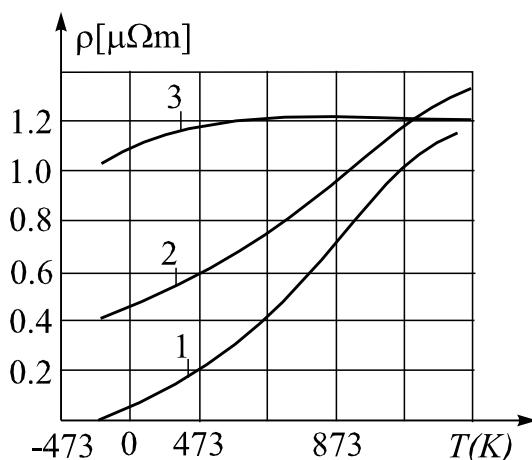


Fig. 2.25. Varësia e rezistencës specifike elektrike nga temper.për Fe të pastër(1), çelikun el. me përbërje 4% Si (2) dhe ferokr.Cr (3)

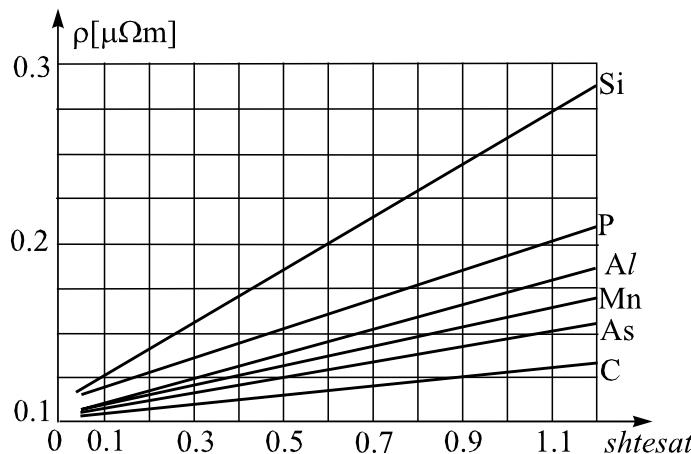


Fig.2.26. Varësia e rezistencës specifike elektrike të hekurit në funksion të sasisë së shtesave në përbërjen e hekurit.

h) NIKELI (Ni)

Në natyrë nikeli shpeshherë gjendet i lirë. Ai gjendet edhe në formë të bashkëdyzimeve të tjera. Nikeli është element përbërës i më se 100 mineraleve.

Nikeli përfitohet me mënyrën metalurgjike, ndërsa pastrohet me elektrolizë. Për nevoja elektrike, nikeli përdoret me pastërti rreth 99,5% Ni.

Nikeli është metal me ngjyrë të argjendët në të bardhë.

Struktura kristalore e nikelit është rrjet kristalografik kubik vëllimor i centruar me nga një atom në çdo nyje.

Nikeli është metal relativisht i fortë. Veçoritë mekanike të nikelit varen nga përpunimi termik. Në gjendje të ftohtë Ni përpunohet shumë lehtë. Nga nikeli mund të punohen pjesë të çdo forme dhe dimisionesh, që mund të durojnë edhe sforcime shumë të mëdha. Varësia e rezistencës specifike elektrike dhe e koeficientit termik të rezistencës përkatëse është paraqitur në figurën 2.27, ndërsa ajo e koeficientit termik të bymimit linear dhe koeficientit termik të përqueshmërisë në figurën 2.28.

Në figurën 2.29 është paraqitur varësia e rezistencës specifike elektrike nga sasia e shtesave në Ni.

Nikeli është metal shumë rezistent ndaj korozionit, tretet në thartësirat e zbutura, por është rezistent në thartinë e koncentruar të azotit.

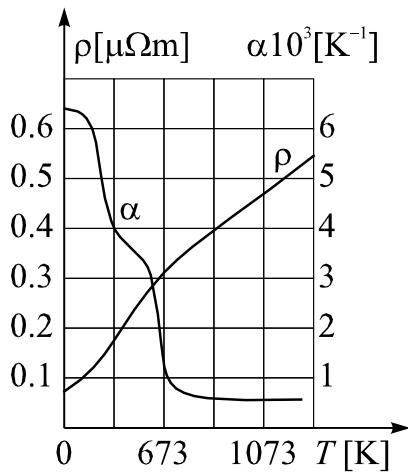


Fig. 2.27. Varësia e r^t dhe koef. term. te rezis.spec.elek. a të Ni nga temperatura

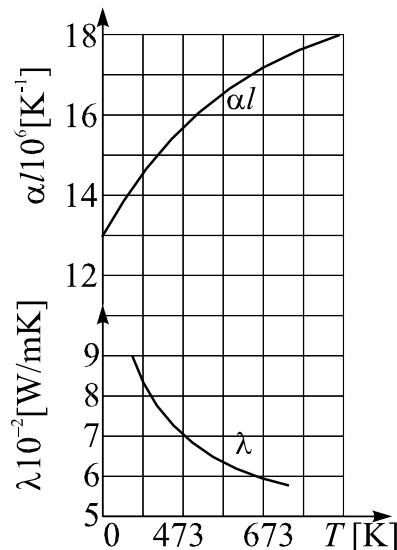


Fig. 2.28. Varësia e koef.term.të bymimit linear të Ni nga temperatura.

Nikeli përdoret shumë në elektroteknikë, sidomos në teknikën e elektrovakuumit, si komponentë e legurave përcuese e magnetike dhe përmbështjelljen elektrolite të materialeve nga Fe dhe mesingu (nikelimi). Ndonjëherë Ni përdoret për punimin rezistueseve përmes nxehje etj.

Tab. 2.27. Disa veçori termike, elektrike dhe mekanike të Ni

Parametrat	Vlerat numerike
Fortësia sipas Brinelit në 20°C (293K)	65
Koef. i përc. termike, λ , $\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$ në 20°C (293K)	75.5
Koef. term. i bymimit linear. $\alpha \times 10^6$, K^{-1} (20-100)°C	13.2
Temperatura e shkrirjes (K), (°C)	1186 (913)
Temperatura e avullimit (K), (°C)	2897.0 (3170)
Rez. spec. elektrike r , $\text{m}\Omega\text{m}$ (20°C), (293K)	0.6800
Koef. term. i rez. spec. ele., a , K^{-1}	0.0067
Veçoritë magnetike	ferromagnetike

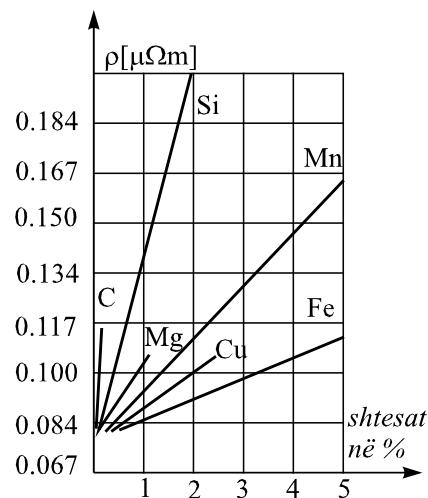


Fig.2.29. Varësia e rezis. spec. elek nga koncentrimi i sasive të ndryshme të shtesave.

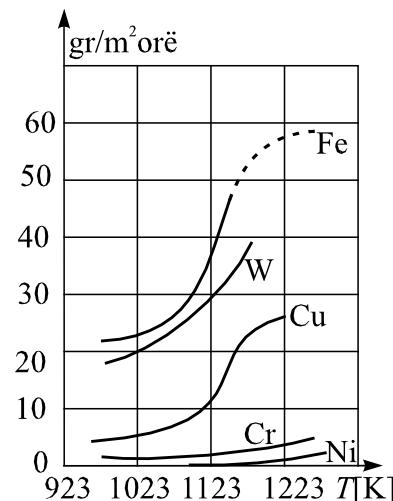


Fig.2.30. Varësia e shpejtimit të procesit të oksid. nga tem. për Fe, Cu, Cr, W dhe Ni (nën veprimin e ajrit)

2.7.2. METALET QË SHKRİHEN ME VËSHTIRËSI

Metalet me temperaturë të shkrirjes më të madhe se të hekurit (1540°C) e përbëjnë grupin e metaleve që shkrihen vështirë. Në këtë grup bëjnë pjesë: volfram, molibdeni, tantali, kromi etj.

a) VOLFRAMI (W)

Në natyrë volfram i nuk gjendet ilirë, por në formë bashkëdysimesh, ndër të cilat më i rëndësishmi është sheliti (CaWO_4).

Volfram i përfitohet nga xehet e volframit - të përzjerjes izomorfe të volframit të hekurit dhe manganit, FeWO_4 xMnWO_4 dhe shelitkalciumvolframtit, CaWO_4 . Së pari nga këto xehe përfitohet triokside i volframit, WO_3 , në formë pluhuri të verdhë. Volfram i metalik përfitohet mandej me reduksionin e WO_3 , me hidrogjen të pastër në furrat elektrike në temperaturë $700\text{-}900^{\circ}\text{C}$. Volfram i përfituar në këtë mënyrë është pluhur, me dimensione të grimcave rreth 1-7 mikrona. Mandej, pluhuri i volframit ngjitet nën veprimin e forcave në shtypje prej 200-300 Mpa, duke iu nënshtruar përpunimit mjaft të komplikuar në atmosferë të hidrogjenit (që të mos bëhet oksidimi), përfitohet volfram i metalik.

Volfram i është metal me ngjyrë hiri.

Struktura kristaloore e volframit është rrjet kubiku vëllimore e centruar, ku çdo nyje i përgjigjet nga një atom.

Volfram i është metal shumë i fortë. Për shkak të strukturës kokërrzore, volfram i thyhet shumë lehtë. Me përpunimin termik dhe mekanik, volfram i merr strukturë fijore dhe bëhet më elastik. Varësia e rezistencës specifike elektrike dhe koeficientit termik të përqueshmërisë së volframit nga temperatura është paraqitur në Fig. 2.31.

Kur të nxehet volfram i oksidohet.

Tab. 2.28. Disa veçori mekanike, elektrike dhe termike të W.

Parametrat	Vlerat numerike
Fortësia sipas Brinelit në 20°C (293K)	262
Koef. i përq. termike, α , $\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$ në 20°C (293K)	167
Koef. term. i bymimit linear. $\alpha_1 \times 10^6$, K^{-1} ($20\text{-}100^{\circ}\text{C}$)	4.4
Temperatura e shkrirjes (K), ($^{\circ}\text{C}$)	3400.0, (3673)
Temperatura e avullimit (K), ($^{\circ}\text{C}$)	5367.0, (5673)
Rez. spec. elektrike ρ , $\text{m}\Omega\text{m}$ (20°C), (293K)	0.055
Koef. term. i rez. spec. ele., α , K^{-1}	0.005
Temper. e kalimit në mat. superpërques, K	0.12
Veçoritë magnetike	paramagnetike

Pikja e volframit nuk është e lehtë. Ngjitësit për ngjitjen e volframit janë Au, Cu, Cu-Ni etj. Para se të bëhet ngjitja e volframit, ai duhet të pastrohet. Pastrimi i volframit bëhet duke e zhytur në tretjen e thartinës klorhidrike dhe azotike (në raport 1:1) e mandej lahet me ujë dhe alkool. Volframi është rezistent ndaj ndikimit të ajrit. Tretet vetëm në thartinë klorhidrike dhe azotike.

Volframi përpunohet në formë shkopinjsh, shiritash, telash, fijesh etj.

Për shkak të veçorive të mira mekanike dhe termike, volframi përdoret shumë.

Më së shumti përdoret për punimin e fijeve për poqe elektrike. Volframi përdoret edhe për punimin e katodave gypave të fortë elektronik, drejtuesve të tensionit të lartë, gypave të rëntgenit etj. Volframi i toriumit, me sasi të caktuar të toriumoksidit përdoret për punimin e katodave të gypave elektronikë me fuqi mesatare.

Volframi përdoret edhe për kontakte elektrike, termocifte për të matur temperaturat e larta, për punimin e elektrodave për saldim, elektrokimike dhe të argonit etj.

Në teknikën e vakumit, nga volframi punohen enët për avullimin e materialeve. Volframi përdoret edhe si nxehës në furrat e hidrogenit dhe të argonit, me temperaturë pune rrëth 3000°C.

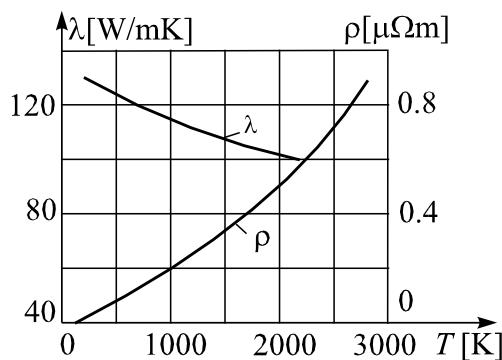


Fig.2.31. Varësia e rez.spec.elek. dhe e koef.të përq. termike / të W prej tem.

b) MOLIBDEMI (Mo)

Në natyrë molibdemi gjendet në formë bashkëdyzimesh. Xeheja më e përhapur e molibdenit është minerali i molibdenit, MoS_2 , dhe vulfeniti, PbMoO_4 .

Përfitimi i molibdenit dhe përpunimit termik i tij është i ngjashëm me volframin. Së pari, pluhuri i molibdenit presohet në formë të caktuar - zakonisht në formë shkopinjsh. Shtypja në këtë rast është rrëth 300 MPa. Me sinterimin e

molibdenit në atmosferë të mbrojtur të hidrogenit, që bëhet në dy stadiume, së pari ai nxehet në temperaturë $1100\text{-}1200^{\circ}\text{C}$, me të cilën rritet soliditeti dhe përqueshmëria elektrike e shkopinjve. Stadiumi i dytë është sinterimi në temperaturë të larta në $2200\text{-}2400^{\circ}\text{C}$ me ndihmën e rrymës elektrike. Në këtë mënyrë perfitohet materiali kompakt të përshtatshëm për farkim dhe tërheqje.

Molibdeni është metal me ngjyrë hiri të çeltë, shkrihet vështirë dhe është shumë i fortë.

Struktura kristalore e molibdenit është rrjet vëllimor kubik i centruar, ku çdo nyje i përgjigjet nga një atom.

Molibdeni, në temperaturë të zakonshme është material shumë i qëndrueshëm. Nuk tretet në acidin klorhidrik dhe sulfurik të zbutur. Tretet lehtë në acidin azotik.

Molibdeni prodhohet në formë trakash, shkopinjsh, telash në formë foliesh etj. Përdoret për përpunimin e pjesëve të cilat punojnë nën ndikimin e temperaturave të larta, si p.sh., elektrodat në aparatet elektrovakuume, me temperaturë të punës rrëth 100°C . Si material nxehës përdoret deri në temperaturën 700°C .

Tab. 2.29. Paraqet disa veçori elektrike mekanike dhe termike të Mo.

Parametrat	Vlerat numerike
Fortësia sipas Brinelit në 20°C (293K)	153
Koef. i përc. termike, λ , $\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$ në 20°C (293K)	150
Koef. term. i bymimit linear. $a_1 \times 10^6$, K^{-1} ($20\text{-}100^{\circ}\text{C}$)	5.3
Temperatura e shkrirjes (K), ($^{\circ}\text{C}$)	2620.0, (2293)
Temperatura e avullimit (K), ($^{\circ}\text{C}$)	4827.0, (5100)
Rez. spec. elektrike r , $\text{m}\Omega\text{m}$ (20°C), (293K)	0.05
Koef. term. i rez. spec. ele., a , K^{-1}	0.0043
Temper. e kalimit në mat. superpërçues, K	0.93
Veçoritë magnetike	Paramagnetike

Molibdeni përdoret edhe për përfitimin e mbajtësve të fijeve shndritëse te poqet elektrike dhe për rrjetat e gypave elektronikë. Molibdeni përdoret në rastin e përfitimit të çeliqeve speciale me soliditet të madh mekanik dhe elasticitet, për mbarimin e kontakteve elektrike. Së bashku me volframin, molibdeni përdoret për punimin e termoelementeve që prodhohen për matjen e temperaturave të larta mbi 2000°C .

Molibdeni bashkë me volframin paraqesin komponente të rëndësishme te legurat e ndryshme, duke e rritur shumë soliditetit mekanik dhe formuar tretje të forta që përdoren në teknikën e vakuumit.

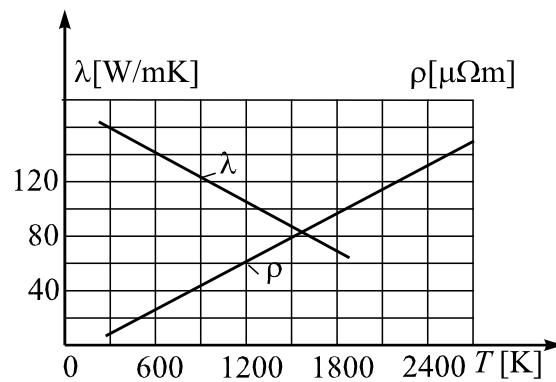


Fig.2.32. Varësia e rez.spec.elek dhe koef.term.të përq. së Mo prej temperaturës.

c) TANTALI (Ta)

Në natyrë, së bashku me niobumin gjendet në formë të tantalatit dhe niobiatit izomorf. Tantali është përbërës i më shumë se 100 mineraleve, të cilat më të rëndësishmet janë: kolumbet-tantalati ($m\text{FeO}_x$ (1-m) $\text{MnOnTa}_2\text{O}_5$ (1-n) Nb_2O_5 , mikroliti, lopariti etj.

Përfitimi i tantalit, si edhe i niobiumit, bëhet me mënyrën metalurgjike në furrat e vakuumit dhe është ngushtë i lidhur me përpunimin e një numri të madh xehesh. Mënyra e ndarjes së tantalit prej niobiumit është mjaft e komplikuar. Produkti final i përpunimit të xhesës është K_2TaF_7 , nga përfitohet tantal me reduksion të natriumit metalik ose me elektrolizë. Tantali i përfituar në këtë mënyrë ka formë pluhuri. Përfitimi i metalit kompakt bëhet si te përfitimi i volframit dhe molibdenit, me metodën e metalurgjisë së pluhurit.

Tantali është metal me ngjyrë të përhimtë.

Struktura kristalore e tantalit është rrjet kubiku vëllimor i centruar, ku çdo nyje i përgjigjet nga një atom.

Në tabelën 2.30 janë paraqitur disa veçori mekanike, elektrike dhe termike të tantalit në kushte të caktuara.

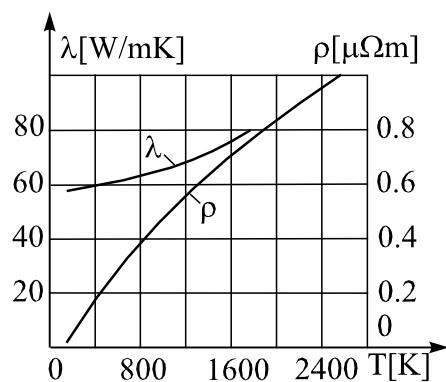
Tantali është i qëndrueshëm në ndikimin e ajrit, sepse e formon shtresë të oksidit Ta_2O_5 . Tantali i pastër e absorbon hidrogjenin, azotin dhe oksigjenin. Acidi klorhidrik, azotik si edhe uji mbretëror nuk e tretin tantalin.

Tantali përpunohet në formë shkopijesh, telash, llamarinash dhe gypash.

Tantali përdoret për mbarimin e anodave dhe rrjetave të gypave elektronikë, për rezistorë shtresorë, për elektroda të tantalit të kondesatorëve elektrolitë.

Tab.2.30. Disa veçori elektrike, mekanike dhe termike te Ta.

Parametrat	Vlerat numerike
Fortësia sipas Brinelit në 20°C (293K)	45
Koeficienti i përc. termike, λ , $\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$ në 20°C (293K)	50
Koef.term. i bymimit linear, $a_1 \times 10^6$, K^{-1} (20-100)°C	6.6
Temperatura e shkrijres (K), (°C)	3000.0 (3273)
Temperatura e avullimit (K), (°C)	5285.0 (5558)
Rez. spec. elektrike ρ , $\mu\Omega\text{m}$ (20°C), (293K)	0.1240
Koef. term. I rez. spec. ele., a , K^{-1}	0.0038
Temper. e kalimit në mat. superpërçues, K	4.5
Veçoritë magnetike	paramagnetike

**Fig.2.33.** Varësia e rez.i.spec.elek.dhe koef. term.i rez.spec.ele.të tantalit prej temperaturës.

d) KROMI (Cr)

Në natyrë gjendet vetëm në formë bashkëdyzimesh. Xehet më të rëndësishme të kromit janë: kromiti ($\text{FeOxCr}_2\text{O}_3$) dhe krokiti, PbCrO_4 .

Kromi i pastër përfitohet kimikisht ose elektrolitikisht.

Kromi është metal me ngjyrë të argjendtë në të bardhë.

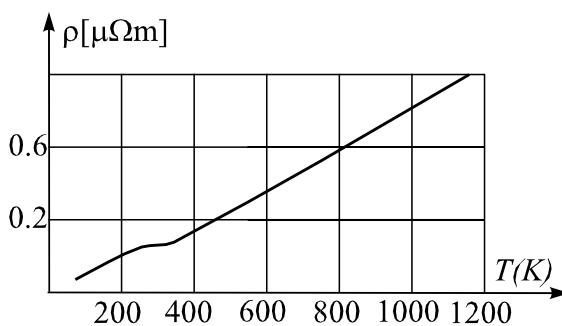
Struktura kristalore e kromit është rrjet kubiku e centruar vëllimore, ku çdo nyje i përgjigjet nga një atom. Kromi është metal i fortë.

Në figurën 2.34 është paraqitur varësia e rezistencës specifike elektrike nga temperaturo, kurse veçoritë më të rëndësishme elektrike, mekanike dhe termike në tabelën 2.31.

Tab. 2.31. Disa veçori termike, mekanike dhe elektrike të Cr.

Parametrat	Vlerat numerike
Fortësia sipas Brinelit në 20°C (293K)	114
Koeficienti i përc. termike, λ , $\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$ në 20°C (293K)	88.6
Koef.term. i bymimit linear. $a_1 \times 10^6$, K^{-1} (20-100)°C	6.2
Temperatura e shkrijres (K), (°C)	1900, (2173)
Temperatura e avullimit (K), (°C)	2570, (2843)
Rez. spec. elektrike ρ , $\mu\Omega\text{m}$ (20°C), (293K)	0.13
Koef. Term. i rez. spec. ele., a , K^{-1}	0.0024
Veçoritë magnetike	antiferomagnetike

Në temperaturën e dhomës kromi është i qëndrueshëm ndaj ajrit dhe ujit. Kromin e tret thartina klorhidrike, por nuk e tret thartina azotike. Për shkak të qëndrueshmërisë që ka, kromi përdoret për mbështjelljen e materialeve të hekurit (kromizimi) me qëllim që ta mbrojë korozioni. Kromi është element përbërës të disa legurave e sidomos në legurat për nxehëse elektrike. Kromi përdoret për mbarimin e rezistorëve shtresorë. Së bashku me hekurin përbën legurën Fe + Cr, që është shumë e nevojshme për metalurgji.

**Fig.2.34.** Varësia e rez.i.spec.elek. e kromit nga temperatura

2.7.3. LEGURAT PREJ METALEVE ME PËRÇUESHMËRI TË VOGËL ELEKTRIKE

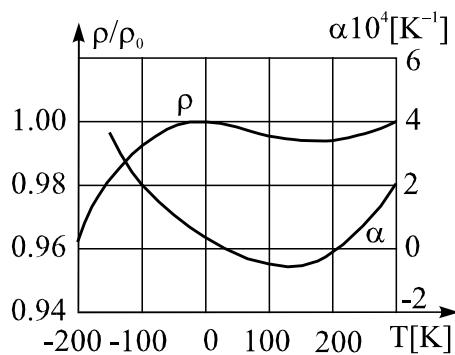
a) LEGURAT E NIKELIT, BAKRIT DHE MANGANIT

Disa veçori të legurave të bakrit, nikelit dhe manganit janë paraqitur në tabelën 2.33., ndërsa përbërja kimike e këtyre legurave është dhënë në tabelën 2.32., ndërsa përbërja kimike e këtyre lëgurave është dhënë në Tab. 2.32. Legurat më të rëndësishme të këtyre metaleve janë manganini dhe konstantani.

Tab. 2.32. Përbërja kimike e legura Ni, Cu, Mg.

Emri i legurës	Përbërja kimike %						Përdorimi Për termoelemente. Për rezistor me rezistencë standarde
	Cu	Mn	Ni	Cr	Al	Si	
Alumel	-	1.8-2.7	mbe	-	1.6-2.4	0.85-1.5	
Kromel T	-	-	mbe	9-10	-	-	
Kromel K	-	-	mbe	8.5-10	-	-	
Kopel	mbe	0.1-1		42.5-44	-	-	
Konstant.	mbe	0.1-2		39-41	-	-	
Manganini	mbe	11.5-13.5		2.5-3.5	-	-	

Manganini ka forcë të vogël termoelektromotore në krahasim me bakrin. Koeficienti termik i rezistencës specifike elektrike të manganit është shumë i vogël. Pikërisht për këtë, manganini përdoret për mbarimin e rezistorëve standardë. Temperatura maksimale e punës së manganinit është në mes të 100 dhe 200°C. Në figurën 2.34. është paraqitur varësia e rezistencës specifike dhe e koeficientit termik të rezistencës specifike nga temperatura.

**Fig.2.35. Varësia e rez.spec.elek.dhe e koef.term. të rezis.specif.të mangn.nga temper.**

Konstantani është legurë e bakrit, nikelit dhe e manganit (përbërjen kimike shiko në tabelën 2.29, ndërsa disa veçori në tabelën 2.30.) Meqenëse konstantani nuk ka hekur, tërësisht i shmanget korozionit. Temperatura maksimale e punës së konstantanit ndërmjet 450 dhe 500°C. Konstantani përdoret për përfitimin e rezistorëve, rezistorëve ngrohës, temperaturo e punës e të cilëve nuk kalon 500°C, për përfitimin e termoelektrodave dhe termocifteve.

Tab. 2.33. Disa veçori të legurave të bakrit, Ni dhe Mn

Legurat Veçoritë	Alumel	Kopel	Kromel T	Krom.K	Mangan.	Konstan.
Dendësia (Mg/m^3)	8.67	8.9	8.72	-	8.4	8.9
Temperatura e shkrirjes, °C	1430	-	1500	-	960	1270
Koeficienti termik i bymimit linear, $\alpha \times 10^6 K^{-1}$ (20-600) °C	16.0	16.8	15.6	-	18	-
Rez. Spec. elek. 20°C, $r, m\Omega/h$	0.33 ± 0.05	0.47 ± 0.05	0.68 ± 0.05	0.67 ± 0.05	0.46-0.49	0.45-0.52
Koeficienti termik i rezistencës spec. elek. $\alpha \times 10^5, K^{-1}$ (0-100) °C	12	-	4	-	-5 deri 4	-2 deri 6
FTEM në krashtim me bakrin mV/K	-	48	-	-	-	-

b) LEGURAT E KROMIT, NIKLIT, ALUMINIT DHE HEKURIT

Përbërja kimike e këtyre legurave është paraqitur në tabelën 2.34. Në këtë tabelë janë dhënë edhe disa veçori të legurave të kromit, nikelit dhe hekurit (nikromi) dhe legurave të Cr, Al dhe Fe (fehralet, kromalet), në kushte të caktuara. Legurat e tipit nikrom më së shumti përdoren për nxehëse të furrave elektrike, reshove, ujtime etj. Emërtimi komercial për disa tipe të këtyre legurave është CEKAS. Legura Cr20 Ni80 përdoret për rezistorë shtresorë, me shtrirje shumë të holla.

Legurat e Fe, Cr dhe Al, gjithashtu, përdoren për rezistorë ngrohës. Disa nga keto legura njihen me emrin komercial KANTAL dhe MEGAPIR.

Nga legurat e lartpërmendura punohen edhe rezistorët në formë teli gjithfarë formash dhe seksionesh.

Tab. 2.34. Përbërja kimike e legurave të Cr, Ni, Al dhe Fe

Legurat e Cr + Ni	Ni	Mn	Cr	Al	Fe	Vërejtje
Përbërja kimike e legurave %						
Cr15Ni60	55-61	1.5	15-18	-	mbetja	Legurat e tipit
Cr20Ni80	75-78	1.5	20-23	-	mbetja	nikrom
Legurat e krom-aluminxit						
Cr13A14	0.6	0.7	12-15	3.5-5.5	mbetja	Legurat e tipit
Cr25A15	0.6	0.7	23-27	4.5-6.5	mbetja	ferhal dhe Cr

Tab. 2.35. Disa veçori të legurave të Cr, Ni, Al dhe Fe

Legurat Veçoritë	Cr15Ni60	Cr20Ni80	Cr13A14	Cr25A15
Dendësia (Mg/m^3)	8.2	8.4	7.3	7.25
Temperatura e shkrirjes, °C	1370-1410	1390-1420	1455	1500-1510
Koef. i bym. lin. $10^6 K^{-1}$ (20-1000°C)	16.3	16.3	-	17.4
Rezistenza specifike elektrike (20°)	1.0-1.2	1.0-1.1	1.2-1.35	1.3-1.5
Koef. Term. i rezis. spec. ele. $\alpha \times 10^4, K^{-1}$	1-2	1-2	1-1.2	0.65
Temperatura maksimale e punës, °C	1000	1100	850	1200

2.7.4. PËRDORIMI SPECIAL I MATERIALEVE PËRÇUESE

a) MATERIALET PËR PIKJE (NGJITJE)

Materialet për ngjitje, ose ngjitetit, mund të ndahanë në dy grupe:

1. ngjitetit e butë, me soliditet të vogël (soliditeti në tërheqje është deri 50-70 MPa dhe temperaturë të shkrirjes nën 500°C), (773) K.
2. ngjitetit e fortë, me soliditet të madh (soliditeti në tërheqje është i rendit 500 MPa) dhe temperaturë të shkrirjes mbi 500°C (773) K.

Një ndarje e tillë e ngjitesve nuk është më e drejta, sepse ekzistojnë ngjites të cilët sa i përket temperaturës së shkrirjes bëjnë pjesë në ngjitetit e butë, por kanë soliditet të madh mekanik. Pikërisht për këtë, më mirë është të bëhet ndarja e ngjitesve në funksion të temperaturës së shkrirjes në ngjites që shkrihen lehtë dhe që shkrihen vështirë, ($T_{sh} < 500^{\circ}\text{C}$), ($T_{sh} > 500^{\circ}\text{C}$).

Përdorim më të madh kanë ngjitetit e butë nga bakri dhe kallaji. Në tabelën 2.36. është dhënë përbërja, temperatura e punës dhe propozimet për përdorimin e ngjitesve të Pb-Sn. Nga tabela shihet se temperatura e punës së tyre sillet mes 185 dhe 285°C .

Ka ngjites me temperaturë të ngjites (shkrirjes) më të vogël se 185°C . Këta ngjites shkrihen lehtë. Komponentet e tyre janë metale me temperaturë të ulët të shkrirjes (Pb, Sn, Bi, In, Hg, Cd). Në tabelën 2.37. është dhënë përbërja kimike e disa ngjitesve me temperaturë të ulët të shkrirjes të legurave përkatëse.

Ngjitetit e fortë përdoren për ngjiten e metaleve, kur kërkohet soliditet më i madhe mekanik i vendit ku bëhet ngjitia, dhe kur vendi i ngjitur duhet të punojë në temperaturë të larta. Ngjitetit e fortë e kanë temperaturën e shkrirjes në mes të 600 dhe 1000°C . Më të shpeshta janë legurat e bakrit me Zn-mesing dhe Ag-Ag ngjites.

Në tabelën 2.38 janë dhënë përbërjet kimike, temperatura e ngjites dhe propozimet për shfrytëzimin e ngjitesve të mesingut sipas IEC rekomandimeve, ndërsa në tabelën 2.39 janë dhënë veçoritë e ngjitetit të argjendit, sipas rekomandimeve të sipershnuara.

Për pikjen e aluminit si ngjites përdoret legura e aluminit me $4\text{-}13\%$ Si, e cila quhet silumin. Temperatura e shkrirjes e kësaj legure është në mes të 570 dhe 630°C . Për ngjite të aluminit, përdoret edhe ngjitesi alumin-bakër, të cilit shpeshherë i shtohet edhe ndonjë element tjetër, si kallaji dhe zinku.

Tab. 2.36. Përbërja kimike dhe shënimet dhe propozimet e përdorimit të legurave për ngjitje me bazë të plumbit dhe kallajit.

Simboli i legurës	Përbërja kimike % Pb Sn	Temperatura e punës °C	Propozimet për shfrytëzim
S.Sn20	20	80	275 Për tërheqjen dhe ngjiten e metaleve
S.Sn25	25	75	257 Për ngjitje me makinë dhe në flakë
S.Sn30	30	70	249
S.Sn33	33	67	242 Për ngjitje me lirje të sipërf.
S.Sn35	35	65	237
S.Sn40	40	60	223 Për ngjitje të Pb dhe shtresave të kablove
S.Sn50	50	50	200 Për qëllime të përgjithshme
S.Sn60	60	40	185 Për ngjitje të mirë dhe kallajitjen e telave në elektroteknikë
S.Sn75	75	25	185 Për mbështjellësit e metaleve

Tab. 2.37. Temperaturat e punës dhe përbërja kimike e disa legurave që shkrihen lehtë

Temperatura e shkrirjes (°C)	Përbërja kimike %				
	Sn	Pb	Cd	Bi	Zn, In
199	91,1	-	-	-	8,9 Zn
183	61,9	38,1	-	-	-
141	50,0	30,0	-	20,0	-
145	49,8	32,0	18,2	-	-
130	52,0	30,0	13,0	5,0	-
96	18,75	31,25	-	50,0	-
68	12,50	25,0	12,5	50,0	-
58	12,0	18,00	-	60,0	21,0 In
47	8,3	22,6	5,3	44,70	19,1 In

Tab. 2.38. Përbërja kimike, temperatura e ngjitjes të dhënët për ngjitetin e mesingut

Simbolet e legurave	Përbërja kimike % Cu Si Zn			Temperatura e punës °C	Shtresat për përdorim të tyre
S.Cu85Zn	84-86	13	0.2-0.4	1020	Materiale prej Cu, Zn dhe Fe të farkuar
S.Cu63Zn	62-64	35	0-0.4	910	Gypa të ujësjellsit, materiale për tërheqje prej Cu, çelik dhe Fe
S.Cu60Zn	59-61	38	0.2-0.4	900	Materiale prej Cu dhe Fe të farkuar
S.Cu54Zn	53-55	44	0.2-0.4	890	Materiale prej Cu dhe Fe të farkuar
S.Cu48Zn	47-49	50	-	870	Materiale prej Cu dhe Fe të farkuar
S.Cu42Zn	41-43	56	-	845	Materiale prej Ni dhe Cu

Tab. 2.39. Simbolet, përbërja kimike dhe temperatura e ngjitjes së ngjitësve të argjendit

Simboli	Përbërja kimike %				Tem. ngji. °C	Simboli	Përbërja kimike %				Tem. ngji. °C
	Ag	Cd	Cu	Zn			Ag	Cd	Cu	Zn	
S.Cu55ZnAg8	7-9	-	55	mb	870	S.Cu42ZnAg25Cd	24-26	12-16	42	mb	730
S.Cu52ZnAg12	11-13	-	52	mb	830	S.Cu40ZnAg27Mn	24-28	-	40	mb	840*
S.Cu52ZnAg12Cd	11-13	5-9	52	mb	770	S.Cu44ZnAg30Cd	29-31	3-7	44	mb	770
S.Cu49ZnAg15Cd	14-16	8-12	49	mb	800	S.Cu36ZnAg30Cd	29-31	10-14	36	mb	700
S.Cu43ZnAg20Cd	19-21	13-17	43	mb	870	S.Cu32ZnAg44	43-45	-	32	mb	730
S.Cu43ZnAg25	24-26	-	43	mb	845	S.Cu19ZnAg45Cd	44-46	18-22	19	mb	620

b) MATERIALET PËR PËRFITIMIN E REZISTORËVE

Në përgjithësi, me materiale rezistuese kuptojmë ato materiale që kanë rezistencë specifike elektrike në kufij $(0,2\text{--}1,5) \cdot 10^{-10} \text{ Wm}$.

Përdorimi i rezistorëve në elektroteknikë është i shumëfishtë dhe i llojlojshëm. Pikërisht për këtë, është vështirë të bëhet ndonjë klasifikim adekuat i këtyre materialeve. Megjithatë, materialet rezistuese grupohen në bazë të strukturës dhe lëmitë të përdorimit të tyre.

Klasifikimi i materialeve rezistuese, sipas lëmitë të përdorimit, në elektroteknikë është:

- materialet për përfitimin e trupave të nxehtë në furrat elektrike dhe nxehëse tjera;
- materialet për përfitimin e rezistorëve teknikë, siç janë: rezistorët rregullues, rezistorët për qarqe elektronike, për ngarkesa të ndryshme etj.;
- materialet për përfitimin e rezistorëve matës.

Klasifikimi i materialeve rezistuese mund të bëhet edhe në bazë të strukturës së tyre. Një klasifikim i tillë do të përfshinte:

- metalet dhe legurat rezistuese në formë telash dhe shiritash,
- rezistorët shtresorë dhe
- rezistorët masivë.

Legurat rezistuese

Meqenëse metalet e pastërtë kanë rezistencë specifike elektrike relativisht të vogël dhe koeficient termik të rezistencës me vlerë të madhe, përdorimi i tyre është kufizuar në përfitimin e materialeve rezistuese. Për këtë qëllim, zakonisht, përdoren legurat e metaleve të ndryshme.

Për shkak të pjesëmarrjes së metaleve të ndryshme, me përqindje të konsiderueshme, në legura bëhet deformimi i rrjetit kristalor. Si rezultat i deformimit të rrjetit rritet rezistenca specifike elektrike dhe zvogëlohet koeficienti termik i rezistencës. Në rritjen e rezistencës specifike elektrike ndikim të madh ka komponentja r_p , sepse rritet numri i metaleve që marrin pjesë në legurë. Kështu formohet një trup i "papastër".

Veçoritë e përgjithshme të legurave rezistuese, pavarësisht nga përdorimi i tyre, janë: ndryshimet e vogla të rezistencës me temperaturën, nuk i nënshtrohen korozionit, lehtë pikën, përpunojen mekanikisht etj.

Legurat rezistuese në formë telash dhe shiritash përdoren për përfitimin e trupave të ngrohtë, si rezistorë termikë dhe matës.

Legurat për trupa të nxehëtë

Legurat që përdoren si trupa të nxehëtë, karakteristikë e të cilave është puna në temperaturat e larta, përveç veçorive të përmendura më lart, duhet t'i përbushin edhe disa kushte të veçanta: sidomos të kenë temperaturë të shkrirjes shumë të lartë, të jenë rezistent ndaj korozionit në temperaturat e larta dhe të kushtojnë lir.

Legurat e hekurit, nikelit, aluminit, magnezit, me sasi të vogla silici, mangani dhe kallaji i kanë veçoritë e lartpërmendura. Ndërkaq, legurat e niklit dhe kromit karakterizohen me vlerë të vogël të rezistencës specifike elektrike $(0,9-1,3) \times 10^{-6} \text{ W/m}$ fortësi të madhe mekanike, në gjendje të ftoftë dhe të nxehëtë etj. Duke i shtuar legurës Fe 15-55%, asaj i rritet rezistenca specifike elektrike dhe i ulet çmimi.

Legurat me bazë kromi, alumini dhe hekuri kanë veçori të ngjashme me legurat e lartpërmendura, ndërsa duke larguar nikelin nga përbërja e legurës, atyre në masë të konsiderueshme u ulët çmimi.

Të gjitha legurat që përdoren për përfitimin e trupave të nxehëtë, kanë temperaturë pune $1100-1300^\circ\text{C}$, përpunojen në sipërfaqe, duke i nxe në prezencën e ajrit, ndërsa shtresa e dendur e oksidit, e cila formohet në atë rast, e mbron legurën nga prishja e mëtejshme.

Legurat për rezistorë teknikë

Legurat për përfitimin e rezistorëve teknikë, që të funksiononjnë mirë, duhet t'i plotësojnë këto kushte: të jenë rezistues ndaj veprimit të gazeve agresivë, ajrit të njelmët e të kenë edhe karakteristika tjera stabile.

Legurat më të rëndësishme që përdoren për rezistorë rregullues kanë përbërje bakri, ndërsa legurat e argjendit paraqesin rast special të këtij grupi. Legurat e bakrit kanë një sasi të argjendit ose të nikelite. Në këtë grup duhet të veçohet konstantani ($54\% \text{ Cu}$, $45\% \text{ Ni}$ dhe $1\% \text{ Mn}$), që ka rezistencë specifike elektrike $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ W/m}$ në temperaturë 20°C , dhe koeficienti termik të rezistencës $\alpha = -2$ deri $6 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$. Konstantani ka veçori të mira mekanike, termike dhe është material i përshtatshëm për përfitimin e rezistorëve rregullues. Me rritjen e temperaturës mbi vlerën e lejueshme, konstantani oksidohet shumë shpejt. Shtresa e hollë e oksidit ndikon pozitivisht në legurë. Përveç këtij, konstantani shpeshherë oksidohet artificialisht në temperaturë 900°C në prezencën e ajrit. Shtresa e hollë e oksidit e mbrojnë nga prishjet e mëtejme dhe mundëson rregullimin e tensionit, kur ai është më i vogël se një volt.

Për përdorim në elektroteknikë, është me rëndësi fakti se këto legura kanë koeficient termik të rezistencës negative, për se edhe përdoren për kompensimin e temperaturës te rezistorët e instrumenteve rregullues dhe matës. Material kryesor legurues i këtyre legurave është mangani.

Legurat për rezistorë matës

Legurat e rezistorëve matës punojnë në kushte relativisht të volitshme. Mirëpo, veçoritë e materialeve që përdoren për përfitimin e këtyre rezistorëve duhet gjithashtu t'i përmushim këto kushte të veçanta:

- të kenë koeficient termik të rezistencës sa më të vogël, në mënyrë që saktësia e instrumenteve matëse të mos varet nga temperatura;
- të kenë vlerë të vogël të forcës termoelektrromotore, sidomos në krahasim me bakrin, sepse në të kundërtën do të shkaktonte gabime në matje, të cilat varen nga temperatura, dhe
- të mos ndryshojë vlera e rezistencës në funksion të kohës.

Këto dhe kërkesat tjera i përmushimin legurat e bakrit, nikelite e manganit, edhe legurat e bakrit, nikelite dhe kromit.

Legura më e rëndësishme e këtij grupi rezistorësh është manganini, që ka $86\% \text{ Cu}$, $12\% \text{ Mn}$, $2\% \text{ Ni}$. Rezistenca specifike elektrike e tij është $0,46 - 0,49 \times 10^{-6} \text{ W/m}$, ndërsa temperatura e lejuar e punës është 400°C . Vlen të veçohet vlera shumë e vogël e koeficientit termik të rezistencës -5 deri $+4 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

Për shkak të vlerës së vogël të α , manganini është material kryesor për mbarimin e rezistorëve në meteorologji.

Rezistorët shtresorë

Prodhimi i rezistorëve në formë teli që kanë rezistenca të larta është i pranueshëm deri në vlerën 10^7 W . Rezistorët e tillë janë shumë të shrenjtë dhe të papërshtatshëm

për përdorim në teknikën e frekuencave të larta. Pikërisht për këtë, prodhohen rezistorët shtresorë. Shtresa rezistuese ka trashësi 10mm deri 1mm dhe vendoset në masën bartëse nga qeramika ose qelqi. Shtresa rezistuese nga metali, karboni dhe shtresave të tjera, ka veçori të veçanta fizike, që nuk i kanë materialet tjera.

Për përfitimin e shtresave të holla metalike përdoret mënyra e avullimit të metaleve dhe legurave, sidomos e nikelite dhe kromit, në vakuum. Vendi ku do të vendoset shtresa rezistuese lyhet me llak i cili e mbron materialin nga ndikimet atmosferike dhe ndikimet tjera të jashtme.

Prodhimi i lirë i rezistorëve shtresorë, varet shumë nga prezenca e karbonit në legurën rezistuese. Shtimi i karbonit në legurë ndikon në rritjen e rezistencës së saj dhe e mbron nga ndikimet e jashtme.

Për rezistorë me rezistencë prej 10^8 deri në 10^{14} W shtohet edhe përzierja e substancës organike, si blonza, oksidi i metaleve etj. dhe materiale tjera organike lidhëse. Për t'u mbrojtur sa më mirë nga lëndimet e jashtme, këta rezistorë futen në gypa prej qelqi.

Në tabelën 2.40. janë dhënë vlerat e rezistencave dhe e koeficientit të rezistencës për rezistorë në formë teli dhe shtresash.

Tab. 2.40. Raportet e disa veçorive të rezistorëve në formë teli dhe në formë shtresash

Materialet	Koef. i rezistencës (K^{-1})	Rezistanca maksimale (W)
Rezistorët në formë teli	$=5 \pm 5$	10^7
Rezistorët shtresorë metalikë	$\pm 10 \pm 10$	10^8
Rezistorët shtresorë karbonikë	$\pm 100 \pm 100$	10^7
Rezistorët shtresorë të përbërë	-500 - 500	10^{14}

Rezistorët masivë

Për qëllime të ndryshme, në elektroteknikë prodhohen rezistorët me përzierje të metaleve (blozë, oksid metalesh etj.) dhe rrëshirave izoluese, si material mbushës. Me përpunim metallurgjik të pluhurit të metaleve mund të përfitohen trupat e nxehë me të cilët mund të arriten temperatura të larta pune, gjë që nuk ka mundsuar të përfitohen rezistorë të tillë nga metalet dhe legurat e tyre. Trupat e nxehë, të përfituar në bazë të karbidit të silicit, silici në përqindje të vogël, silici i dioksudit (SiO_2) dhe oksidit i aluminit (Al_2O_3), kanë temperaturë të punës rrëth vlerës 1450°C .

Rezistorët e përfituar nga silicidi i molibdenit karakterizohen me temperaturë të punës deri në 1600°C . Gjatë këtyre temperaturave nuk vërehen kurrrfarë ndryshimesh në gjendjen e rezistorëve.

Rezistorët që duhet të kenë koeficient termik të rezistencës tepër negative, varësi të madhe të rezistencës nga tensioni etj., përfitohen nga materialet gjysmëpërcuese.

c) MATERIALET PËR PËRFITIMIN E KONTAKTEVE ELEKTRIKE

Me fjalën kontakt elektrik në elektroteknikë kuptojmë ato materiale që përdoren për përfitimin e pjesëve të aparateve të cilat drejtpërdrejt ndihmojnë për kyçjen, çkyçjen dhe mbajtjen të mbyllur të qarkut elektrik.

Njohja e fenomeneve fizike në kontakte, gjatë kyçjes dhe çkyçjes së qarqeve elektrike dhe mëkëmbjes së rrymës elektrike, ka rëndësi si për zgjedhjen e formës, ashtu dhe të materialit që duhet të përdoret për kontakte elektrike.

Veçoria themelore që e karakterizon një material, i cili përdoret për përfitimin e kontakteve elektrike, është rezistencë kaluese (transitore). Në këtë vlerë, pavarësisht se për çfarë lloj kontaktesh është fjala, ndikojnë shumë faktorë:

1. forma dhe madhësia e kontaktit,
2. lloji i materialit të përdorur,
3. forca e shtypjes që vepron në mes të kontakteve,
4. gjendja e sipërfaqes të përpunuar mekanikisht të kontaktit,
5. ndikimi i korozionit në sipërfaqe kontaktuese,
6. kushtet e punës në të cilat gjendet kontakti etj.

Sipërfaqet kontaktuese te kontaktet luajnë rol të rëndësishëm për kalimin e rrymës nga një anë e tij në tjetër. Pavarësisht nga mënyra e përpunimit të kontakteve, rryma në një kontakt vendoset nëpër disa pika të kufizuara. Në fig. 2.36. shihet si kalon rryma nëpër disa vende të kontakteve.

Vendet prekëse i paramendojmë si ura përquese nëpër të cilat mëkëmbet rryma nga një pjesë e njërit kontakt në tjetren pjesë të kontaktit tjetër.

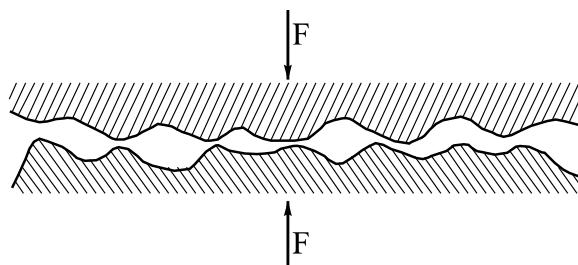


Fig. 2.36. Detaj i zmadhuar i dy sipërfaqeve kontaktuese

Madhësia e sipërfaqeve prekëse në mes të kontakteve varet nga fortësia e materialit dhe forcës së presionit:

$$S_k = \frac{F}{s_0} \quad (2.22)$$

ku: s_0 - është madhësia që e karakterizon materialin për kontakt,

F - është forca që e bënë shtypjen e dy sipërfaqeve kontaktuese.

Rezistenca kalimtare e kontakteve elektrike shprehet me barazinë:

$$R_k = r \times \sqrt{s_0} \times \frac{k}{F^n} \quad (2.23)$$

ku: k - është konstanta që i karakterizon sipërfaqet kontaktuese, ndërsa

n - është numri i pikave kontaktuese në mes të sipërfaqeve kontaktuese.

Nga barazia e sipërme, shihet se rezistenca specifike elektrike r luan rol të rëndësishëm për zgjedhjen e materialit për kontakte elektrike. Që të ketë rezistencë kaluese sa më të vogël, materiali i kontakteve elektrike duhet të ketë rezistencë specifike sa më të vogël, sepse ajo në mënyrë direkte ndikon në rritjen e rezistencës kaluese.

Edhe soliditeti mekanik i materialit luan rol të rëndësishëm në punën normale të kontakteve elektrike. Është e preferueshme që kufiri i rrjedhshmërisë së materialeve të jetë sa më i ulët, në mënyrë që për vlera të njëjta të forcës shtypëse të ketë sipërfaqe kontaktuese sa më të mëdha.

Mirëpo, shumica e materialeve që përdoren për kontakte elektrike kanë vlerë të vogël të soliditetit kufitar, dhe se për shtypje relativisht të vogla bëhet deformimi i pjesëve të kontakteve.

Detyrë themelore e kontakteve elektrike është mbyllja dhe hapja e qarkut elektrik, si dhe mbajtja për një kohë të gjatë e qarkut të mbyllur me qëllim të bartjes së energjisë elektrike me humbje sa më të vogla.

Në funksionimin normal të kontakteve, ndikim të madh ka faktori klimatik. Në rend të parë është ndikimi i oksigenit i cili mundëson oksidimin e kontakteve, duke e rritur rezistencën e sipërfaqeve kontaktuese. Lagështia e atmosferës e shpejton procesin e oksidimit, ndërsa ndotja e ambientit ndikon edhe në zhvillimin e ndonjë reaksiuni kimik në sipërfaqet kontaktuese.

Kontaktet elektrike duhet të kenë përcueshmëri termike sa më të madhe. Prandaj, shpeshherë për kontakte elektrike përdoren disa metale të pastërtë, në radhë të parë metalet fisnike (argjendi, platini e ndonjëherë edhe ari), mandej materialet rezistente ndaj ndikimeve të jashtme (volframi, nikeli dhe molibdeni e për disa raste edhe bakri).

Veçori më të mira për kontakte elektrike kanë përzierjet e metaleve, legurat e tyre, të cilat zhyten në bakër ose argjend për t'i përmirësuar shumë veçoritë e tyre elektrike sipërfaqësore.

Në elektroteknikë këto materiale klasifikohen në bazë të ngarkesave të kontakteve. Për këto ngarkesa janë konstruktuar kontaktet elektrike:

- kontaktet për ngarkesa të vogla,
- kontaktet për ngarkesa mesatare dhe
- kontaktet për ngarkesa të mëdha.

Në bazë të funksionit të tyre kontaktet ndahen në:

- a) kontaktet e përhershme,
- b) kontaktet rrëshqitëse-potenciometrike dhe
- c) kontaktet shkëputëse-ndarëse.

Funksionimi normal i të gjitha llojeve të kontakteve varet nga gjendja elektrike, mekanike dhe termike në mes të kontakteve dhe nga materiali i kontaktit.

Kontaktet për ngarkesa të vogla.

Këto kontakte përdoren në teknikën e rrymave të dobëta, p.sh. te instrumentet rregulluese dhe matëse rele të aparateve telekomunikuese etj. Tensionet e këtyre kontakteve janë nën vlerën e tensioneve ku paraqitet harku elektrik ose nën vlerën e të ashtuquajturit tensioni më i ulët i harkut elektrik, dhe ka vlerën rreth 12-22 V. Zakonisht, për këto kontakte përdoret argjendi. E metë kryesore e argjendit është se formon shtresë të hollë në sipërfaqe, sidomos me sulfid, e cila e shton rezistencën kontaktuese dhe e bënë më të papërdorshme, sa më e madhe të jetë frekuanca e mylljes dhe e hapjes së qarkut elektrik.

Mirëpo, aty ku kërkohet qëndrueshmëri më e madhe ndaj rritjes së rezistencës kontaktuese, duhet të përdoret platini dhe materialet me veçori të ngashme, si ai.

Kontaktet për ngarkesa të mesme

Materialet që përdoren për këto kontakte elektrike janë legurat e argjendit me volfram ose molibden, mandej legurat e paladiumit etj. Tensionet e punës së këtyre kontakteve arrijnë deri në 600 V dhe rrymat rreth 20 A. Disa nga këto materiale kanë një përqindje të barkit. Zakonisht, këto kontakte janë rrëshqitëse.

Kontaktet për ngarkesa të mëdha

Zakonisht, në këtë grup materialesh bëjnë pjesë legurat e argjendit me shtresë volframi dhe legurat e tij. Këto kontakte punojnë nën ndikimin e tensioneve të larta dhe rryma të cilat janë më të mëdha se 20 A:

Kontaktet e përhershme

Ky lloj kontakti përdoret në vendet ku duhet të vazhdohet përcuesi, ku ngjiten dy pjesë të aparateve elektrike etj., ndërsa detyrë kryesore e tyre është që të mundësojnë bartjen e energjisë nëpër qarkun e formuar. Gjatë punës nuk duhet të lejohet nxehja e tyre mbi temperaturat e lejueshme. Këto kushte përmbytishin kur kontaktet dimensionohen mirë.

Nëse kontaktet e përhershme i nënshtrohen ndikimit të kushteve atmosferike, ndryshken, me ç'rast u rritet rezistenca kaluese. Përveç këtë, duhet shtuar

kujdes të veçantë zgjedhjes së materialit i cili nuk korodon dhe është i qëndrueshëm ndaj reaksioneve kimike.

Për kontakte të përhershme, zakonisht përdoret bakri i pastër ose metali i bakrit që mbrohet me shtresë të hollë argjendi.

Kontaktet rrëshqitëse

Këtë lloj kontakti më së shpeshti e hasim te potenciometrat e ndryshëm, makinat rrotulluese, rezistorët e ndryshueshëm, te makinat që përdoren në ngasje elektromotorike etj. Kontaktet rrëshqitëse mundësojnë lidhje galvanike të pjesëve të ndryshme lëvizëse, ku njëri nga elementet lëvizës rrëshqet mbi elementetin tjetër. Me rastin e lëvizjes së pjesëve kontaktuese nuk shfaqet harku elektrik, edhe pse shpeshherë paraqiten shkarkime të vogla.

Rezultatet eksperimentale kanë treguar se përfitimi i kontakteve nga një material ose materiale të ndryshme, me vlera të ndryshme të temperaturës së shkrirjes, nuk japid rezultate pozitive.

Materiali që përdoret për këto kontakte është bakri dhe disa lloje të bronzës. Ndërsa për shpejtësi të mëdha lëvizëse të kontakteve më së tepërmë përdoret karboni. Për shpejtësi lëvizëse të vogla përdoren brusha të forta nga përzierjet e koksit, të cilat kanë rezistencë relativisht të madhe, ku përmirësohet komutimi.

Brushat me fortësi mesatare përdoren te makinat rrotulluese që zhvillojnë shpejtësi të mëdha, qofshin ato të rrymave njëkahëshe ose të ndryshueshme. Këto brusha përfitoohen prej elektrografitit, duke ua shtuar ndonjë material lidhës.

Brushat e buta përdoren te makinat e mëdha elektrike, sepse kanë vlerë të vogël të rezistencës elektrike specifike.

Me qëllim të përmirësimit të veçorive elektrike dhe mekanike të brushave, bëhet metalizimi i tyre.

Në kohën e sotme kanë filluar të përdoren kontakte rrëshqitëse të lëngëta prej zhivës, me të cilat po arrihen rezultate të mira.

Kontaktet shkëputëse

Ky lloj kontakti përdoret në rastet kur është e nevojshme të bëhet mbyllja dhe hapja e qarkut elektrik, edhepse nëpër to ende rrjedh një sasi e rrymës, me vlerë më të vogël se një amper e deri në disa dhjetëra kiloamperësh, varësisht nga kontaktet dhe rastet të ndryshme. Me hapjen e kontakteve, shkaktohet zvogëlimi i numrit të vendeve puqëse te të cilat shumë shpejt rritet dendësia e rrymës. Në vendin e fundit, ku ende ka mbetur kontakti i mbyllur, rryma ka dendësi aq të madhe, saqë bëhet paraqitura e urës së lëngët e, mandej edhe avullimi, për shkak të temperaturave të larta, kur humbet lidhja metalike.

Pas shkëputjes, nën ndikimin e fushës elektrike, paraqitet harku elektrik në mes të kontakteve të ndara. Pjesët ku paraqitet harku elektrik që përcillet me temperaturat e larta, fillojnë të shkrihen. Në qoftë se kemi të bëjmë me rrymën njëkahëshe, paraqitet bartja e grimcave të elektrizuara pozitive në drejtim të atyre

negative te elementet kontaktuese. Te rrymat alternative bëhet erozioni i të dy pjesëve kontaktuese.

Kontaktet shkëputëse dimensionohen për ngarkesa të vogla, të mesme dhe të mëdha. Është karakteristike e kontakteve shkëputëse të ngarkesave të vogla, se shumë pak shpenzohen dhe se te to nuk paraqitet harku elektrik.

Në përgjithësi, kontaktet shkëputëse duhet të janë shumë rezistente ndaj reaksioneve kimike që mund të zhvillohen me rastin e paraqitjes së harkut elektrik dhe temperaturave të larta.

Kontaktet shkëputëse përbëhen, kryesisht, prej bakrit dhe argjendit. Shkaku i përdorimit të këtyre metaleve është se kanë veçori të mira elektrike e deri diku edhe mekanike, në një anë, dhe në anën tjetër, janë shumë më të lira se sa platinë, ari dhe vanadi, të cilët më mirë i përmbushin kërkuesat e punës së këtyre kontakteve.

Kontakteve shkëputëse, të cilat përbëhen prej bakrit dhe argjendit, shpesherë u mvishet një shtresë e hollë e metaleve fisnike për t'ua përmirësuar veçoritë mekanike dhe qëndrueshmërinë ndaj ndikimeve të jashtme.

Meqenëse ari është metal i butë, ai shpesh përdoret si llidhës me metale tjera, sidomos me platinin. Legura më e përshtatshme për këto kontakte është platinë-iridiumi, e cila ka veçori të mira mekanike dhe rezistencë specifike elektrike r konstante.

Në kushte të këqija atmosferike, me rezistencë të vogël dhe stabile, përdoret edhe legura e arit, argjendit dhe e niklit.

Te këto kontakte rol të rëndësishëm luan forma dhe konstruksioni i tyre. Meqenëse shtypjet e punës janë të vogla, dhe për të qenë rezistenca transitore sa më e vogël, sipërfaqet kontaktuese duhet të janë të vogla.

Në fig. 2.37. janë paraqitur disa forma të kontakteve shkëputëse elektrike.

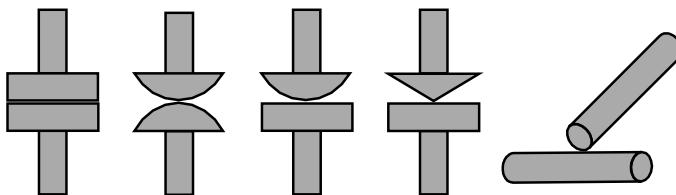


Fig.2.37. Format e kontakteve shkëputëse për ngarkesa të vogla

Forma e kontakteve shkëputëse për ngarkesa të mesme dhe të mëdha ndryshon nga forma e kontakteve për ngarkesa të vogla. Në fig. 2.38. janë paraqitur format e këtyre kontakteve.

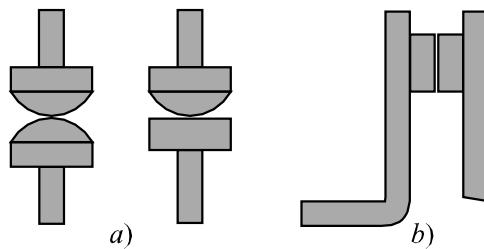


Fig. 2.38. Format e kontakteve shkëputëse për:

- a) ngarkesa të mesme,
- b) ngarkesa të mëdha.

d) MATERIALET PËR PËRFITIMIN E SIGURESAVE SHKRIRËSE

Aparati më i vjetër dhe më i thjeshtë mbrojtës, i cili përdoret në qarqet elektrike, është siguresa shkrirëse. Kjo reagon në momentet e paraqitjes së mbingarkesave, ose me rastin e paraqitjes së lidhjeve të shkurtëra. Pikërisht, në këto momente bëhet shkrirja e elementit shkrirës, me ç'rast çkyçet - hapet qarku elektrik.

Procesi i reagimit të siguresave elektrike bëhet në disa faza:

- a) nxehet elementi shkrirës deri në temperaturën e shkrirjes,
- b) shkrihet dhe avullohet elementi shkrirës,
- c) shfaqet dhe shuhet harku elektrik dhe vendosen kushtet izoluese në hapësirën ku ka qenë i vendosur elementi shkrirës.

Koha për të cilën arrihet temperatura e shkrirjes për një rrymë të dhënë të elementit përkatës, varet para së gjithash prej konstruksionit të siguresës dhe materialit të përdorur për to, në të cilën hyjnë edhe vlerat e nxehtësisë specifike, temperaturës së shkrirjes dhe rezistencës specifike elektrike.

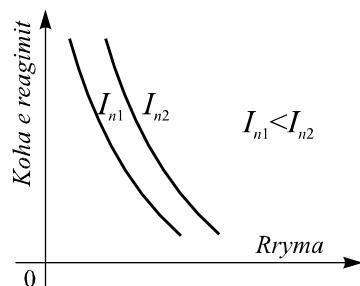


Fig.2.39. Karakteristika mbrojtëse e siguresave elektrike

Për një konstruksion të caktuar të siguresave, koha për shkrirjen e përquesit është ngusht e lidhur me intensitetin e rrymës së vendosur. Në figurën 2.39. është paraqitur varësia e rrymës me kohën e shkrirjes.

Materiali më i përshtatshëm për siguresa shkrirëse është argjendi, sidomos për siguresa të tensionit të lartë që nuk punojnë me rryma të mëdha. Material i përshtatshëm është edhe bakri dhe ndonjë lelgurë e tij, që të mos i nënshtroheshin korozionit në rastin e temperaturave të larta. Mirëpo, edhe kur përdoret bakri për siguresa, atij i vendoset një shtresë e hollë e argjendit.

Materialet tjera për siguresa nuk janë treguar të mira.

Varësisht nga objekti që mbrohet me anën e siguresave, kërkohet që ato të reagojnë më shpejt (karakteristika më e pjerrët e rrymës ndaj kohës së shkrirjes), ose më ngadalë (karakteristika më e shtrimeve e rrymës me kohën e shkrirjes), ndërsa siguresat quhen:

- siguresat e shpejta dhe
- siguresat e ngadalshme - inerte.

Siguresat e shpejta duhet të reagojnë shpejt edhe për ngarkesa të vogla, në mënyrë më efikase të mbrojnë aparatin përkatës, i cili është i ndjshëm, p.sh., siç janë elementet gjysmëpërquese të teknikën e rrymave të dobëta.

Argjendi që përdoret për këto siguresa shkrihet shumë shpejt duke bërë kështu mbrojtjen efikase të aparateve.

Siguresat e ngadalshme mundësojnë që për një kohë të caktuar ti durojnë ngarkesa e madhe, e të reagojnë atëherë kur mbingarkesat të kenë ekzistuar për një kohë më të gjatë se që është e lejueshme. Por nga këto siguresa kërkohet të reagojnë shumë shpejt me rastine lidhjeve të shkurtëra. Kërkesa të tillë kemi me rastin e lëshimit të elektromotorit në punë.

Reagim i ngadalshëm te këto siguresa arrihet me anën e elementit shkrirës me sekson të ndryshueshëm, te të cilët në pjesët e ngushta vendoset materiali i cili shkrihet lehtë. Elementi shkrirës, shpeshherë mbrohet me anën e shiritave të veçanta bakri ose te legura e tij.

Në fig. 2.40. janë dhënë elementet e nxehta për siguresa elektrike të tensionit të ulët, të reagimit të shpejtë ose të ngadalshëm.

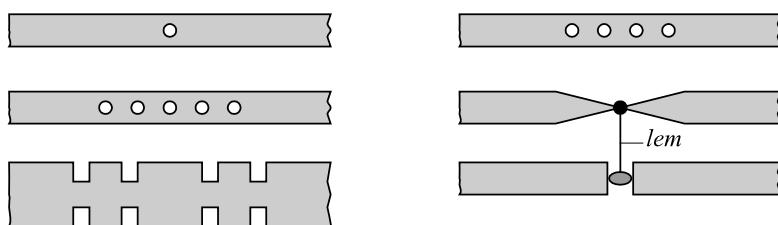


Fig. 2.40. Elementet e ngrohta për siguresa të ndryshme të tensionit të ulët.

e) MATERIALET PËR BIMETALE

Bimetalet paraqesin lidhje të forta mekanike në mes dy metaleve ose legurave, te të cilat koeficienti i bymimit termik është veçanërisht i ndryshueshëm.

Me ndryshimin e temperaturës, në krahasim me temperaturën në të cilan janë realizua bimetalet, pjesët e bimetalete filojnë të zgjaten në mënyra të ndryshme. Mund të ndodhë edhe shkurtimi-tkurrja jo e njëjtë e tyre. Me rastinë ngritjes së temperaturës, bimetalet fillojnë të lakohen në anën e metalit që ka koeficient termik të bymimit linear më të vogël, ndërsa gjatë ftohjes, lakimi i bimetalete bëhet në anën e kundërt (Fig. 2.41).

Nxehjen e bimetalit mund ta bëjmë duke e zhytur atë në një medium të nxehtë, temperatura e të cilit ndryshon, ose me vendosjen e rrymës nëpër bimetal.

Bimetali përdoret për rregullimin e temperaturës si element mbrojtës që ka veprim të ngadalësuar te aparatet e tensionit të ulët, të lartë etj.

Përfitimin e bimetalete më së shumëti përdoren legurat e hekurit dhe të nikelite me rreth 36% Ni, si shtresë me koeficient termik të vogël, rreth $10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Poashtu përdoret bakri, konstantani, nikeli, legura baker-nikel, hekur-nikel-mangan etj.

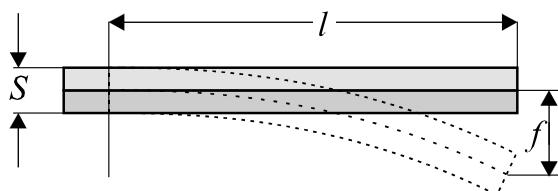


Fig.2.41. Lidhja bimetalike

Bimetalet prodhohen në formë shiritash me trashësi prej 0,1 - 0,2 mm dhe gjerësi 2 - 250 mm.

f) MATERIALET PËR TERMOÇIFTË

Termoçiftët paraqesin qark nga dy materiale të ndryshme (figura 2.42). Nëse skajet e këtyre materialeve gjenden në tëmperatura të ndryshme, në qark do të forca termoelektromotore (ftem) dhe do të vendoset rrryma elektrike. Është vërtetuar eksperimentalisht se forca termoelektromotore varet nga lloji i materialit të termoçiftit dhe nga ndryshimi i temperaturës në skaje lidhëse.

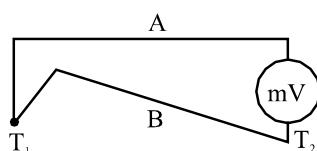


Fig 2.42. Paraqitja skematike e termoçiftëve

Kur temperatura e në lidhje është e njohur, në bazë të vlerave matëse të (f_{tem}) mund të caktohet temperatura e skajit tjetër lidhës.

Materialet që përdoren për përitimin e termoçifteve duhet të kenë vlerë sa më të madhe të (f_{tem}) relative dhe temperaturë sa më të lartë të shkrirjes. Me termoçifte mund të maten temperatura në interval prej -250°C deri 3000°C

Sipas materialit prej të cilit përfitohen, termoçiftët mund të ndahëن në :

Termoçiftët e materialeve jofisnike

Këta janë termoçiftët: Cu-konstantan, Fe-konstantan, Kromel-alumel, Cu-kopel, kromel-kopel, nikelkrom -nikel etj. Temperatura maksimale e punës së tyre është nën 1200°C.

Termoçiftët e materialeve fisnike

Nga ky grup, më së shumëti përdoret platin bashkë me legurat e platinit-rodiumit (90% Pt + 10% Rh ose 87% Pt + 13 Rh). Temperatura maksimale e punës së këtyre termoçiftëve është reth 1600°C.

Termoçiftët e tipeve speciale

Në këtë grup hyjnë termoçiftët me temperaturë të punës edhe deri në 3000°C. Këta janë termoçiftët e volframit dhe molibdenit (75% W + 25% Mo).

Në Fig. 2.43. është është dhënë varësia e forcës termoelektrike nga ndryshimi i temperaturës së skajeve lidhëse të materialeve që përdoren për termoçifte.

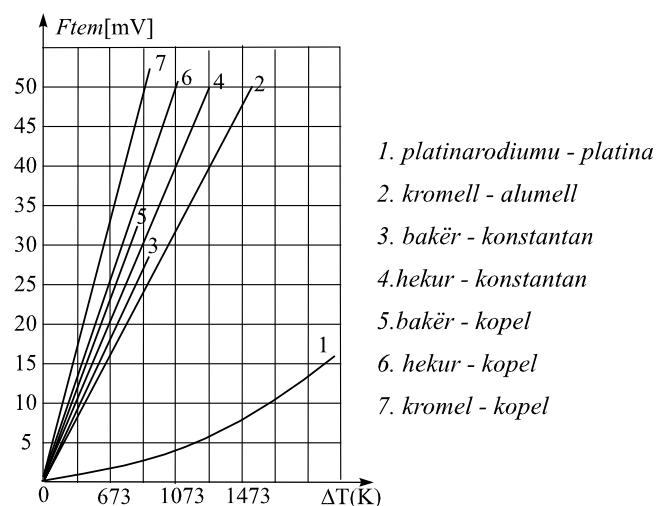


Fig.2.43. Varësia e f_{tem} nga ndryshimi i temperat.së lidhjeve të termoç., e dhënë për mater.që përdoren më shpesh.

2.8. PËRCAKTIMI EKSPERIMENTAL I KONCETRIMIT DHE I LËVIZSHMËRISË SË ELEKTRONEVE TË LIRA TE MATERIALET PËRÇUESE

Duke i studiuar veçoritë elektrike të materialeve, Holli (Hall) një efekti të veçantë që më vonë u quejt Efekti i Hollit.

Këtë efekt do ta shpjegojmë duke e marrë një mostër materiali përçues të formës së paralelopipedit këndëdrejtë në të cilin nën veprimin e përhershëm të fushës së jashtme elektrike, $\mathbf{E} = E_x \hat{x}$ ($E_x > 0$), vendoset rryma I (Fig. 2.44c).

Po të marrim që rryma shpërndahet në mënyrë të njëtrajtshme nëpër tërë prerjet e mostrës që janë paralele me rrafshin $y0z$, intensiteti i vektorit të dendësisë së rrymës do të jetë:

$$J = J_x = \frac{I}{a \times b} \quad (2.24)$$

ndërsa të gjitha pikat e një prerje të njëjtë të mostrës paralel me rrafshin $y0z$ janë në potencial të njëjtë.

Kur të vendosim mostrën në fushën homogjene magnetike të induksionit \mathbf{B} , që është normal me dendësinë (vektorin) e rrymës \mathbf{J} dhe i orientuar kah boshti $0z$ (Fig.2.44a), mbi elektronet e lira, drejtimi i të cilave ekziston në mostër, para vendosjes së mostrës në fushë magnetike, (Fig.2.44b), do të veprojë forca magnetike:

$$\mathbf{F} = -e(\mathbf{v}_e \times \mathbf{B}) \quad (2.25)$$

Nën veprimin e kësaj force elektronet do të lëvizin në drejtim të anës së mostrave A_1, A_2, A_3, A_4 , (Fig. 2.44b). Për këtë arsy, jonet pozitive të lidhura për nyjet e rrjetave kristalore, do të mbeten në anën e mostrës A'_1, A'_2, A'_3, A'_4 .

Për shkak të lëvizjes së elektroneve, anët e mostrës A_1, A_2, A_3, A_4 , do të elektrizohen negativisht, ndërsa A'_1, A'_2, A'_3, A'_4 , pozitivisht. Kjo ndarje e elektrizimeve në mostër do të krijojë fushë elektrike \mathbf{E}_H , dhe në elektrone, përveç forcës magnetike $-e(\mathbf{v}_e \times \mathbf{B})$, do të veprojë edhe forca elektrike $\mathbf{F} = -e \mathbf{E}_H$. Kur këto dy forca ekuilibrohen, atëherë procesi i grumbullimit të elektrizimeve negative dhe pozitive në anët e kundërtatë të mostrës do të përfundojë (Fig.2.44c). Atëherë do të kemi:

$$-e(\mathbf{v}_e \times \mathbf{B}) - e \mathbf{E}_H = 0 \quad (2.26)$$

ose

$$\mathbf{E}_H = -(\mathbf{v}_e \times \mathbf{B})$$

Paraqitura e fushës \mathbf{E}_H në mostër, bashkë me rrymën e fushës magnetike, paraqet efektin e Hollit. (Kështu është përshkruar efekti i Hollit te ato materiale te të cilat bartësit e lirë të elektrizimeve janë vetëm elektronet).

Meqenëse vektori i dendësisë së rrymës në mostër është:

Kapitulli

3

MATERIALET IZOLUESE

3.1. MATERIALET DIELEKTRIKE

Materialet dielektrike shërbejnë për izolimin e pjesëve të ndryshme përquese të cilat gjenden nën tension, me qëllim mbrojtjeje, qoftë të personelit që është i lidhur drejtpërdrejti me aparatin elektrik, qoftë të mbrojtjes së materialit përques nga ndikimet e jashtme. Këto materiale kanë afinitet ta mbajnë rrymën elektrike brenda kufijve të përquesve. Në këtë mënyrë pengojnë humbjen e energjisë dhe i mbrojnë njerëzit nga kontaktet direkte me përques në të cilët është mëkëmbur rryma elektrike.

Materialet dielektrike shpeshherë quhen edhe materiale izoluese. Një ekivalencë e tillë ekziston edhe pse ka raste kur kjo ekivalencë nuk është e mundur.

Dielektrikët idealë kanë rezistencë pambarimisht të madhe, ndërsa përqueshmëria e tyre është e barabartë me zero. Mirëpo, dihet se çdo material, qoftë përques i mirë apo dielektrik, në vetvete ka një sasi elektronesh të lira të cilat, varsisht nga forcat e mbrendshme lidhse të atomeve përkatëse përcaktojnë karakterin e materialit përkatës përques ose dielektrik.

Zakonisht, me materiale dielektrike kuptojmë ato materiale që kanë përqueshmëri specifike elektrike 10^6 Sm^{-1} , ndërsa dielektrik ideal është ai që ka përqueshmëri specifike elektrike të barabartë me 10^{16} Sm^{-1} .

Kushtet atmosferike dhe ndotjet industriale ndikojnë në masë të madhe në veçoritë e materialeve dielektrike. Veçanërisht, ndotja e ambientit zvoglon

rezistencën e materialeve dielektrike dhe kështu mund të prishet lehtë gjendja në vetë strukturën e materialit dielektrik.

3.1.1. MATERIALET DIELEKTRIKE NË FUSHËN ELEKTRIKE

Grimcat e materialeve dielektrike, në pikëpamje elektrike mund të janë neutrale ose të elektrizuara. Bartësit e ngarkesave elektrike mund të janë elektronet, jonet, molekulat, grupe molekulash dhe grimcat makroskopike.

Kjo bartje e ngarkesave elektrike paraqitet si rezultat i ndikimit termik, fushës elektrike, reaksioneve kimike etj.

Nën ndikimin e fushës elektrike mbi grimcat e elektrizuara të materialeve veprojnë forcat mekanike $F=QE$. Fenomenet elektrike të cilat paraqiten te materialet dielektrike varen nga numri dhe lëvizshmëria e grimcave të elektrizuara.

Përderisa te metalet, bartësit e ngarkesave praktikisht nuk varen prej strukturës së rrjetit, me ç'rast elektronet valente lëvizin lirisht nëpër të, në materialet dielektrike lëvizja e grimcave të elektrizuara është e kufizuar, sepse shumica e tyre është ngushtë e lidhur me ambientin përreth në një shkallë të caktuar dhe, se për aktivizimin e tyre duhet shpenzuar një sasi bukur të madhe të energjisë.

Te materialet dielektrike fenomenet elektrike janë shumë më të komplikuara se sa te metalet. Sidomos marrëdhënie të komplikuara elektrike kanë materialet dielektrike shumatomëshe. Marrëdhëni e madhësive elektrike te dielektrikët njëatomësh janë të thjeshta.

Vetë atomi sillet si grimcë neutrale në pikëpamje elektrike, sepse ngarkesa elektrike pozitive e bërthamës e barabartë me Z, ku Z - është numri i protoneve në bërthamë, është e njëjtë me ngarkesën elektrike të elektroneve, por me elektricitet të kundërt, të cilat gjenden përreth bërthamës së atomit.

Përveç kësaj, sasi kompensuese të elektrizimeve të kundërtë në atom, nëse nuk vepron fusha e jashtme elektrike, është përputhja e qendrave të elektrizimit në të cilat është e koncentruar e tërë ngarkesa e një polariteti.

Si rrjedhim, atomet nuk formojnë dipole elektrike dhe se për këtë shkak atomet e tilla i quajmë jopolare.

Në rastin e strukturës së materialeve izoluese me molekula shumatomike veçohen dy raste:

1. Rasti i parë është te molekulat që përkundër mosprishjes së neutralitetit elektrik (sasia e njëjtë e elektricitetit negativ dhe pozitiv), në mungesë të prezencës së fushës së jashtme, për shkak të simetrisë së grupeve të atomeve, përputhen edhe qendrat e elektrizimeve dhe se materiali i kësaj strukture është jopolar (Fig. 3.1.).
2. Rasti i dytë është te molekulat, te të cilat edhe përkundër mosprishjes së neutralitetit elektrik (gjendjes elektrike neutrale) qendrat e elektrizimit nuk

përputhen. Molekulën e tillë mund ta paraqesim si një dipol elektrik dhe materialet e tilla janë me strukturë polare. Meqenëse qendrat e elektrizimit janë të larguara për distancën d , te këto materiale paraqiten momente elektrike të molekulave të dipolit, i cili shprehet si:

$$m=Qd \quad (3.1)$$

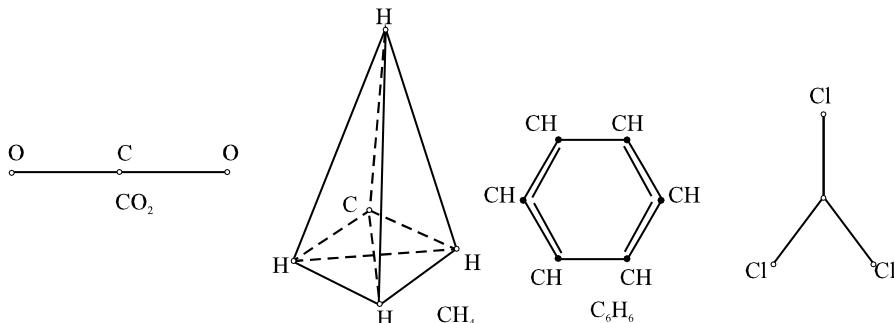


Fig.3.1. Paraqitura skematike e molekulave jopolare si: CO_2 , CH_4 , C_6H_6 , BCl_3

Në Fig. 3.2. janë paraqitur disa lloje molekulash josimetrike. Duhet të veçohet rasti i benzolit me molekulë jopolare, kur me zëvendësimin e një atomi të hidrogenit me atomin e klorit përfitohet klorbenzoli (C_6H_5Cl), ku tani prishet simetria dhe molekula bëhet polare.

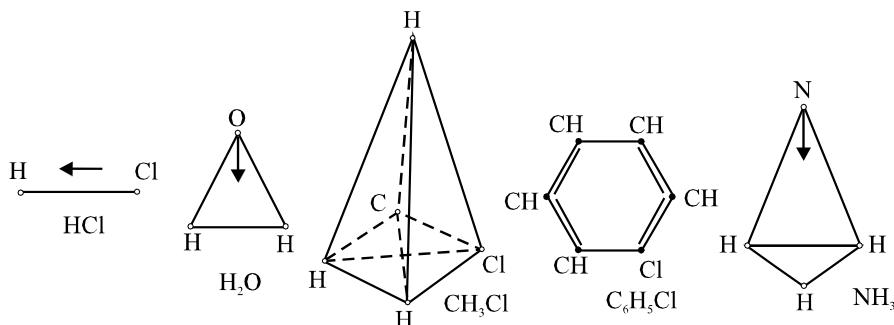


Fig. 3.2. Paraqitura skematike e molekulave polare të disa bashkëdyzimeve kimike si: HCl , H_2O , CH_3Cl , C_6H_5Cl , NH_3 etj.

Ndonëse ekzistojnë dipole të orientuara te materialet polare (shigjeta), polarizimi makroskopik për mungesë të ndikimit të fushës së jashtme nuk vërehet. Mu për këtë, materiali i tillë për ambientin ku gjendet është elektrikisht neutral, sepse drejtimet e vektorit të momentit të dipolit mjanë të shpërndara në hapësirë në mënyrë kaotike.

Kur materialet e përmendura strukturash të ndryshme i nënshtrohen ndikimit të fushës elektrike, ato reagojnë në formë të ndryshme. Si rrjedhim i këtij reagimi, materialet kanë veçori të ndryshme elektrike: si permetivitetin ϵ , humbjet dielektrike $\tg\sigma$ soliditetin dielektrik etj.

3.1.2. POLARIZIMI I DIELEKTRIKUT

Kur materiali izolues vendoset në fushë elektrike, të gjitha grimcat elementare të elektrizuarat në atom dhe molekula i nënshtrohen ndikimit të forcave elektrostatike. Kjo ngjan në tërë materialin dielektrik prej shtrese në shtresë. Gjatë këtij veprimi, bërthamat e elektrizuarat pozitivisht zhvendosen në drejtim të fushës, ndërsa elektronet, që nuk janë të lira, lëvizin në drejtim të kundërt.

Këto zhvendosje janë shumë të vogla, sepse ndikimit të forcave elektrostatike u kundërvihen forcat e brendshme të atomeve dhe molekulave. Nëse intensiteti i fushës elektrike është konstant, mbas një kohe të caktuar grimcat do të ndërpresin lëvizjen e tyre. Rezultat i ndikimit të fushës është që molekulat neutrale, ose atomete neutrale bëhen polare. Nga kjo, ky fenomen e ka marrë emrin polarizim i dielektrikkut.

Në përgjithësi, dallojmë këto lloje polarizimesh të materialeve dielektrike:

- polarizimi elektronik,
- polarizimi jonik,
- polarizimi i orientuar ose dipol.

Polarizimi elektronik është prezent te të gjitha materialet dielektrike që i nënshtrohen veprimit të fushës së jashtme elektrike. Me veprimin e forcave elektrostatike qendrat e elektrizimeve të atomeve zhvendosen për madhësinë d , duke krijuar në atom dipolet me moment:

$$\mathbf{p} = Z \mathbf{e} \mathbf{d} \quad (3.2)$$

Në Fig 3.3. janë paraqitur skematikisht zhvendosjet e qendrave të elektrizimit të atomit.

Që të mund të karakterizohet gjendja e dielektrikut të polarizuar në pikëpamje makroskopike, merret në përdorim i ashtuquajturi vektor i polarizimit, i definuar si:

$$\mathbf{P} = \frac{\mathbf{\hat{a}} \mathbf{p}}{DV} \quad (ne \text{ } DV) \quad (3.3)$$

ku $\mathbf{\hat{a}} \mathbf{p}$ -paraqet shumën vektoriale të momenteve të të gjitha dipoleve në elementin e vëllimit DV .

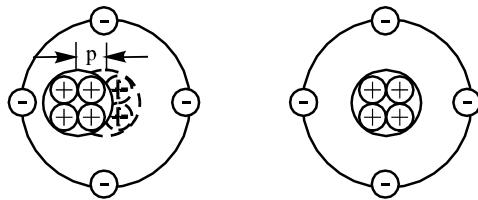


Fig.3.3. Paraqitura skematike e polarizimit të atomeve:

- a) gjendja e pangacmuar e atomit,
- b) gjendja e ngacmuar e atomit.

Vektori i polarizimit elektronik te dielektriku jopolar është:

$$\mathbf{P}_e = n \mathbf{p} \quad (3.4)$$

ku n - paraqet dendësinë e molekulave të dielektrikut, duke e marrë për bazë orientimin, ndërsa \mathbf{p} - paraqet momentin e dipolit të njërit prej tyre.

Momenti i dipolit gjithsesi varet nga ndikimi i fushës së jashtme, ndërsa për zhvendosje të vogla të qendrave të elektrizimeve mund të merret se është proporcional me intensitetin e fushës. Prandaj, momenti i dipolit i shkaktuar nga polarizimi elektronik mund të paraqitet me barazinë:

$$\mathbf{p} = \alpha_e \mathbf{E} \quad (3.5)$$

ndërsa vektori i polarizimit:

$$\mathbf{P} = n \alpha_e \mathbf{E} \quad (3.6)$$

ku α_e - paraqet konstantën e materialit, të cilën e quajmë koeficienti i polarizimit elektronik.

Polarizimi elektronik vendoset te materialet për 10^{-15} S dhe është prezent në të gjitha materialet dielektrike. Materialet që kanë vetëm këtë lloj të polarizimit janë: numri më i madh i gazeve (gazet inerte, mandej N_2 , H_2 , O_2 , CO_2 etj.), lëngjet organike me strukturë simetrike (vaji i transformatorit, benzina) dhe materialet neutrale të ngurta (parafina, naftalina, polistiroli, polizobutileni, masat plastike të grupit të etilenit, përvëç PVC, etj.).

Meqenëse struktura e atomeve nuk varet nga temperatura, si rrjedhim i kësaj edhe polarizimi elektronik nuk varet prej temperaturës.

Te dielektrikët me strukturë jonike, molekulat e të cilëve përbajnë jone, mund të shkaktohet zhvendosja e joneve pozitive në krahasim me ato negative. Kjo zhvendosje e joneve paraqet polarizim jonik. Analogjikisht me polarizimin elektronik, vektori i polarizimit jonik është:

$$\mathbf{P}_j = n \alpha_j \mathbf{E} \quad (3.7)$$

Koha e nevojshme për vendosjen e polarizimit jonik është 10^{-12} - 10^{-13} s, ndërsa konstanta α_j - paraqet koeficientin e polarizimit jonik. Meqenëse ndikimi i temperaturës në forcat e interaksionit është i vogël (në molekula), për temperaturat

jo shumë të larta, edhe vlera e koeficientit të polarizimit jonik α_j gati që nuk varet prej temperaturës në të cilën ndodhet dielektriku.

Duhet të theksohet se molekulat e materialeve të ndryshme janë të polarizuara edhe pa ndikimin e fushës elektrike.

Paraqitura skematike e polarizimit jonik është ilustruar në Fig. 3.4, ku është paraqitur zhvendosja e ngarkesave për distanca Δa .

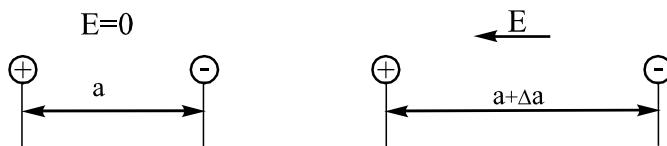


Fig.3.4. Paraqitura skematike e polarizimit jonik.

Polarizimi jonik është karakteristik për kristale me lidhje jonike (soda, oksidi i aluminit, NaCl, KCl etj.) dhe gjithmonë është i përcjellë edhe me polarizimin elektronik dhe së bashku paraqesin polarizimin e deformimit.

Koeficienti i përgjithshëm i polarizimit paraqitet si shumë e polarizimit jonik dhe e atij elektronik:

$$\alpha_d = \alpha_e + \alpha_j \quad (3.8)$$

Polarizimi i orientuar ose dipol është karakteristik për molekula polare. Në të vërtetë, kur molekulat polare, të cilat posedojnë momente dipole vetjake, gjenden nën ndikimin e fushës elektrike, bëhet orientimi i momenteve dipole në drejtim të fushës. Gjendja e tillë është paraqitur në Fig. 3.4.

Koha e nevojshme për vendosjen e polarizimit të orientuar është $\sim 10^{-10}$ s. Ky lloj i polarizimit është karakteristik për disa rrëshira termoreaktive etj.

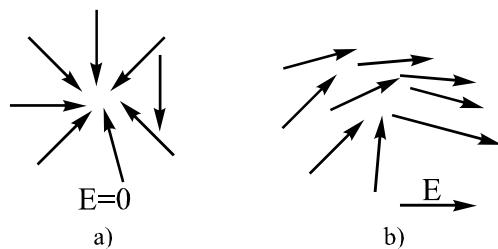


Fig. 3.5. Paraqitura skematike e polarizimit të orientuar:

- a) - gjendja e pangacmuar,
- b) - gjendja e ngacmuar.

Ngase bëhet fjalë për lëvizjen e molekulave që kanë lëvizje termike të konsiderueshme, te polarizimi i orientuar nuk do të orientohen të gjitha molekulat

ekzistuese, por do të vendoset një ekuilibrim në mes të ndikimeve. Aftësia e polarizimit të dielektrikut në këtë rast do të jetë proporcionale me madhësinë e momentit vetjak te dipoli dhe në proporcion të zhdrojtë me temperaturën. Vlera e koeficientit të polarizimit të orientuar shprehet me:

$$\alpha_0 = \frac{m^2}{3kT} \quad (3.9)$$

ndërsa vektori i polarizimit të orientuar është i shprehur me:

$$\mathbf{P}_0 = n \alpha_0 \mathbf{E} = \frac{m^2 n \mathbf{E}}{3kT} \quad (3.10)$$

ku: k - është konstanta e Boltzmanit,

T - temperatura absolute e shprehur në (K).

Te dielektrikët polarë bën që njëkohësisht të paraqiten të tri format e polarizimit: elektronik, jonik dhe i orientuar. Polarizimi i tërë do të jetë:

$$\mathbf{P} = n(\alpha_e + \alpha_j + \alpha_0) \mathbf{E} = n(\alpha_d + \frac{m^2}{3kT}) \mathbf{E} = \mathbf{P}_d + \mathbf{P}_0 \quad (3.11)$$

Nga elektroteknika teorike dihen marrëdhëniet e vektorëve të \mathbf{D} , \mathbf{E} dhe \mathbf{P} . Këto marrëdhënie janë:

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}_0 = \epsilon_0 \epsilon_r \mathbf{E} \quad (3.12)$$

Në rastin e përgjithshëm shkruhet për polarizimin e tërë:

$$\frac{\mathbf{P}}{\epsilon_0 \mathbf{E}} = \epsilon_r - 1 = c = n(\alpha_d + \frac{m^2}{3kT}) \frac{1}{\epsilon_0} \quad (3.13)$$

ku: ϵ_r - paraqet permetivitetin relativ, ndërsa

c - është susceptibiliteti elektrik i dielektrikut.

Në polarizimin e orientuar bën pjesë edhe polarizimi termik. Në këtë rast, janë me lëvizje kaotike nën veprimin e fushës së jashtme orientohen dhe rregullohen. Gjendja e tillë është paraqitur në Fig 3.6.

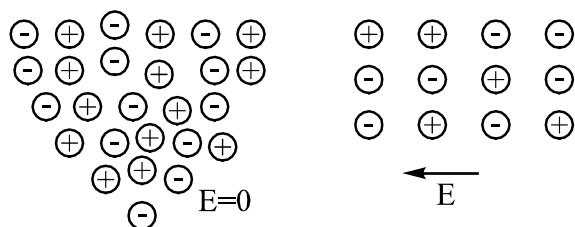


Fig.3.6. Paraqitura skematike e polarizimit termik (temperaturë-jonike)

Barazia e mësipërme te dielektrikët polarë nuk ka në vete ndikimin e fushës së dipoleve elektrike në shpërndarjen e fushës së jashtme. Nëse duam të marrim në konsiderim veprimin i tyre, në vend të intensitetit të fushës E duhet të figurojë shuma e fushës së jashtme dhe mikrofusha. Sidomos këtë duhet marrë në konsiderim për trupat e ngurtë.

Proceset e polarizimit, të cilat janë shqyrtuar deri më tash, vlejnë kur dielektriku i nënshtrohet veprimit të fushës stacionare. Duke e vendosur materialin dielektrik nën veprimin e fushës së ndryshueshme elektrike, paraqiten edhe efekte të reja që edhe më shumë mundësojnë që dielektrikët e ndryshëm të reagojnë në forma të ndryshme. Në rend të parë, ndryshimet janë në kohën e paraqitjes së polarizimit jonik dhe elektronik, në njëren anë, dhe polarizimit të orientuar, në anën tjetër, si dhe për shkak të fërkimit ekzistues me rastin e zhvendosjes së molekulave me rastin e polarizimit të orientuar e jo për shkak të polarizimit jonik dhe atij elektronik.

Meqenëse koha e nevojshme përfundimin e procesit të polarizimit elektronik dhe jonik është shumë e shkurtër, ndryshimet në krahasim me polarizimin në fushën stacionare paraqiten te frekuencat e larta. Mirëpo për polarizimin e orientuar ndryshimet vërehen edhe përfrekuencia që janë interesante për elektroteknikë. Nëse kësaj ia shtojmë edhe ndikimin e fërkimit, si fenomen i cili paraqitet me rastin e polarizimit të orientuar dhe është i përcjellë me humbje të konsiderueshme të energjisë gjatë paraqitjes së serishme të polarizimit, mund të përfundojmë se mjafton të shqyrtohet vetëm polarizimi i orientuar.

Për të paraqitur gjendjen e materialit dielektrik, kur te ai paraqitet polarizimi i orientuar si rezultat i veprimit të fushës alternative, shërben ekuacioni diferencial:

$$\frac{d\mathbf{P}_0}{dt} = \frac{1}{t} (\epsilon_0 C_0 \mathbf{E} - \mathbf{P}_0) \quad (3.14)$$

ku: C_0 - paraqet kontributin e polarizimit të orientuar të susceptibilitetit elektrik,

t -është konstanta kohore e relaksacionit.

Forma më e shpeshtë e fushës së ndryshueshme është ajo periodike që ka frekuencë këndore w . Në raste të tillë zgjidhja e ekuacionit të sipërmendur në formën komplekse është:

$$\mathbf{P}_0 = \frac{\epsilon_0 C_0}{1 + j\omega t} \mathbf{E} \quad (3.15)$$

ndërsa polarizimi i tërë i materialit dielektrik:

$$\mathbf{P} = \mathbf{P}_d + \mathbf{P}_0 = \epsilon_0 \tilde{C} \tilde{C}_d + \frac{C_0}{1 + j\omega t} \tilde{\mathbf{E}} = \epsilon_0 C \mathbf{E} \quad (3.16)$$

Nëpërmjet susceptibilitetit elektrik kompleks mund të nxiret barazia për përmetivitetin relativ kompleks:

$$\epsilon_r = 1 + c = 1 + c_d + \frac{c_0}{1 + j\omega t} \quad (3.17)$$

ose me komponenten reale dhe imagjinare të tij:

$$\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' \quad (3.18)$$

ku:

$$\epsilon_r' = 1 + c_d + \frac{c_0}{1 + (\omega t)^2}$$

dhe

$$\epsilon_r'' = \frac{c_0 \omega t}{1 + (\omega t)^2} \quad (3.19)$$

Dy barazitë e fundit tregonë varësinë e permetivitetit relativ dielektrik nga frekuanca. Kur frekuanca është e barabartë me zero ose pambarim, humbet komponenta imagjinare e permetivitetit relativ dielektrik. Në raste të tilla do të kemi:

$$\epsilon_{r0} = 1 + c_d + c_0, \quad \text{per } \omega = 0 \quad (3.20)$$

$$\epsilon_{r\infty} = 1 + c_d, \quad \text{per } \omega \rightarrow \infty \quad (3.21)$$

Për permetivitetin kompleks mund të shkruhet barazia:

$$\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' = \epsilon_{r\infty} + \frac{\epsilon_{r0} - \epsilon_{r\infty}}{1 + j\omega t} \quad (3.22)$$

ndërsa me komponenten imagjinare dhe reale:

$$\begin{aligned} \epsilon_r'' &= \frac{(\epsilon_{r0} - \epsilon_{r\infty})\omega t}{1 + (\omega t)^2}, \\ \epsilon_r' &= \epsilon_{r\infty} + \frac{\epsilon_{r0} - \epsilon_{r\infty}}{1 + (\omega t)^2} \end{aligned} \quad (3.23)$$

Në Fig. 3.7. janë paraqitur varësitë e ϵ_r' , ϵ_r'' dhe tgdnë funksion të frekuencës dhe kohës së relaksacionit.

Për vlerën komplekse të permetivitetit relativ mund të shkruhet edhe barazia komplekse për vektorin e zhvendosjes \mathbf{D} :

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \mathbf{E} = \epsilon_0 (\epsilon_r' - j\epsilon_r'') \mathbf{E} \quad (3.24)$$

Barazia e fundit tregon se vektori i zhvendosjes përbëhet prej dy komponenteve, njëra në fazë me intensitetin e fushës \mathbf{E} , ndërsa komponenta tjeter është e shfazuar (vonohet) për 90° . Prezenca e komponentes së dytë, është e shfazuar, ka si rrjedhim lirimin e energjisë në dielektrik. Duke e ditur se energjia e liruar në njësi vëllimore është:

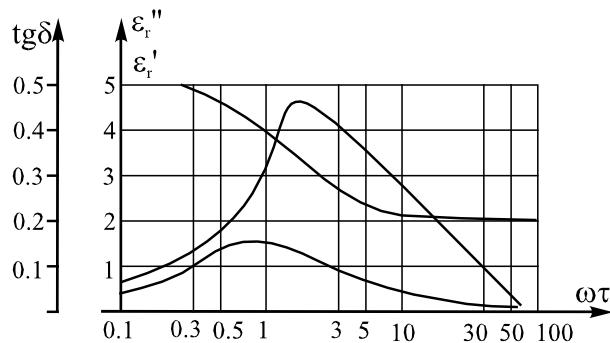


Fig.3.7. Varësia e permetivitetit relativ dielektrik dhe të këndit të humbjeve në funksion të frekuencës ($\epsilon_r = 5$ ose $\epsilon_r \neq 2$)

$$\mathbf{P} = \mathbf{J} \mathbf{E} \quad (3.25)$$

ku \mathbf{J} - paraqet komponenten e dendësisë së rrymës në fazë me \mathbf{E} .

Në bazë të barazisë:

$$\mathbf{J} = \frac{d\mathbf{D}}{dt} = \frac{d}{dt} (\epsilon_0 \epsilon_r \cdot \mathbf{E} - j \epsilon_0 \epsilon_r'' \mathbf{E}) = j \omega \epsilon_0 \epsilon_r \cdot \mathbf{E} + \omega \epsilon_0 \epsilon_r'' \mathbf{E} \quad (3.26)$$

del se:

$$\mathbf{P} = \omega \epsilon_0 \epsilon_r'' \mathbf{E}^2 \quad (3.27)$$

Kjo do t'ë thotë se humbjet në dielektrik për frekuencia të ulëta dhe të larta do të janë të vogla, ndërsa në diapazonin e frekuencave rrëth $\omega=1/t$ tregojnë vlerën maksimale, (Fig.3.7.). Zakonisht, humbjet dielektrike i shprehim me tangjensin e këndit ($\operatorname{tg} \delta$ - faktorit të humbjeve. Në vlerën e faktorit të humbjeve ndikon edhe temperatura, ndërsa te lëngjet edhe viskoziteti i dielektrikut.

Vlera e tangjensit të këndit shprehet si raport i komponenteve te dielektricitetit relativ:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} \quad (3.28)$$

ndërsa humbjet njësi në dielektrik do të janë:

$$P = \omega \epsilon_0 \epsilon_r' \operatorname{tg} \delta E^2 \quad (3.29)$$

Humbjet në dielektrik nuk janë të lidhura vetëm me rrjedhjen e këtij procesi. Ekzistojnë edhe forma të tjera të polarizimit.

Meqenëse humbjet në dielektrik paraqiten për frekuencia që nuk i përkasin lëmit të elektroteknikës, ato kanë vlerë më të vogël praktike dhe nuk do të bëjnë fjalë për to.

Në fund, duhet theksuar se format e përmendura të polarizimit nuk janë të vetmet forma te materialet izoluese, por ka edhe forma të tjera, si: polarizimi,

përkatësish grumbullimi i ngarkesave në sipërfaqe kufitare në mes të dy dielektrikëve. Rast i veçantë është te izolimi në teknikën e tensioneve të larta, ku bëhet paraqitura e ngarkesave vëllimore.

Proceset e polarizimeve, të cilat i kemi përshkruar më lartë, janë karakteristike për të gjithë dielektrikët, për të tri gjendjet aggregate të trupave.

Te materialet dielektrike të ngurta ka edhe forma të tjera të polarizimit. Te disa materiale dielektrike të ngurta paraqitet polarizimi nën veprimin e forcave mekanike, qoftë në shtypje ose têrheqje. Materialet e tillë i qujmë piezoelektrik. Veçori të tillë polarizimi pa veprimin e fushës elektrike ka silicidioksid etj.

Ky polarizim manifestohet me grumbullimin e elektrizimeve në elektrodat metalike të përforcuara për sipërfaqet kristalore të materialeve dielektrike. Nën veprimin e forcave mekanike, si rezultat i të cilave deformohet rrjeti kristalor, bëhet polarizimi i dielektrikut.

Te disa materiale izoluese mund të paraqitet polarizimi me rastin e ndërrimit të temperaturës, pa veprimin e forcave mekanike, dhe mekanizmi i këtij fenomeni është i njëjtë si te piezoelektriciteti. Ky fenomen quhet piroelektrizimi.

Te një numër më i vogël materialesh piezoelektrike vërehen veçori të ngjashme me materialet ferromagnetike të vendosura nën veprimin e ndryshueshmë të fushës elektrike ose materialeve që u nënshtrohen veprimeve të temperaturave të larta. Fenomeni i tillë quhet ferroelektrizim, ndërsa materialet e tillë quhen materiale ferroelektrike. Ky fenomen, së pari është vërejtur te kripa e Senjetit (Seignett) ($\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6\text{H}_2\text{O}$), e më vonë është vërejtur edhe te bashkëdyzimet tjera kimike (fosfori, titaniti, etj.). Për këto veçori karakteristike është:

- ϵ - arrinë vlerën deri në 10^4 - te materialet ferroelektrike, (te dielektrikët e zakonshëm permetiviteti relativ është 10, ndërsa në raste të jashtëzakonshme arrin vlerën 100).
- $\epsilon = f(E)$, deri sa të dielektrikët e zakonshëm ϵ nuk varet prej E , te ferroelektrikët i njëjti varet prej E .
- $\epsilon = f(E)$ varet nga tretmani i materialit, përkatësisht se çfarë dhe si i është nënshtuar veprimit të fushës elektrike.

Vërehet se varësia e vektorit të zhvendosjes \mathbf{D} prej fushës paraqet një lakore tipike si te materialet ferromagnetike. Kjo lakore është e ngjashme me ciklin e histerezës. Në Fig. 3.8. është paraqitur cikli i histerezës për materiale ferroelektrike.

Procesi i polarizimit te ferroelektrikët nuk zhvillohet në mënyrë kontinuale me rritjen e intensitetit të fushës elektrike, por gjatë polarizimit ka disa kërcime të vogla.

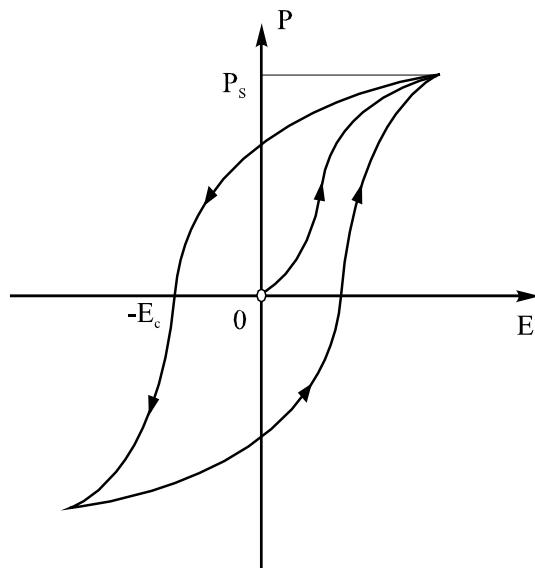


Fig.3.8. Lakorja e histerezës te materialet ferroelektrike.

Mbi temperaturën kritike, të ashtuquajtur temperaturën Kiri, susceptibiliteti elektrik i materialit izolues në funksion të temperaturës, varet sipas ligjit të Kiri-Vajsit. Pika Kiri është temperatura në të cilën materialet e humbin polarizimin spontan:

$$C = \frac{C}{T - T_c} \quad (3.30)$$

ku C - është konstante dhe ka dimensionet e temperaturës.

Polarizimi i ferroelektrikëve në shumicën e rasteve është i përcjellë me dnryshimin e formës së materialit. Prandaj, këtu mund të bëhet fjalë për elektrostriksionin.

Veçoritë e sipërmendura të materialeve ferroelektrike janë rezultat i ekzistimit të përputhjes së drejtimeve të dipoleve elementare në domenet e brendshme. Mendohet se polarizimi brenda një domeni është bërë në mënyrë spontane. Vlen të përmendet edhe antiferroelektriciteti, fenomen ku dipolet në drejtime paralele fqinje kanë orientime të kundërta.

Dhe, në fund, pos veçorive të përmendura më parë për materiale dielektrike, vlen të përmenden edhe dielektrikët që janë të polarizuar gjithmonë. Këto materiale quhen elektrete, analogji me magnetet permanente.

Janë të njoitura shumë lloje të elektreteve në varshmëri me mënyrën e përfitimit (elektroelektretet, termoelektretet, magnetoelektretet etj.).

3.1.3. PËRÇUESHMËRIA ELEKTRIKE E MATERIALEVE IZOLUESE

Me dielektrikë ose materiale izoluese kuptojmë ato materiale që nuk kanë elektrone ose jone të lira. Megjithatë, këtë kusht e plotëson vetëm vakuumi, i cili merret si dielektrik ideal, ndërsa dielektrikët e tjera pak a shumë i afrohen gjendjes së vakuumit. Në fakt, të gjitha materialet izoluese kanë një sasi, sado të vogël, grimcash të elektrizuarë të cilat nën veprimin e fushës elektrike mund të lëvizin në krahasim me ambientin rrëth e përqark. Përçueshmëria specifike elektrike e materialeve izoluese është njëra nga karakteristikat themelore. Edhe te materialet shumë të mira dielektrike, përçueshmëria specifike elektrike ndryshon nga zero.

Nën veprimin e fushës njëkahshe, e vendosur në materialin izolues, nëpër qark do të vendoset rryma konduktive:

$$I_k = \frac{U}{R} \quad (3.31)$$

ose në formën diferencial

$$\mathbf{I}_k = \sigma \mathbf{E}$$

Së pari do të shqyrtojmë fenomenet elektrike te dielektrikët e gazi, sepse edhe ata janë materiale të mira izoluese dhe se zbratzitë e mbushura me gazna janë të pashmangshme te të gjitha materialet izoluese.

Te materialet izoluese në gjendje të gazi, elektronet dhe jonet janë bartësit kryesorë të ngarkesave elektrike. Këto grimca të elektrizuarë shpejtohen nën veprimin e fushës elektrike, ndërsa shpejtësia e fituar v_i mbledhet me shpejtësinë e lëvizjes termike. Ajo është proporcionale me intensitetin e fushës elektrike:

$$\mathbf{v}_i = \eta \mathbf{E} \quad (3.32)$$

Koeficienti η - quhet lëvizshmëria e grimeve të elektrizuarë. Grimcat e elektrizuarë formohen gjatë jonizimit të grimeve neutrale. Në temperaturat e larta, grimcat e ngacmuanë që posedojnë sasi më të madhe të energjisë kinetike, janë në gjendje ta bëjnë jonizimin. Ky jonizim i krijuar si rezultat i ndikimit termik quhet jonizimi termik.

Rrezet e dirës, rëntgenit, si dhe rrezatimi kozmik janë shkaktarë të fotojonizimit të materialeve dielektrike te gazrat.

Nëse intensiteti i fushës elektrike është i madh, elektronet dhe jonet në gaza të ndryshme izoluese përfitojnë energjinë W_i . Një pjesë e grimeve të elektrizuarë, gjatë jonizimit, përsëri neutralizohen. Ky proces i neutralizimit të tyre quhet rekombinimi. Pjesa tjetër e elektroneve nën ndikimin e fushës elektrike përsëri kthehet në elektroda dhe humbin elektrizimin vetjak.

Rryma që kalon nëpër dielektrikët e gazi varet nga shkalla e jonizimit në krahasim me rekombinimin.

Në fushat që kanë intensitet të dobët, dendësia e rrymës është proporcionale me intensitetin e fushës, ndërsa përçueshmëria është konstante.

Me rritjen e intensitetit të fushës E , numri i grimcave të rekombinuara zvogëlohet, ndërsa rritet sasia e joneve të liruara nga elektrodat. Në fillim dendësia e rrymës rritet, mandej për një interval mbetet konstante (Fig. 3.9.).

Dendësia e rrymës së ngopjes varet nga distanca në mes të elektrodave, ndërsa në kushte normale atmosferike është shumë e vogël: $J_o=10^{-14}$ (A/m²).

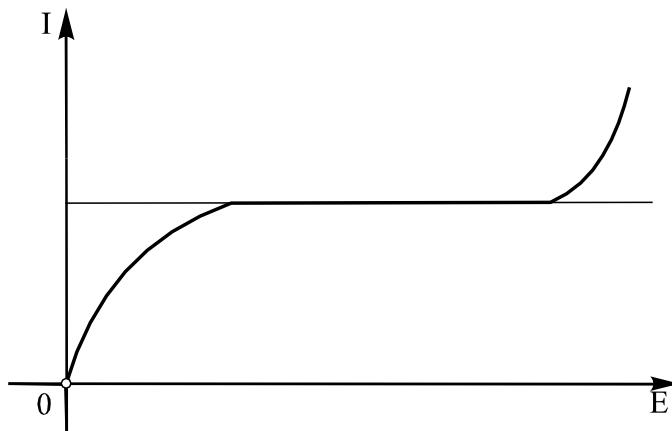


Fig.3.9. Varësia e dendësisë së rrymës në gazin e jonizuar nga intensiteti i fushës elektrike E .

Zona e ngopjes të dendësisë së rrymës e arrin vlerën e intensitetit të fushës së barabartë $E=10^{-1} - 10^6$ (V/m). Duke e rritur më tej fushën elektrike, grimcat fitojnë shpejtësi të mjaftueshme për jonizim goditës. Numri i grimcave të elektrizuar, e më këtë edhe rryma, fillon të rritet. Përsëri bëhen zbrazjet që qëndrojnë deri sa të ketë jonizim të jashtëm, ndërsa me rritjen e mëtejshme të intensitetit të fushës elektrike E , lajmërohen zbrasje të pavarura, që do të thotë bëhet shpimi i dielektrikut te gazët i cili bën ndarjen e elektrodave të kondensatorit përkatës.

Veçori e përbashkët e të gjithë dielektrikëve të lëngët është se ndyhen shumë lehtë, përzihen me mbeturina të ndryshme atmosferike, dhe në këto raste dielektriku përmban përbërsa të ndryshëm të cilët ndikojnë dukshëm në ndryshimin e veçorive të lëngeve.

Uji shpeshherë na paraqet ndotje për dielektrikët e lëngët.

Posë ujit, i cili në masë të konsiderueshme i prish veçoritë izoluese të dielektrikëve, ka edhe përbërës tjerë që ndikojnë në veçoritë dielektrike të materialeve, si: përbërsit kimikë që mund të ndikojnë negativisht në materiale, duke mundësuar zhvillimin e ndonjë procesi kimik, trupa të ndryshëm të ngurtë etj.

Duke u bazuar në këto të dhëna, te dielektrikët e lëngët duhet definuar përqueshmërinë vetjake të materialit përkatës izolues dhe përqueshmërinë shtesë në material.

Përçueshmëria vetjake ka karakter jonik dhe përcaktohet me lëvizjen e joneve si rezultat i veprimit të fushës elektrike, përkatësisht si rezultat i disocimit parcial të molekulave bazike të dielektrikut të lëngët.

Meqenëse shkalla e disocimit pos tjerash, varet nga struktura e lëngjeve, molekulat neutrale më pak i nënshtronen disocimit se sa ato polare, prandaj lengjet me permetivitet më të vogël kanë përçueshmëri specifike elektrike më të vogël në krahasim me materialet izoluese të lëngëta, të cilat kanë dielektricitet më të madh.

Përçueshmëria shtesë ka rëndësi përmes materialet dielektrike të lëngëta, sepse shpeshherë kjo është më e madhe se përçueshmëria vetjake. Sidomos ky fenomen është i theksuar te lëngjet me molekula jopolare. Shtesat që disocojnë, lehtë kushtëzojnë përçueshmërinë jonike shtuese, ndërsa uji, shtesat e materialeve të ngurta dhe ndotësit tjerë, kushtëzojnë përçueshmëri të karakterit tjetër. Grimcat e vogla të ujtit dhe ato të materialeve të ngurta elektrizohen nën veprimin e fushës elektrike, duke u bërë bartës të rrymës elektrike. Gjatë kësaj, grimcat që kanë dielektricitet më të madh në krahasim me atë që e ka vet lëngu, zakonisht elektrizohen pozitivisht. Nëse ky raport është i kundërt, d.m.th. kur lëngu ka dielektricitet më të madhe se grimcat, këto grimca elektrizohen negativisht.

Në kistalet ideale të dielektrikëve rryma elektrike paraqet lëvizjen e elektroneve, të cilat nën veprimin e fushës elektrike ose të ndonjë ndikimi tjetër të njashëm, vijnë në zonën përçuese.

Sasitë e shtesave në dielektrikë dhe johomogeniteti rrisin gjasën e kalimit të elektroneve të lira në zonën përçuese nga ajo valente. Mu përmes këtë, dendësia e rrymës në këto raste është përmes disa rende më e madhe se te dielektrikët idealë.

Dielektrikët që kanë shtesa jonike kanë edhe përçueshmëri jonike. Veprimi permanent i rrymës jonike ndikon në ndryshimin e dielektrikut në mënyrë graduale. Te materialet reale izoluese përçueshmëria jonike ka rëndësi primare.

Te materialet inorganike atomet gjenden në gjendje të ionizuar, ndërsa te materialet organike jonet paraqiten vetëm si rezultat i disocimit. Me rritjen e madhe të temperaturës, përçueshmëria jonike rritet shumë. Një fenomen i tillë ndodh edhe kur rritet lagështia, me ç'rast shkaktohet disocimi i shtesave të ndryshme në ujë, ku paraqiten jonet dhe formohet elektroliti.

Përçueshmëria jonike mund të paraqitet edhe në sipërfaqe të dielektrikëve të ngurtë që kufizohen me ajrin. Në sipërfaqet e dielektrikëve formohen shtresa kufitare të cilat përbajnë molekula të oksigenit dhe grimca-pika të lagështisë. Kur ndotet kjo shtresë, përbërrja komplikohet shumë, ndërsa dimensionet e saj mund të rriten deri në disa milimetra.

Disa komponente të shtesës sipërfaqësore hyjnë në reaksione kimike, ose, duke u tretur në ujë, formojnë elektrolitin. Përçueshmëria sipërfaqësore e materialeve izoluese varet shumë nga lagështia relative e ambientit dhe struktura e vetë shtresës së formuar në sipërfaqen e materialeve izoluese.

Kur dielektriku vehet në mes të elektrodave, si te kondensatori, në të cilat vepron tensioni i njëkahshëm, intensiteti i rrymës bie në funksion të kohës, (Fig. 3.10).

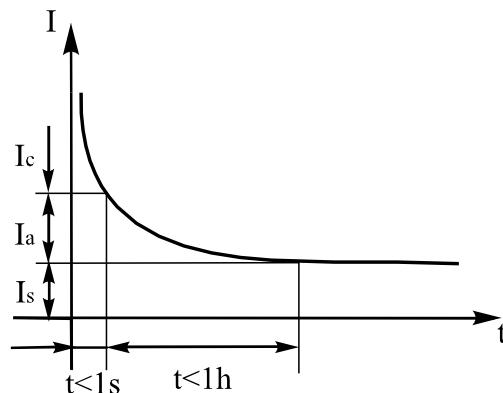


Fig.3.10. Ndryshimi i intensitetit të rrymës nëpër dielektrik.

Nga diagrami shihet se rryma përbëhet prej tri komponenteve: rrymës së ngopjes I_c , e përcaktuar me parametrat e qarkut r dhe C_{oo} , ku r - paraqet rezistencën e brendshme të burimit të tensionit dhe të përcuesve, ndërsa C_{oo} paraqet kapacitetin gjemotik të kondensatorit të dielektrikut të shqyrtuar, komponentes anomale të ngopjes I_a dhe komponentes stacionare të rrymës I_s . Komponenta e parë zgjat më pak se një sekondë, rryma anomale mund të zgjasë edhe disa orë. Kjo komponente e rrymës shpeshherë quhet edhe rryma absorbuese dhe është rrjetohim i zhvillimit të formave speciale të polarizimit të dielektrikut. Pos të tjerash, kjo komponentë varet edhe nga veçoritë fizike dhe kimike të materialit përkatës ezolues.

Vlera kufitare e kësaj rryme është e përcaktuar me përcueshmërinë e materialit, d.m.th. rezistencës së brendshme. Shumica e autorëve pajtohen me barazinë, e cila paraqet varshmërinë e kësaj rryme me kohën:

$$I_a = A t^{-n} \quad (3.33)$$

ku: A - paraqet konstantën, që është proporcionale me tensionin i cili vendoset në skajet e kondensatorit të dielektrikut në fjalë.

Për secilën komponentë të rrymës mund të definohet përcueshmëria përkatëse. Kështu do të definohej përcueshmëria kaluese, anomale dhe ajo stacionare e dielektrikut.

3.1.4. SHPIMI I DIELEKTRIKUT

Me rritjen e tensionit, përkatësisht intensitetit të rrymës në të cilën ndodhet dielektriku në kushte të caktuara atmosferike dhe në varsi nga shumë faktorë tjerë,

kushtëzohet shpimi i dielektrikut të gaztë, lëngët ose të ngurtë. Me këtë, dielektriku i humb veçoritë e veta izoluese dhe paraqet defekt elektrik.

Deri më sot nuk ekziston ndonjë teori universale e pranuar, e cila e shpjegon procesin e shpimit te të gjitha llojet e dielektrikut. Në rend të parë, ndryshimet e mëdha të dielektrikëve dhe gjendjet e ndryshme agregate e vështirësojnë shumë shpjegimin dhe eksperimentimin e shpimit të dielektrikut. Kur merren në shqyrtim edhe një numër shumë i madhe faktorësh që ndikojnë në gjendjen e materialeve izoluese, e vështirësojnë edhe më shumë këtë fenomen dhe këta faktorë e vështirësojnë paraqitjen e një teorie unike dhe të përgjithshme për shpimin e dielektrikut.

Shqyrtimet e deritashme kanë treguar se ekzistojnë ndryshime të konsiderueshme pas shpimit në mes të materialeve me gjendje të ndryshme agregate.

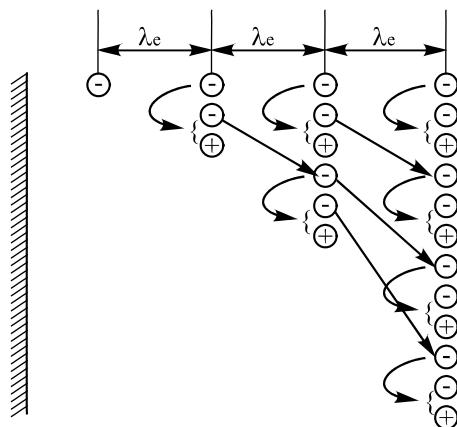


Fig.3.11. Mekanizmi i lindjes së valës së elektr.nën ndikimin e fushës shumë të fortë.

Përderisa dielektrikët e gaztë pas shpimit elektrik regjenerohen plotësisht, gati pa kurrfarë dëmtimi, te dielektrikët e lëngët nuk bëhet regjenerimi total pas shpimit elektrik. Mirëpo, nëse bëhet shpimi i dielektrikut të ngurtë, ai mbetet gjithmonë defekt dhe nuk mund të përdoret si dielektrik.

Është thënë më parë se gazet nën ndikimet e ndryshme jonizohen. Një numër jonesh të cilat gjenden në gaze bëjnë lëvizje kaotike. Nën ndikimin e fushës elektrike, kjo lëvizje kaotike orientohet, duke u bërë jonizimi goditës. Meqenëse në këtë rast numri i elektroneve rritet dhe se çdo njëra nga to merr pjesë në procesin e mëtejshëm të jonizimit, dendësia e bartësve të lirë të elektrizimeve rritet shumë shpejt. Ky grumbull elektronesh quhet orteku i elektroneve, (Fig. 3.11).

λ_e - paraqet gjatësinë mesatare të kalimit të elektronit gjatë lëvizjes së tyre.

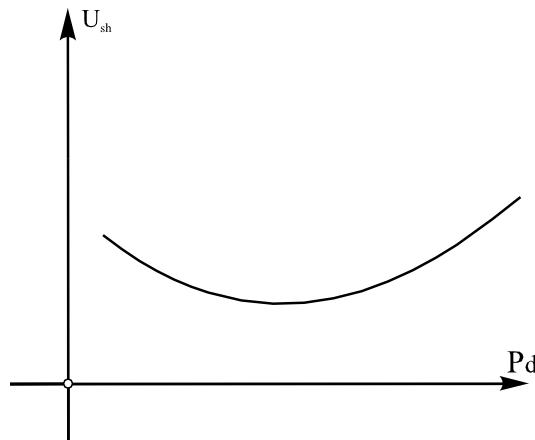


Fig.3.12. Varësia e tensionit të shpimit të dielektrikut të gazit në funksion të prodhimit P_d .

Elektronet që paraqiten në gaze nuk janë vetëm si rezultat i veprimit të jonizimeve të ndryshme, por mund të jenë edhe rezultat i bombardimit të katodës me jone pozitive. Me paraqitjen e ortekut të elektroneve, bëhet rritja shumë e shpejtë e rrymës, dhe nëse gjatë rrugës të cilën e kalon elektri prej katodës kah anoda ndeshet, dhe nga kjo ndeshje lindë edhe një elektron i lirë, paraqitet shpimi i dielektrikut.

Tensioni i shpimit te dielektrikët e gazi varet nga shtypja e gazit në temperaturë të caktuar dhe distancës në mes elektrodave. Në Fig. 3.12. është paraqitur varësia e tensionit të shpimit nga shtypja dhe distanca në mes elektrodave (P_d).

Te dielektrikët e lëngët, poashtu, nuk është në tërësi i shpjeguar mekanizmi i shpimit. Përderisa një teori e shpjegon këtë fenomen nëpërmjet jonizimit goditës te lëngjet me emitimin e elektroneve nga katoda (elektroda), tjetra mbështetet në formimin e flushave ajrore hapësirat në mes elektrodash, si rezultat i shumë faktorëve dhe se shpimi i dielektrikut bëhet kur ndryshimi i potencialit në mes mureve të kundërt të fushës të jetë i mjaftueshëm që ta bëjë shpimin e gazeve. Megjithatë, duhet cekur se sasitë e shtesave të ndryshme dhe ndotësit (uji i emulsuar, përbërësit e ngurtë) kanë ndikim të madh në procesin e shpimit.

Te dielektrikët e ngurtë, ku përqueshmëria e rrymës paraqet fenomen të komplikuar, sepse në të ndikon një numër i madhe faktorësh të jashtëm dhe struktura e komplikuar e trupave përkatës, prapë mbetet në tërësi e pashpjeguar mekanizmi i shpimit.

Eksperimentalisht është konstatuar varia e tensionit të shpimit nga temperatura. Në këtë mënyrë ka lindur teoria e përgjithshme e shpimit të dielektrikut të trupave të ngurtë (Fig. 3.13).

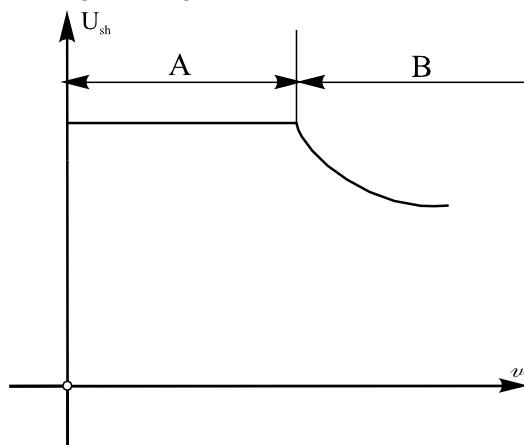


Fig.3.13. Varësia e tensionit të shpimit prej temperaturave trupat e ngurtë:

- A) Pjesa e shpimit elektrik;
- B) Pjesa e shpimit termik.

Në pjesën A - të lakores shihet qartas se tensioni i shpimit nuk varet nga temperatura. Prandaj, shpimi i dielektrikut ka karakter thjesht elektrik, ndërsa në pjesën B - të lakores shpimi ka karakter termik dhe, tensioni i shpimit bie krahas temperaturës, edhe pse në të dy rastet shpimi i dielektrikut është rrjedhim i formimit të ortekut të elektroneve. Pra, kur elektronet kalojnë në zonën përquese për shkak të ngacmimit termik ose nga ndikimi i fushës elektrike të intensiteteve të larta, apsorpcionit, rrezatimit etj. Përderisa te shpimi elektrik temperatura ndikon pak në këtë proces, dhe se ndikim të madh ka johomogeniteti i fushës, te shpimi termik i materialeve izoluese temperaturës luan rol dominant.

Shpimi i dielektrikut në të vërtetë paraqet prishjen e tij nga veprimi i forcave të fushës elektrike. Proseset sekondare si: nxemja, reaksiونet kimike etj., të cilat mund të zhvillohen në dielektrik nën veprimin e fushës dhe ta shpejtonë këtë proces, nuk hyjnë në zhvillimin e shpimit. Mendohet se në të dy rastet e shpimit të dielektrikut, kjo është pasojë e paraqitjes së ortekut të elektroneve, e kushtëzuar me gjendjen energjetike të elektroneve dhe interaksioneve të tyre me nyjet e rrjetit kristalor. Që të shkaktohet ky proces, elektronet duhet të kalojnë prej zonës valente në atë përquese. Energjia për këtë kalim sigurohet:

1. me ngacmimin termik (shpimi termik),
2. me veprimin e fushës elektrike me intensitetë të larta (shpimi elektrik),

3. me apspcionin e rrezatimit ose me ndeshjet joelastike me grimcat që kanë sasi të mjaftueshme energjje.

Duke vendosur një dielektrik homogjen me përçueshmëri specifike σ në fushë me intensitet E , në njësi vëllimore lirohet energjia σE^2 (në fushën alternative llogaritet me komponenten reale të përçueshmërisë komplekse $\sigma = \sigma_0 e^{i\omega t}$). Një pjesë e sasisë së liruar të nxehtësisë shpenzohet për nxehjen e trupit, ndërsa pjesa tjetër përcillet në ambientin përreth. Bilancin energjetik në këtë rast mund ta japim me formulën:

$$c \frac{dv}{dt} + \operatorname{div}(I \times \operatorname{grad} v) = \sigma E^2 \quad (3.34)$$

ku: v - është temperatura, c - nxehtësia specifike, I - përçueshmëria termike. Në anën tjetër, rryma elektrike, e mëkëmbur nëpër dielektrik, duhet të plotësojë kushtin e kontinuitetit:

$$\operatorname{div}(\sigma E^2) = 0 \quad (3.35)$$

Këto dy ekuacione paraqesin barazitë themelore të shpimit termik. Të gjitha madhësitë karakteristike në barazitë e mëparshme, në një farë mënyre varen nga temperatura. Përveç kësaj, siç është thënë edhe më parë, shpimi i dielektrikut varet edhe prej intensitetit të fushës elektrike. Zgjedhja e këtyre barazive varet nga natyra e varësisë dhe kushteve kufitare për çdo rast konkret.

Për zgjidhje analitike të këtyre barazive duhet të bëhen disa thjeshtime. Kështu, p.sh., kur nuk ndërron shumë temperatura, bën të mos merret në konsiderim ndryshimi i nxehtësisë specifike dhe e përçueshmërisë termike nga temperatura, mund të bëhen thjeshtime në kushtet kufitare etj.

Kur tensioni ka rritje të theksuar, e kur energjia e zhvilluar nuk arrin të përhapet përreth, mund të mos merret në konsiderim anëtari i dytë i barazisë (3.34). Nëse rritja e tensionit nëpër dielektrik bëhet për një kohë më të gjatë, me ç'rast vedoset gjendja stacionare në dielektrik, mund të mos merret në konsiderim anëtari i parë i barazisë (3.34), në anën e majtë të saj. Thjeshtësimet e mëtejshme varen nga mostra e materialit etj.

Pavarësisht nga thjeshtimet gjatë zgjidhjes së barazisë së mëparshme, përçueshmëria e dielektrikut të ngurtë varet nga temperatura, sipas një ligjit të caktuar. Meqenëse nxehtësia e përcjellë në diapazon të ngushtë të temperaturës është në varsi lineare, bilancin energjetik mund ta paraqesim grafikisht në Fig. 3.14. Derisa lakorja e nxehtësisë së përcjellë B pritet me lakoren e nxehtësisë me vlera të ndryshme të tensionit A(U), ekziston një lloj gjendje barazpeshe në temperaturën që i përgjigjet pikës prerëse të këtyre lakoreve. Nëse nuk bëhet prerja e lakoreve të sipërmendura, temperatura rritet në pambarim dhe bëhet shpimi i dielektrikut. Rasti kufitar është kur këto dy lakore puqen, dhe kur temperatura e mostrës arrin vlerën v_{pk} . Ndryshimi i temperaturës nëpër dielektrik të ngurtë për vlera të ndryshme të tensionit është paraqitur në (Fig. 3.15). Proseset që paraqesin

lakoret e mëparshme dhe karakteret e tyre tregojnë se procesi i ftohjes luan rok të konsiderueshëm te shpimi termik. Jostabiliteti termik në dielektrik është i lokalizuar në ato vende, ku me vështirësi më të madhe përcillet nxehësia. Përveç kësaj, edhe niveli i humbjeve në dielektrik luan rol të madh në paraqitjen e shpimit termik në dielektrik dhe ndikon në nivelin e tensionit të shpimit.

Duke përmiruar cilësinë e materialit dielektrik, para së gjithash me rritjen e rezistencës specifike elektrike dhe zvogëlimin e humbjeve, ngritet niveli i tensionit të shpimit. Për këtë vlerë ka ndodhë shpimi termik. Te këto materiale te të cilat janë përbushur kushtet e cekura më lart, nuk mund të ndodhë shpimi termik, por vetëm shpimi elektrik. Studimet dhe matjet e ndryshme kanë treguar se natyra e shpimit elektrik është shumë komplekse dhe ende nuk është dhënë një teori e cila mund të pranohet dhe e cila do ta definonte në mënyrë komplete procesin e zhvillimit të shpimit ose momentin e paraqitjes së tij. Mirëpo, nga këto matje mund të nxiren konkluzione dhe përafërsisht të definohet shpimi elektrik te dielektrikët e ngurtë:

- a) rritja kontinuale e soliditetit dielektrik me zvogëlimin e trashësisë së mostrës tregon se te dielektriku homogen është i kushtëzuar shpimi me jonizim goditës;
- b) zhvillimi i shpejtë i shpimit dhe ndikimi i katodës në soliditet dielektrik tregon se shpimi i dielektrikut të ngurtë është i lidhur me shpejtësinë e elektroneve;
- c) efektet e vërejtura, si zhvillimi i zbrasjeve prej anodës, kur fusha është homogjene, zhvillimi më i shpejtë i zbrasjeve prej anodës se prej katodës, tensioni më i lartë i shpimit në rastin e elektrodave thuprore me potenciale negative se kur ato janë pozitive, vërtetojnë parimin se zhvillimi i zbrasjeve te dielektrikët e ngurtë të kuptohet si proces ortek-strimer të elektroneve;
- d) soliditeti dielektrik i materialeve dielektrike të ngurta është funksion i strukturës së tij, gjendjes (temperaturës, përpunimit termik) dhe kushteve të shqyrtimit (trashësisë së mostrës, karakterit dhe kohëzgjatja e veprimit të tensionit);
- e) procesin e shpimit të dielektrikut të ngurtë mund ta ndajmë në tri stadiume: stadiumi i formimit të zbrasjeve gjatë të cilit formohet shtegu përques, stadiumi i mbarimit të zbrasjeve kur tensioni në dielektrik praktikisht bie në zero dhe stadiumi mbas shpimit, gjatë të cilit zhvillohen zbrazjet e burimit të rrymës nëpërmjet shtigjeve përquese të formuara më parë nëpër dielektrik.

Elektronet e shpejtuara ndeshen në rrugën e tyre me nyjet e rrjetit kristalor dhe dorëzojnë energjinë e tyre duke bërë të mundur shpartallimin e tyre. Në hapësirën e kanalit të zbrasjeve bëhet shkrirja e trupit të ngurtë dielektrik dhe lajmërimi i shtypjeve të mëdha. Pikërisht për këtë shkak, shpimi i dielektrikut në shumicën e rasteve është i përcjellë me shkatërrime mekanike.

Meqenëse struktura e dielektrikut të ngurtë në masë të madhe ndryshon prej asaj ideale, sepse në strukturën kristalore ka shumë lloj defektesh, ato në masë të konsiderueshme ndikojnë në procesin e shpimit.

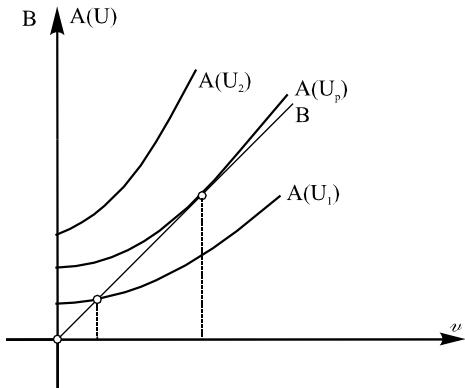


Fig.3.14. Varësia e nxehësisë së zhvilluar $A(U)$ dhe asaj të përcjellë B nga temperatura

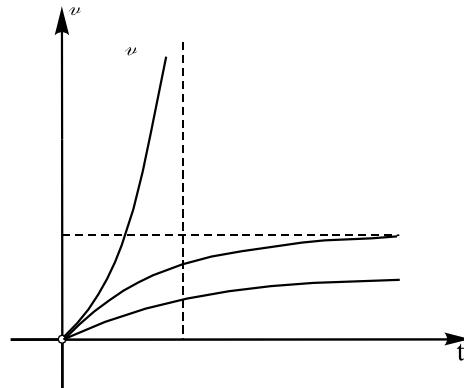


Fig.3.15. Rritja e temperaturës së mostrës së materialit dielektrik të ngurtë për vlera të ndryshme të tensionit të veprimit.

3.2. VEÇORITË THEMELORE ELEKTRIKE TE MATERIALEVE IZOLUESE

Veçoritë themelore elektrike të materialeve izoluese janë karakteristikat e tyre, të dhënat me të cilat mund të definohen materialet e caktuara, t'i krahasojmë në mes tyre. Ato veçori e përcaktojnë përdorimin e tyre.

Megjithëse ekziston një numër i madh veçorish të materialeve izoluese, si veçori themelore merren:

1. - permetiviteti dielektrik ϵ
2. - humbjet dielektrike $\tg\delta$
3. - rezistanca elektrike R dhe
4. - soliditeti dielektrik E_d .

Përveç madhësive të përmendura, rëndësi të veçantë ka varësia e tyre nga faktorë të ndryshëm, siç janë: temperatura, intensiteti i fushës elektrike, lagështia etj. Duke i marrë në konsiderim këto varësi, mund të parashihet se si do të sillet ndonjë material izolues gjatë përdorimit të tij.

3.2.1. PERMETIVITETI DIELEKTRIK

Madhësia që e karakterizon çdo dielektrik për sasinë e zhvendosjes së elektroneve, gjegjësisht të aftësisë së polarizimit, i cili ndodhet nën ndikimin e fushës së njëkohshme, quhet permetivitet ϵ . Për dhënien e vlerave të kësaj madhësie më së shpeshti përdoret i ahstuquajturi permetivitet relativ i cili shprehet si:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (3.36)$$

ku me ϵ_0 - shënojmë permetivitetin e vakuumit, që ka vlerën $3,859 \cdot 10^{-12}$ (Fm^{-1}). Permetiviteti relativ është numër pa dimension, gjithmonë më i madhe se një dhe i përshtatshëm për krahasim. Lehtë matet, sepse paraqet raportin e kapacitetit të kondenzatorit të vakuumit ose të dielektrikut të gazët dhe kapacitetin e dielektrikut për të cilin duam ta përcaktojmë permetivitetin relativ. Duke supozuar se dimensionet e këtyre kondensatorëve janë të njëjta, vlera e permetivitetit relativ shprehet:

$$\epsilon_r = \frac{C_0}{C_x} \quad (3.37)$$

Vetë fjalën “konstantë dielektrike”, që shpreshtë përdoret në literaturë duhet ta kuptojmë të kushtëzuar, sepse në fakt kjo “konstantë” varet nga shumë faktorë dhe se u nënshtrohet ndryshimeve të mëdha. Karakteri i këtyre ndryshimeve të ϵ nuk është në masë të njëjtë dhe në mënyrë të njëjtë për të gjithë dielektrikët. Para se gjithash, ndryshimet e mëdha të ϵ , paraqiten me dnryshimet e mëdha te materialet izoluese të tri gjendjeve aggregate si edhe te dielektrikët me lloje të ndryshme polarizimi.

Permetiviteti është në proporcion të drejtpërdrejtë me dendësinë e materialit. Te materialet izoluese të lëngëta dhe të ngurta dendësia e grimcave ndryshon në kufij relativisht të vegjël, ndërsa te dielektrikët e gazët këta kufij janë relativisht të gjerë. Përveç kësaj, dendësia e trupave të gazës është e vogël. Si rezultat i kësaj, edhe permetiviteti relativ ka vlerë të vogël, ose pak më të madhe se të vakuumit. Për këtë shkak, në shumicën e llogarive merret se permetiviteti relativ i gazrave është një (1). Se çfarë gabimesh bëhen në këtë rast, do të shohim në (tab.3.1.)

Tab. 3.1. Vlerat e ϵ_r për disa materiale dielektrike të gazta

Gazrat	ϵ_r
Ajri	1,0005940
Hidrogjeni	1,0000693
Helijumi	1,0002697
Azoti	1,0005824

Me ndryshimin e shtypjes rritet dendësia e grimcave në gaz, e me këtë edhe permetiviteti relativ. Koeficienti i ndryshimit të permetivitetit relativ nga shtypja, definohet

$$PS\epsilon_r = \frac{1}{\epsilon_r} \frac{d\epsilon_r}{dp}; v = konst \Rightarrow \frac{\epsilon_r - 1}{p} \quad (3.38)$$

dhe ka vlerë më të madhe se një (1).

Me shtimin e temperaturës së gazit, duke e mbajtur konstant shtypjen, zvogëlohet dendësia e grimcave në gaz dhe dielektriciteti relativ. Për gazra jopolare fitohet koeficienti termik i permetivitetit relativ i barabartë me:

$$TS\epsilon_r = \frac{1}{\epsilon_r} \frac{d\epsilon_r}{dv}; p = konst \Rightarrow -\frac{\epsilon_r - 1}{v} \quad (3.39)$$

Shenja negative në anën e djathjtë tregon se permetiviteti relativ zvogëlohet krahas temperaturës. P.sh. për ajrin ky koeficient i dielektricitetit është $-2,10^{-6}$ (K^{-1}).

Te dielektrikët polarë koeficienti termik i permetivitetit nuk varet vetëm nga ndryshimi i numrit të grimcave në njësi vëllimore, por edhe nga ndryshimi i polarizimit të orientuar. Për shkak të lëvizjeve intensive termike të grimcave pengohet orientacioni i dipoleve, dhe do të zvlogëlohet kontributi i polarizimit me rritjen e temperaturës.

$$TS\epsilon_r = \frac{1}{\epsilon_r} \frac{d\epsilon_r}{dv}; p = konst \Rightarrow -\frac{\epsilon_r - 1}{v} - \frac{\epsilon_r - v^2}{v} \quad (3.40)$$

ku: v - është indeksi i thyerjes.

Dendësia e vogël e gazrave dhe forcat e vogla të interakcionit mundësojnë të zhvillohet pa pengesë procesi i polarizimit deformues dhe orientues. për këtë arsy e nuk ka ndonjë ndryshim të madh në mes të molekulave polare dhe jopolare te gazrat, përvèç në koeficientin termik te permetiviteti relativ.

Në të dy rastet permetiviteti relativ ngadal bie me temperaturën.

Në lëngje, forcat e interakcionit janë shumë më të mëdha se te gazrat. Kjo ngjan edhe me dendësinë e grimcave. Mu për këtë, ndikimin e presionit në dendësinë e grimcave të lëngjeve dhe ndikimin e tij në permetivitetin relativ, pa ndonjë gabim të konsiderueshmë mund ta apstrakojmë, ndërsa ndikimi i temperaturës është i konsiderueshmë dhe i ndryshueshmë për materiale polare dhe jopolare dielektrike.

Në materialet jopolare dielektrike të lëngëta ndikimi i temperaturës në procesin e polarizimit deformues praktikisht është i apstrakueshëm. Vetëm për shkak të bymimit të lëngut ngjajnë disa ndryshime në dendësinë e grimcave. Lehtë mund të konstatohet se koeficienti termik i permetivitetit elektrik në këtë rast është i kushtëzuar, pos tjerash, edhe nga koeficienti i bymimit linear ose ai vëllimor. Pra, mund të konstatojmë se për lëngje jopolare është:

$$TSe_r = \frac{1}{e_r} \frac{de_r}{dv}; \quad p = \text{konst} \Rightarrow -\frac{(e_r - 1)(e_r + 2)}{e_r} \alpha_1 \quad (3.41)$$

ku: α_1 - është koeficienti i bymimit linear i dielektrikut të lëngut.

Në materialet polare të lëngëta ekziston edhe polarizimi i orientuar, i cili varet edhe nga mundësia e orientimit të lirë të grimcave nën veprimin e fushës elektrike. Kjo mundësi mund të jetë e kufizuar me viskozitetin të lëngut. Me rritjen e temperaturës, viskoziteti zvogëlohet dhe rritet permetiviteti elektrik. Në të njëjtën kohë me zvogëlimin e viskozitetit rritet intensiteti i lëvizjeve termike të grimcave të lëngjeve, që për temperaturatë larta mund të fillojë të pengojë orientimin e dipoleve dhe të shkaktojë zvogëlimin e elektricitetit elektrik. Kjo varësi e komplikuar e permetivitetit elektrike nga temperatura është paraqitur në Fig. 3.16.

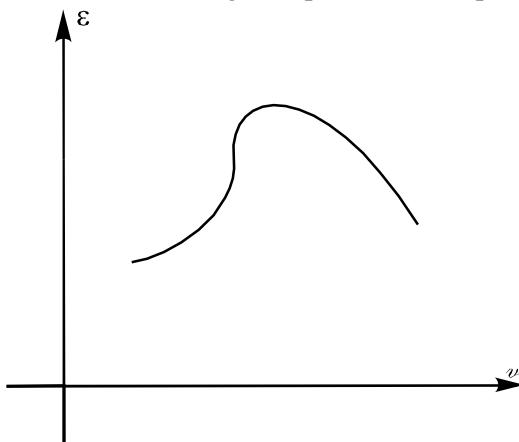


Fig. 3.16. Varësia e permetivitetit të dielektrikëve te lëngët nga temperatura

Pavarësisht se cilat forma të polarizimit janë prezente te dielektrikët e lëngët, mund të konstatojmë se dielektriciteti elektrik është shumë më i madh te lëngjet se te dielektrikët e gazët. Kështu, te lëngjet jopolare vlera e permetivitetit relativ mund të jetë edhe gjër në vlerën 3, ndërsa te lëngjet jopolare e kalon këtë vlerë, p.sh. për ujin është $\epsilon=80$.

Në dielektrikët e ngurtë, siç është treguar edhe më parë, marrëdhëniet e këtyre madhësive janë shumë më të komplikuara se te dielektrikët e gazët dhe të lëngët.

Kështu ndikim të madh ka vet struktura e materialit të ngurtë e cila, në situata të ndryshme, reagon në mënyra të ndryshme.

Në materialet izoluese të ngurta jopolare koeficienti i permetivitetit është i lidhur me ndryshimin e dendësisë së grimcave për shkak të ndryshimit të dimensioneve të trupave të ngurtë. Ky ndryshim shprehet me barazinë (3.41) për lëngjet jopolare. Si rrjedhim i kësaj, del se permetiviteti ndryshon ngadalë edhe te trupat e ngurtë jopolarë me rritjen e temperaturës. Kjo është e kuptueshme, sepse lëvizjet termike kanë rol të pakonsiderueshëm në procesin e polarizimit deformues.

Te dielektrikët polarë të ngurtë ka mundësi të paraqiten reagime të llojilojshme në vetë materialin, duke ndryshuar temperaturën. Këtu, as që mund të paraqiten rastet tipike të këtyre varsive.

Ekzistenza e materialeve piezoelektrike edhe më shumë e komplikon vasinë e madhësive të ndryshme nga temperatura. Te shumica e këtyre materialeve koeficienti termik i permetivitetit ka vlerë pozitive, edhe pse ka mundësi të ketë materiale polare të ngurta, te të cilat kjo madhësi ka vlerë negative.

Në pikëpamje te madhësise së permetivitetit, materialet e ngurta dielektrike kanë këtë madhësi me vlerë më të madhe, e cila shtrihet në diapazon shumë të gjërë. Te materialet jopolare, permetiviteti në diapazon shumë të gjërë. Te materialet jopolare, permetiviteti relativ ka vlerë pak më të madhe se te dielektrikët e lëngjet jopolare. Te materialet e zakonshme polare të ngurta, dielektriciteti mund të arrijë vlerën edhe gjë 1000 e më tepër. Kristali i dioksidit të titanit në drejtim të boshtit të kristaleve ka permetivitet relativ $\epsilon=175$, ndërsa te materialet feroelektrike kjo madhësi arrin vlerën gjë 20000.

Polarizimi i dielektrikët varet nga frekuenca, siç kemi konstatuar më parë, dhe kjo varsi është më e theksuarë për frekuenca shumë të larta. Ngjajshëm me këtë, edhe permetiviteti relativ varet nga frekuenca. Varsia e permetivitetit është më e theksuar te dielektrikët me polarizim të orientuar prej frekuencës. Kjo varësi është më e komplikuara te këta dielektrikë, ndërsa varsia më e vogël e permetivitetit nga frekuenca është te materialet dielektrike me polarizim elektronik. Në Fig. 3.17. është paraqitur një varsi tipike e permetivitetit relativ nga frekuenca.

Megjithë kufijtë shumë të gjërë që mund të jenë, vlerat e permetivitetit për shumicën e materialeve dielektrike të lëngët, e të ngurtë, e duke i marrë parasysh edhe ata të gazët, kjo madhësi ka vlerën më të vogël se 10. Mu për këtë, shpeshherë regjistrohet roli i lagështisë në rritjen e permetivitetit relativ, sepse prania e lagështisë që ka vlerën e permetivitetit $\epsilon=80$, ka si rrjedhim rritjen e kësaj madhësie të materialeve të ndryshme dielektrike.

Rëndësia e vlerës së permetivitetit për materiale izoluese është e shumëfisht dhe luan rol të rëndësishëm në zgjedhjen e materialeve izoluese për qëllime të ndryshme.

Te kondensatorët, vlera e kapacitetit të tij drejtpërsëdrejti është e lidhur me permetivitetin. Në këto raste përdorimi i materialeve me permetivitet të madh

ndikon shumë për kursimin e materialit dhe fitohen kondensatorë me dimensione të vogla.

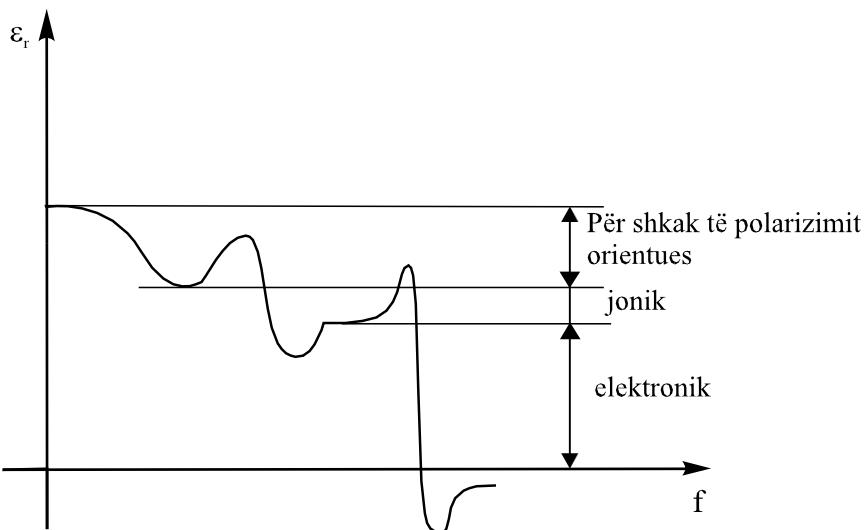


Fig. 3.17. Varësia e permetivitetit relativ prej frekuencës

Në teknikën e frekuencave të larta, sidomos te përcuesit, vlera e madhe e permetivitetit mund të ketë si rrjedhim paraqitjen e rrymave rrjedhëse duke penguar sinjalin e transmetimeve të ndryshme. Përveç kësaj, humbjet njësi dielekrike janë në mënyrë të drejtpërdrejtë proporcionale me permetivitetin, që ka rëndësi të veçantë te frekuencat e larta.

Në teknikën e tensioneve të larta shpeshherë bëhet kombinimi i materialeve me permetivitetë të ndryshme.

Kjo ndikon në shpërndarjen e fushës në mes të elektrodave dhe, mund të ndikojë që të ngjajë çpimi dielektrik.

3.2.2. HUMBJET DIELEKTRIKE (*tgd*)

Kur dielektriku është nën ndikim të fushës elektrike, grimcat e elektrizuara aktivizohen dhe lëvizin në drejtim të fushës elektrike. Energjinë e nevojshme për të lëvizur në drejtim të fushës, grimcat e marrin nga vetë fusha nën ndikimin e së cilës janë grimcat e materialeve dielektrike përkatëse. Gjatë procesit te lirimit të grimcave nga forcat lidhëse të materialit, energjia që është marrë nga fusha shndërrohet në formë tjera si termike, në energji drite etj. Një pjesë e energjisë nevojitet për të mbuluar humbjet. Për këtë shkak, ekzistimi i rrymës alternative

nëpër dielektrikë është i përcjellur me humbje. Te dielektrikët realë, humbjet nuk janë të lidhur vetëm me procesin e polarizimit, por edhe me faktorë tjerë. Mund të thuhet se humbjet totale dielektrike i përbëjnë humbjet parciiale me prejardhje të ndryshëm. Këto humbje janë:

1. Humbjet si rezultat i polarizimit të dielektrikut, që më tepër paraqiten te materialet dielektrike, me polarizim jonik dhe të orientuar. Këto humbje paraqiten kur materiali i nënshtrohet veprimit të fushës alternative.
2. Humbjet për shkak të përqueshmërisë së dielektrikut, që janë më të mëdha sa më e madhe është përqueshmëria e materialit dielektrik. Këto humbje paraqiten me rastin e nënshtimit të dielektrikut fushës stacionare dhe fushës alternative.
3. Humbjet për shkak të johomogenitetit të strukturës së materialit dielektrik; veçanërisht nëse këtë johomogenitet e shkaktojnë komponentët me përqueshmëri më të madhe.
4. Humbjet e shkaktuara si rezultat të procesit të jonizimit të materialit; veçanërisht te materialet izoluese të gazit. Në këtë rast rriten humbjet për shkak të rritjes së përqueshmërisë së dielektrikut.

Humbjet e dielektrikut në njësi vëllimore shprehen si:

$$P = J E = \sigma E^2 \quad (3.42)$$

ku σ - paraqet përqueshmërinë e dielektrikut. Kur materiali izolues i nënshtrohet ndikimit të fushës se ndryshueshme, për gjendjen stacionare, përqueshmëria σ përbëhet prej dy komponenteve: σ_k - që i përgjigjet rrymës së konduktimit dhe komponentes σ_r , e cila paraqitet si rezultat i polarizimit të dielektrikut kur nëpër të vendoset rryma. Kjo komponentë, shpeshherë quhet përqueshmëri relaksuese.

Kur dielektriku i nënshtrohet ndikimit të fushës alternative me frekuencë f , në të paraqiten disa komponente të rrymës totale. Rryma e zhvendosjes është dhënë me ekuacionin e Maksvellit:

$$\mathbf{J}_t = \frac{\mathbf{D}}{\epsilon_0}; \mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}; \mathbf{P} \cdot \mathbf{J}_t = \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial t}; \quad (3.43)$$

ku komponenta $\epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$ ekziston edhe në rastin e mungesës së supstancës së materies ($\mathbf{P}=0$) dhe pasqyron dendësinë e rrymës së zhvendosjes në vakuum përkatësisht rrymën I_ϕ . Komponenta $\frac{\partial \mathbf{P}}{\partial t}$ paraqet dendësinë e rrymës se polarizimit, si rezultat i zhvendosjes së ngarkesave elektrike brenda atomeve dhe molekulave. Kjo dendësi, shpeshherë quhet rryma e relaksimit dhe, në fushën alternative përbëhet prej komponenten reaktive I_{rr} e cila është e zhvendosur për 90° në krahasim me fushën.

Duke e marrë në konsiderim edhe rrymën konduktive, e cila është rrjedhim i të gjitha llojeve të përqueshmërive nëpër dielektrik, mund të vizatojmë diagramin vektorial të rrymave të cilat janë nëpër dielektrik që është nën veprimin e fushës alternative (Fig. 3.18).

Komponenta aktive e rrymës paraqitet si shumë e rrymës konduktive dhe komponentës së rrymës të polarizimit të dielektrikut:

$$I_a = I_k + I_{ra} \quad (3.44)$$

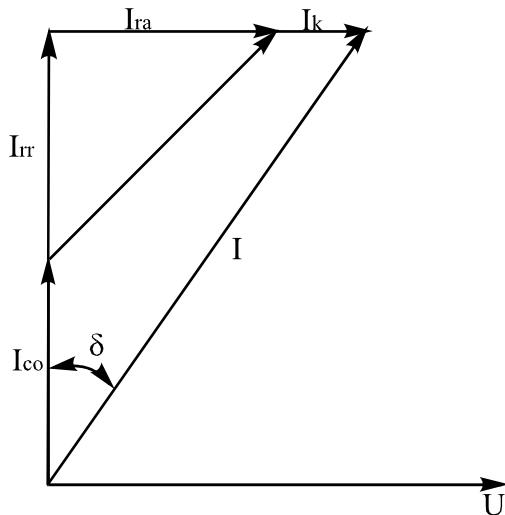


Fig. 3.18. Diagrami i rrymave që rrjedhin nëpër dielektrik real nën veprimin e tensionit sinusoidal U

ndërsa komponenta reaktive është shuma e rrymës së polarizimit në vakuum I_{c0} dhe asaj të polarizimit së dielektrikut I_{rr} (komponentes së rrymës reaktive të polarizimit):

$$I_c = I_{c0} + I_{rr} \quad (3.45)$$

Nga diagrama e rrymave vektoriale të një dielektriku përkatës, shihet se këndi i humbjeve $\tg \delta$ është në përpjestim të drejtë me komponentën aktive të rrymës që rrjedh nëpër dielektrik I_a . Në rastin konkret, tangensi i këndit do të jetë:

$$\tg \delta = \frac{I_k + I_{ra}}{I_{c0} + I_{rr}} \quad (3.46)$$

Te dielektrikët e gaztë, humbjet dielektrike janë shumë të vogla, sepse në këto materiale izoluese është e vogël komponenta aktive e rrymës, duke iu falenderuar lëvizjes së lirë të grimcave nëpër gaz, ndërsa përgjatë procesit të polarizimit, gati nuk paraqiten fare humbjet. Vlera e $\tg \delta$ te dielektrikët e gazet është e rendit 10^{-6} -

10^8 , ndërsa ndryshimi i tg δ me temperaturën gati sa që vërehet. Rast i njëjtë është me ndryshimin e tg δ me frekuencën f te dielektrikët e gazët.

Te materialet izoluese të lëngëta dhe të ngurta, humbjet mund të kenë vlera të konsiderueshme. Te këto materiale ekziston varësi e theksuar e humbjeve me frekuencë dhe temperaturë. Te këto materiale, rol të rëndësishëm luan përçueshmëria elektrike në to, gjë që vërehet edhe nga barazia për tangenësin e këndit të humbjeve.

Varësia e këndit të humbjeve dielektrike nga temperatura është dhënë në Fig. 3.19, ku paralelisht janë treguar lakoret e ndryshimit të ϵ tg δ dhe përçueshmëria. Me këtë rast janë treguar tri raste karakteristike:

- kur në humbjet dielektrike rol dominant ka komponenta e përçueshmërisë nëpër dielektrik (lakorja a)
- kur mbizotëron procesi relaksues që i përgjigjet dielektrikut ideal (lakorja b) dhe
- kur në masë të njëjtë janë të përfaqësuara të dy komponentet në humbjet e përgjithshme dielektrike në një material përkatës izolues (lakorja c).

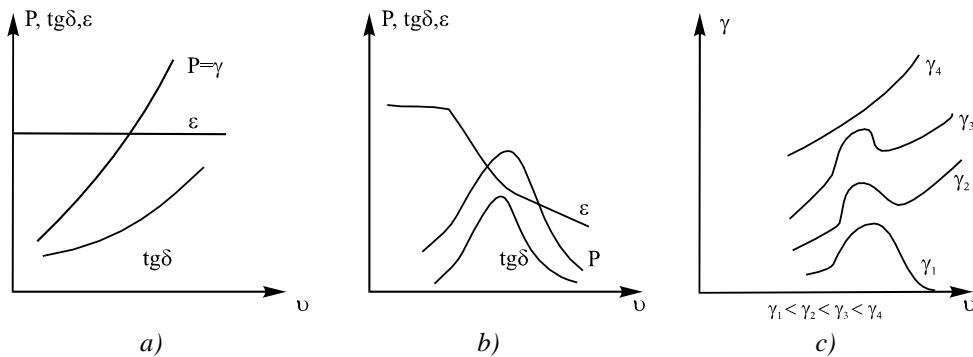


Fig.3.19. Varësia tipike e tg δ ϵ dhe gnga frekuanca te dielektriket polare.

- mbizotëron përçueshmëria;
- mbizotërojnë humbjet relaksuese;
- ndikimi i njëjtë i përçueshmërisë dhe relaksimit në tg δ

Përsa u përket dielektrikëve idelalë, në të cilët do të ishte $\sigma=0$, këndi i humbjeve dielektrike do të ndryshonte me frekuencën. Te dielektrikët realë ky ndryshim ka varësi pak të ndryshuar. Mund të veçohen tri raste karakteristike lidhur me raportet ndërmjet përçueshmërisë dhe relaksimit. (Fig. 3.20b).

Roli dhe rëndësia e humbjeve, dielektrike është e shumëfishtë. Lidhur me pikëpamjen energetike duhet që humbjet të eleminohen ose të zvogëlohen në masë të konsiderueshme. Megjithatë, te dielektrikët niveli i humbjeve është i vogël në krahasim me humbjet energetike që paraqiten në sistemin elektroenergetik, dhe

rol më të rëndësishëm kanë konsekuençat për shkak të paraqitjes së humbjeve në këto materiale, si:

1. Çpimi termik i materialeve dielektrike, ku humbjet dielektrike janë të mëdha. Kjo e zvogëlon shkallën e shfrytëzimit të materialit izolues, rritjen e dimensioneve të aparateve, rritjen e çmimit dhe peshën e aparatit.
2. Në qarqet elektrike të frekuencave të larta, dhe në përgjithësi në teknikën e tensionit të ulët, rritja e humbjeve dielektrike ka si rrjedhim deformimin e sinjaleve transmetuese.
3. Për shkak të rritjes së humbjeve dielektrike dhe përqueshmërisë së vogël termike, materialet dielektrike nxehen në disa vende. Meqenëse shumica e materialeve izoluese janë të ndieshme në rritjen e temperaturës, në vende ku rritet temperatura mund të ngjajnë prishjet mekanike. Kjo mund të shkaktojë edhe rritjen e humbjeve dielektrike, rritet përqueshmëria, dhe lirohen sasitë më të mëdha të nxehësisë, dhe shkallë-shkallë mund të ndodhin prishjet elektrike ose mekanike, si rezultat i zhvillimit zingjirë të këtij procesi.

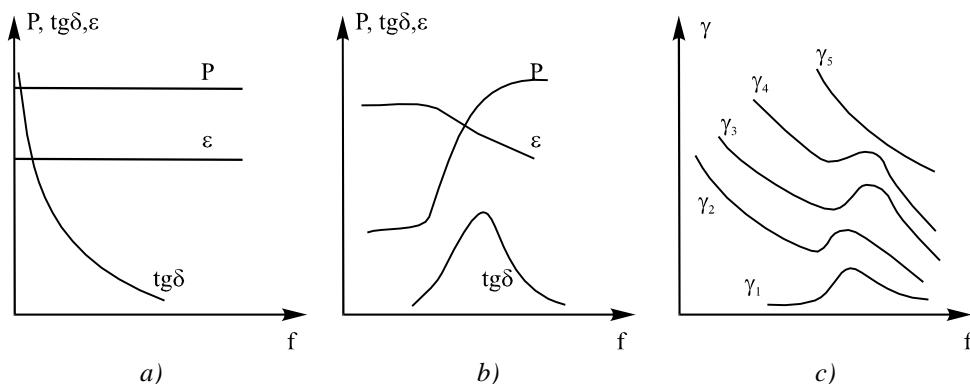


Fig. 3.20. Varësia tipike e $\text{tg}\delta$ edhe e gnga frekuencia te dielektrikët polarë.

- a) mbizoteron përqueshmëria
- b) mbizoterojnë humbjet relaksuese
- c) veprimi i njëkohshëm i përqueshmërisë
dhe i relaksimit

3.2.3. RREZISTENCA SPECIFIKE ELEKTRIKE (r)

Procesi i përqueshmërisë së rrymës nëpër dielektrik është mjaft i komplikuar dhe i nënshtrohet ndikimit të shumë faktorëve. Nga kjo lindin sqarime dhe definime më të komplikuara të rezistencës specifike elektrike te këto materiale, në

krahasim me materialet përquese. Pikërisht për këtë, definimi i rezistencës specifike elektrike te materialet dielektrike, si te materialet përquese, duhet të pranohet në mënyrë të kushtëzuar.

Përveç vlerës së rezistencës elektike të materialeve izoluese, duhet të merren parasysh edhe një numër i madh faktorësh që luajnë rol dhe mjaft ndikojnë në vlerën e rezistencës specifike elektrike. Këta faktorë janë: të dhënat për temperaturën, frekuencën, lagështinë, sasia dhe lloji i shthesave, rryma alternative etj. Këta parametra ndikojnë bukur shumë në rritjen dhe zvogëlimin e vlerës së rezistencës specifike elektrike.

Përveç përqueshmërisë elektrike nëpër dielektrikë, e cila drejtpërdrejt lidhet ngusht me rezistencën elektrike, temperatura luan rol më të rëndësishëm në rritjen ose zvogëlimin e vlerës së kësaj madhësie. Me rritjen e temperaturës te materialet dielektrike, zakonisht bëhet zvogëlimi i rezistencës, që tregon se dielektrikët kanë koeficient termik të rezistencës negative. Ky përkufizim vlenë si për dielektrikët e gazët, lëngjet dhe të ngurtë. Përderisa te të dy gjendjet aggregate, lëngjet dhe te gazërat, vlera e rezistencës specifike elektrike është praktikisht e përcaktuar me funksionimin dhe kushtet, ku gjenden te materialet dielektrike të ngurta hasim në disa vështirësi për përcaktmin e kësaj madhësie.

Për dielektrikët e ngurtë r duhet të llogaritet për dy vlera ose dy komponentet e rrymës që ekzistojnë në mes elektrodave të kondensatorit, sepse kur dielektriku i ngurtë vehet nën veprimin e tensionit, rryma rrjedh nëpër sipërfaqe dhe nëpër pjesën vëllimore të tij. Pikërisht për këtë, te trupat e ngurtë definoohen dy komponente të rezistencës specifike elektrike: rezistenca specifike elektike sipërfaqsore r_s dhe rezistenca specifike elektrike vëllimore r_v . Në mes të dendësisë së rrymës vëllimore dhe intensitetit të saj ekziston relacioni:

$$\mathbf{J}_b = \frac{1}{r_b} \mathbf{E} \quad (3.47)$$

Dendësia e rrymës së brendshme te dielektriku homogen shprehet me raportin e rrymës së përgjithshme të brendshme dhe sipërfaqes së prerjes tërthore të dielektrikut në fjalë:

$$J_b = \frac{I_b}{S} [\text{A/m}^2] \quad (3.48)$$

ku r_b - paraqet rezistencën e brendshme specifike elektrike te dielektrikët e ngurtë, ndërsa e definojmë si në Fig. 3.21., duke i marrë të gjitha masat që fusha në mes të elektrodave të jetë homogene. Dendësia e rrymës së brendshme te trupat dielektrikë homogen, që është si raport i rrymës së përgjithshme dhe sipërfaqes së prerjes tërthore të dielektrikut përkatës, shprehet:

$$J_b = \frac{I_b}{S} [\text{A/m}^2] \quad (3.49)$$

Komponentë tjeter e rrymës e cila rrjedh nëpër sipërfaqe të materialit izolues është rrjdhim i shtresës së hollë të ndotjes dhe të lagështisë e ngjitur për sipërfaqe

të materialit dielektrik. Duke e apstrahuar trashësinë e kësaj shtrese në krahasim me gjerësinë dhe gjatësinë e saj, dendësia e rrymës sipërfaqësore mund të definohet si:

$$J_s = \frac{I_s}{a} [\text{A/m}^2] \quad (3.50)$$

ku: I_s - paraqet intensitetin e rrymës sipërfaqësore, ndërsa a - gjerësinë përquese e cila është normale ndaj vijave të rrymës.

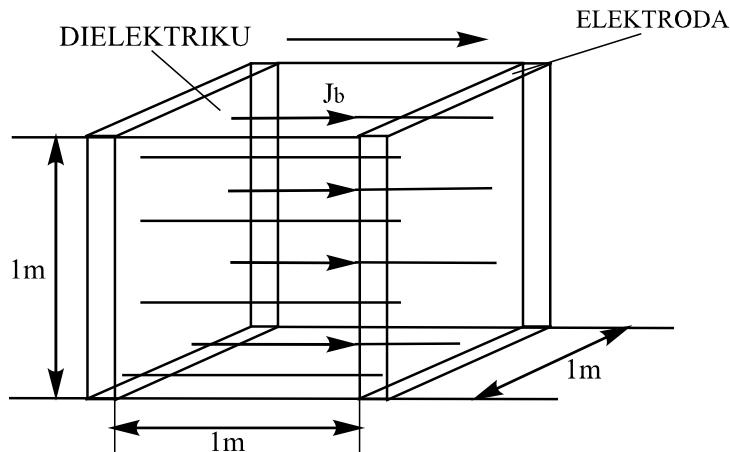


Fig.3.21. Mëkëmbja e rrymës nëpër dielektrik të ngurtë, rryma e brendshme.

Në mes të vektorit të dendësisë së rrymës dhe vektorit të intensitetit të fushës elektrike, e cila është tangjente në sipërfaqen e dielektrikut (Fig. 3.22.), vlenë barazia:

$$\mathbf{J}_s = \frac{1}{r_s} \mathbf{E}_t \quad (3.51)$$

Këtu r_s - paraqet rezistencën specifike elektrike sipërfaqësore të dielektrikut. Struktura e materialit, temperatura dhe vlera e intenstitetit të fushës elektrike luajnë rol dominant në vlerën e rezistencës specifike elektrike të brendshme. Në këtë vlerë të rezistencës ndikojnë edhe faktorët tjera. Varësia e rezistencës specifike elektrike nga faktorët e jashtëm, si intensiteti dhe lloji i ndotjeve atmosferike, është bukur e madhe, por me rëndësi të posaqme është gjendja sipërfaqësore e materialit dielektrik. Pikërisht për këtë, rezistanca elektrike përbëhet prej dy komponentesh: rezistanca sipërfaqësore R_s dhe rezistencës elektrike të brendshme R_b . Lidhja e këtyre rezistencave është paralele, prandaj rezistanca e përgjithshem do të jetë:

$$R = \frac{R_b R_s}{R_b + R_s} \quad (3.52)$$

Roli i këtyre rezistencave nuk është gjithmonë i njëjtë dhe varet nga gjendja e jashtme dhe ndikimi i faktorëve të ndryshëm në dielektrik. Rezistanca e brendshme luan rol më të rëndësishëm me rastin kur dielektriku nuk është nën ndikimin e faktorëve të jashtëm. Mirëpo, kur izolimi i nënshtronhet ndikimeve të jashtme të cilat shkaktojnë kapërcime nëpër sipërfaqet e materialeve dielektrike, rol dominant luan rezistanca sipërfaqësore.

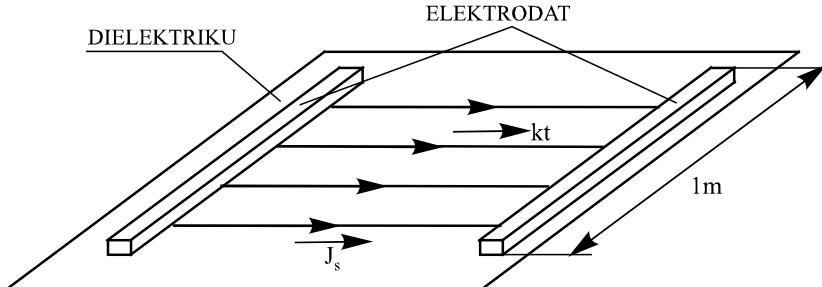


Fig. 3.22. Vendosja e rrymës nëpër dielektrikë të ngurtë - rryma sipërfaqësore

3.2.4. SOLIDITETI DIELEKTRIK (E_d)

Soliditeti i dielektrikut përcakton kufirin e lejushëm të intensitetit të fushës elektrike në materialin izolues. në rast se kalohet ai kufi E_d , dielektriku shpohet, duke u këthyer në një material përques ose gjysmëpërques elektrik. Sa më e madhe është qëndrueshmëria dielektrike ndaj veprimeve të fushave të jashtme, aq më i mirë është dielektriku.

Soliditetin dielektrik e llogaritim me barazinë:

$$E_d = \frac{U_{shp}}{d} [\text{kV/m}] \quad (3.53)$$

ku: U_{shp} - tensioni i shpimit i matur, ndërsa d - distanca në mes të elektrodave.

Meqenëse procesi i shpimit të dielektrikut është i komplikuar dhe i nënshtronhet ndikimit të shumë faktorëve, për përfitimin e të dhënave për krasim, duhet bërë matje precise dhe të llojullojshme. Faktorët më të rëndësishëm që ndikojnë në procesin e shpimit janë:

- frekuencia, forma dhe koha e zgjatjes së tensionit të kyçur,
- homogeniteti dhe trashësia e mostrës së materialit izolues,
- shpërndarja e fushës ndërmjet elektrodave,
- ndikimi i kushteve të jashtme (temp. lagështia dhe shtypje),
- përbërja e gazrave, lagështia dhe ndotja,
- forma dhe përqueshmëria termike e elektrodave,

g) veçoritë tjera karakteristike elektrike dhe termike të materialeve izoluese etj.

Në materialet dielektrike - të gazëta ndikim të theksuar ka temperatura dhe presioni. për këtë, arsyesh vlerat maksimale të soliditetit dielektrik maten për kushte normale atmosferike (temperatura $+20^{\circ}\text{C}$ dhe presioni normal - p_0), dhe në barazinë për soliditet përdoret edhe faktori i korigjimit d i cili në përbërjen e vet e ka temperaturën dhe presionin:

$$d = \frac{273+20}{273+T} \frac{p}{p_0}, \quad p_0 = 101324,72 \text{ [Pa]} \quad (3.54)$$

kështu që soliditeti do të shprehet me barazinë:

$$E_d = \frac{1}{d} E_{dm} \quad (3.55)$$

ku: p - shtypja atmosferike gjatë matjes, T - temperatura përkatëse. Përdorimi i faktorit të korigjimit është i kufizuar me vlera relativisht të vogla ($0,95 \leq d \leq 1,5$) që u përgjigjen ndryshimeve të rëndomta të kushteve atmosferike.

Soliditeti dielektrik i gazzave varet shumë edhe nga forma e elektrodave, të cilat ndikojnë në shpërndarjen e fushës johomogjene. Sa më i vogël që është homogeniteti i fushës ndërmjet elektrodave, aq më i vogël është soliditi dielektrik i gazzave. Në Fig. 3.32 është treguar varësia e soliditetit E_d nga distanca e elektrodave për ajrin.

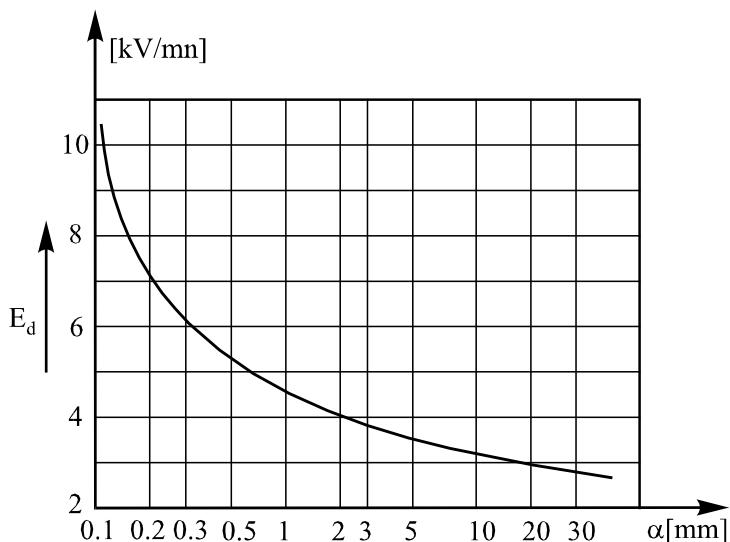


Fig.3. 23. Varësia e soliditetit dielektrik nga distanca e elektrodave të rrafshta

Përveç kësaj, soliditeti dielektrik varet edhe nga koha e veprimit të tensionit. Në të vërtetë, shpimi i gazrave bëhet pas një kohe kur të kyçet tensioni në mes të elektrodave. Kjo kohë është më e shkurtër sa më i madh të jetë tensioni i kyçur. Mendohet se koha e përgjithshme, nga momenti i kyçjes së tensionit e gjer te shpimi, është shuma e kohës që duhet bërë shpimi dhe koha që varet nga gjasa që në momentin e përshtatur dhe në vendin e caktuar të gjendet elektroni prej të cilit fillon të paraqitet orteku i elektroneve ndërmjet elektrodave. Komponenta e parë e kohës, për kushte normale atmosferike është: 10^{-7} - 10^{-9} s, ndërsa komponenta e dytë është: 10^{-5} - 10^{-7} s, dhe se në këtë interval ekziston varësia më e madhe e soliditetit dielektrik nga koha e veprimit të tensionit.

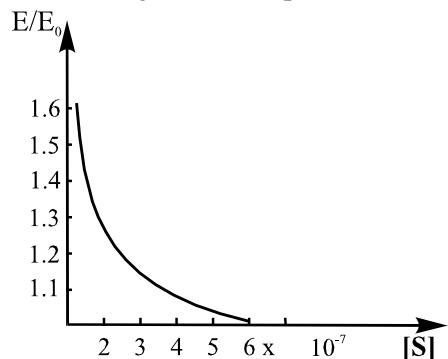


Fig.3.24. Varësia e soliditetit dielektrik nga koha e veprimit të tensionit të veprimit (E_0 – Soliditeti dielektrik statistikor)

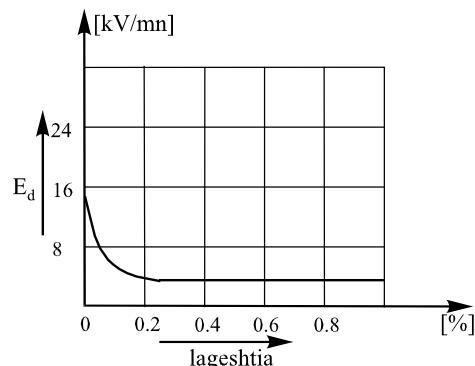


Fig.3.25. Varësia e soliditetit dielektrik të vajit të transformatorit nga sasia e lagështisë në te

Në Fig. 3.24 është treguar varësia e soliditetit dielektrik të ajrit në funksion të kohës së veprimit të tensionit.

Te dielektrikët e lëngët është theksuar varësia e soliditetit dielektrik nga lagështia që e ka absorbuar materiali izolues. Kjo varësi sidomos është e theksuar në fillim, kur soliditeti bie rrëmujshëm, nga se më vonë kjo rënje është më e ngadalshme. Varësia e soliditetit dielektrik të lëngët nga sasia e lagështisë është treguar në Fig. 3.25. Rritja e temperaturës së materialit dielektrik te lëngjet në fillim ndikon pozitivisht në soliditet, sepse e ndihmon avullimin e sasisë së lagështisë. Mirëpo rritja e temperaturës mbi një vlerë kritike (zakonisht rreth 50-70°C) e zvoglon soliditetin dielektrik.

Ndryshimi i presionit të jashtëm në masë të madhe ndikon në soliditetin dielektrik të materialeve dielektrike të lëngëta. Kjo është e lidhur ngusht me prezencën e gazrave në përbërjen e materialeve dielektrike të lëngëta. Rritja e presionit të jashtëm e rrit soliditetin e materialeve të lëngëta.

Varësia e soliditetit dielektrik të lëngjet në funksion të distancës së elektroda ka karakter të njëtin si te dielektrikët e gazët. Kjo ngjan edhe me varësinë e soliditetit nga koha e veprimit të tensionit në dielektrik të lëngët si te gazrat izoluese.

Varësia e soliditetit dielektrik të trupave të ngurtë nga distanca e elektrodave, forma e tyre, johomogjenitet i fushës, temperatura e kohës së veprimit të tensionit të kyçur në mes të elektrodave etj., ka natyrë të njëjtë si te dielektrikët e gazët dhe të lëngët. Natyrisht, do të kemi vlera tjera numerike në krahasim me materialet izoluese të gazta dhe të lëngëta.

Të dhënët për soliditetin dielektrik kanë karakter krahasues dhe mund të vërtetohen vetëm me matje të shumëta, duke analizuar shumë faktor që mund të ndikojnë në vlerën e kësaj madhësie dielektrike.

3.2.5. VJETËRSIMI I MATERIALEVE IZOLUESE

Nën ndikimin e shumë faktorëve të jashtëm dhe të brendshëm, materialet izoluese i humbin ngadalë veçoritë e tyre, dhe se me kohë u ndryshojnë veçoritë izoluese. Këtë ndryshim të veçorive të materialeve e quajmë vjetërsimi i materialeve - materialet vjetrohen. Në procesin e vjetërsimit të materialeve izoluese marrin pjesë shumë faktorë:

1. ndryshimi i përgjithshëm i dielektrikut nën ndikimin e temperaturës;
2. formimi i prishjeve të pjesëshme, si rezultat i jonizimeve, zbrazjeve sipërfaqësore dhe fenomeneve elektrotermike;
3. zvogëlimi i soliditetit dielektrik dhe mekanik, si rezultat i sforcimeve mekanike, lagështisë, ndotjes dhe prishjeve tjera.

Procesi i vjetërsimit, si rezultati i ndikimit të kushteve të parapara të ekspluatimit, zakonisht zgjat shumë por ka mundësi që ky proces të shpejtohet, nëse ndonjëri nga parametrat të cilët ndikojnë në këtë proces arrijnë vlerë më të madhe se sa është e lejuar. Në shpejtimin e këtij procesi, përveç kushteve të jashtme, ndikojnë edhe këta faktorë:

- a) kualiteti i dielektrikut,
- b) përsosmëria e konstrukcionit të materialit izolues,
- c) përpunimimi teknologjik dhe
- d) mënyra e ekspluatimit.

Arsyet e ndryshimit të kualitetit të dielektrikut mund të klasifikohen në këto grupe:

- a) veprimet elektriqe,
- b) veprimet termike,
- c) veprimet mekanike,
- d) veprimet e ambientit përreth.

Përgjatë kësaj, veprimet mund të kenë karakter afatgjat ose kalimtar. Mirëpo, vjetërsimi përfshin vetëm veprimet afatgjata.

Rëndësi të veçantë në procesin e vjetërsimit luan rritja e temperaturës dhe intensiteti më i madh i fushës elektrike. Pikërisht për këtë, vjetërsimi i materialeve izoluese, kryesisht, bëhet nga rritja mbi vlerat e lejuara të temperaturës dhe intensitetit të fushës elektrike, të parapara me rregullore për eksplorimin e materialit izolues.

3.2.6. VJETËRSIMI TERMIK

Lirimi i nxehësisë në dielektrikë është si rezultat i humbjeve të Xhulit nëpër pjesët përquese të izoluara, humbjeve të dielektrikut, humbjeve në material feromagnetike, fërkimit dheveprimit të disa burimeve të jashtme të nxehësisë. Nxemja varet nga kushtet e punës së aparateve përkatëse, në njëren anë, dhe në anën tjetër nga temperatura dhe mënyra e ftohjes së ambientit përreth. Rritja e temperaturës i prish veçoritë themelore elektrike të materialeve izoluese. Kjo ngjan edhe me veçorit mekanike të dielektrikëve. Ndërsa, në disa raste, rritja e temperaturës bën edhe ndërrimin e gjendjes aggregate të materialeve dielektrike. Te shumica e materialeve dielektrike, sidomos te materilet që kanë prejardhje organike, ndërrimi i gjendjes aggregate nuk bëhet në temperaturë të caktua, por procesi zhvillohet shkallëshkallë. Në gjendjen plastike, materialet i humbin veçoritë e tyre mekanike dhe shumë lehtë deformohen. Rritja e temperaturës shpejton difuzionin dhe zhvillimin e proceseve kimike në materialet përkatëse dielektrike. Përveç kësaj, me rritjen e temperaturës mund të paraqiten reaksionet termike, duke e bërë në këtë mënyrë edhe ndarjen e ndonjë elementi, depolimerizimi, humbjet e veçorive elektrike.

Duke u mbështetur në rolin e temperaturës për kohëzgjatjen e veçorive dielektrike IEC ka bërë klasifikimin e materialeve. Në bazë të këtij klasifikimi, materialet izoluese janë grupuar në shtatë grupe, dhe për çdo grup është caktuar temperatura maksimale e lejuar, e cila garanton kohë më të gjatë të përdorimit të materialit izolues. Në tabelën 3.1. është treguar ky klasifikim për materiale që më së shumti përdorën në praktikë.

Mirëpo, zhvillimi i hovshëm i materialeve izoluese dhe përdorimi i llojlojshëm i tyre, nën veprimin e kushteve specifike të punës, ka ndikuar që një klasifikim i tillë i materialeve të mos i përbushë kërkeshat dhe nevojat e teknikës së izolimit. Gjithnjë e më shumë po kërkohet që materialet përkatëse izoluese të

përdoren edhe jashtë klasës, d.m.th. të përdoret materiali izolues edhe në temperaturë më të mëdha se ato që lejohen me rekomandime të ndryshme, duke e përdor sistemin e ftohjes, mënyrën e ekspluatimit etj.

Ndikimi i madh i temperaturës në materiale izoluese, me së miri vërehet në bazë të kohës së përdorimit në temperaturë të caktuar. Për përcaktimin e kohëzgjatjes së një materiali, më së shpeshti përdoret i ashtuquajturi ligji i Montisgerit, megjithse ekzistojnë edhe shumë shprehje tjera empirike. Në kohën e fundit po kufizohet përdorimi i këtij ligji, por me sukses edhe më tutje mund të përdoret për prognozim dhe përcaktim të kohëzgjatjes së materialit përkatës dielektrik në kushte dhe temperaturë të caktuar. Në bazë të kësaj shprehje, kohëzgjatja e një materiali dielektrik D_T në temperaturë të caktuar T është dhënë me:

$$D_T = a \times e^{-bT} \quad (3.56)$$

ku: a dhe b janë konstante, të cilat përcaktohen eksperimentalisht. Për çdo material ekziston ndryshimi i caktuar i temperaturës ΔT , e cila si rritje e temperaturës e zgjatë dyfish kohën e përdorimit të materialit izolues, ndërsa nëse kjo paraqet ulje të temperaturës e zgjatë dyfish kohën e përdorimit të materialit. Nga ky përkufizim, konstatojmë se konstanta b mund të përcaktohet nëpërmjet shprehjes:

$$b = \frac{\ln 2}{\Delta T} \quad (3.57)$$

Prandaj, ligji i Montisgerit do të jetë:

$$D_T = a \times e^{-\frac{T}{\Delta T} \ln 2} \quad (3.58)$$

Me metoda eksperimentale përcaktohet kohëzgjatja normale e materialit dielektrik (p.sh. 7 vjet, përkatësisht 61000 orë), temperatura përkatëse dhe vlera karakteristike e ndryshimit të temperaturës ΔT . Në këtë rast, kohëzgjatja e materialit izolues në temperaturë T' tjetër të punës do të jetë:

$$D_{T'} = D_T \times 2^{-\frac{T' - T}{\Delta T}} \quad (3.59)$$

Temperatura e durimit për të cilat përfitohet kohëzgjatja nominale (p.sh. për 7 vjet) për disa materiale izoluese është:

- klasa e izolimit A është 105°C
- klasa e izolimit B është 125°C

Në tabelën 3.2. janë dhënë temperurat maksimale të përballimit dhe janë numëruar materialet më të rëndësishme që i përkasin klasës së caktuar të izolimit.

- klasa e izolimit H është 220°C

Në këto materiale, ndryshimi karakteristik i temperaturës ΔT është:

- klasa e izolimit A - 8 C
- klasa e izolimit B - 8 - 10°C
- klasa e izolimit H - 12°C

Tab. 3.2. Klasifikimi i materialete dielektrike sipas klasës së izolimit

Klasa e izolimit	Tem. max. e lej.(°C)	Materialet më të rëndësishme
Y	90	Pambuku, materialet me bazë celuloze, letra, materilaet nga letra, poliamidet, preshpani, druri, rrëshirat aniline, polietileni, polistiroli, PVC, Tr - vaji, goma natyrale, etj.
A	105	Materiali i impregnuar ose materialet izoluese të zhytura në lëngje: pambuku, fije acetatit të celulozës, letra dhe materiale letra, fijet poliamidi, druri etj.
	“	Materialet e impregnuara në llakna: pambuku, letra dhe materiale letra, fije acetati të celulozës, fije polimidi. Emajlli: me bazë vaji, goma sintetike, polizmidet në bazë të acetat polivinilit etj.
E	120	Impregnimi me llakna special: material pambuku, letra dhe materialet letra, fije të polietilenit dhe rrëshirës së tij, treacetat të celulozës, fenolformaldehidi, fenolfurfuraldehidi, mellamin - formaldehidi, rrëshirat e mallaminit, goma sintetike, me bazë të poliakrillatit, Emajllit në bazë të poliviniacetetit, epokside dhe poliuretale.
B	130	Liskuni, qelqi, asbesti, dhe prodhimet e tij, llaknat me bazë të bitumenit, vajra, rrëshira alhide etj. Materialet jorganike shtresore, të lidhur ose të impregnuara me fenol-formaldehid ose me rrëshira të mellan-formaldehid, materialet e prera. Llaknat izolues me bazë alkide ose fenole, në bazë të vajit pa kontakt me ajrin.
F	155	Liskuni, asbesti, qelqi dhe prodhimet e tyre të lidhura me alkide, etokside, polietilen të pa ngopur, rrëshira poliuretane dhe silikonoalkide.
H	180	Të impregnuara ose të lidhura me silikone: liskuni, asbesti, qelqi dhe prodhimet e tyre. Rrëshirat silikone dhe goma artificiale me mbushës inorganik.
C	>180	Liskuni, qelqi, kuarci, steatit. Politetrafluoretlen: i vetmuar, me mbushës inorganik, ose si mjet impregnues në rastine e pelhurave prej qelqi dhe azbesti (gjer në 250°C)

Varësia e kohëzgjatjes në funksion të temperaturës është dhënë grafikisht në Fig. 3.26, përmes mbështjella me materiale izoluese të klasës A, B dhe H, ku është përdorë sistemi koordinator gjysmëllogaritor. Ligji i Montisgerit, para së gjithash, i përket vjetërsimit të materialeve dielektrike të ngurta në transformatorët me vaj dhe përvende ku ndryshimet e temperaturës janë në kufij të vegjël. Pavarësisht nga kjo, të dhënat që mund të përfitohen prej këtij ligji ose prej ndonjë shprehje tjetër analitike duhet të pranohen me një rezervë.

Te dhëna të sakta mund të jepin vetëm matjet eksperimentale që përfitohen me eksperiment në metariale përkatëse dielektrike, të cilat u nënshtrohen kushteve adekuate të punës.

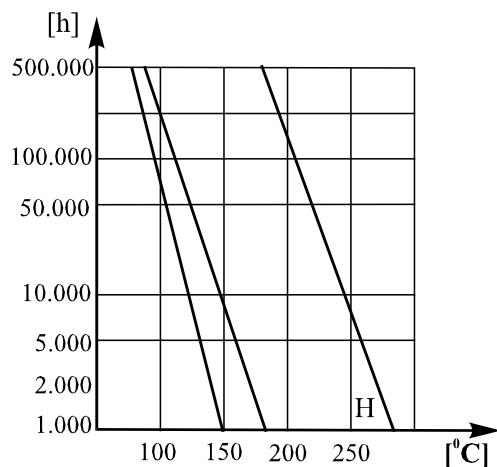


Fig.3.26. Kohëzgjatja e mbështjellave izoluese të realizuara me materi. izol. të klasës A, B dhe H në funksion të temperaturës.

3.2.7. VJETËRSIMI ELEKTRIK I MATERIALEVE IZOLUESE

Vjetërsimit elektrik të materialeve në kohën e fundit po i kushtohet vëmendje e posaçme. Po bëhen matje dhe analiza të llojillojshme përmes të vërtetuar këtë fenomen që iu nënshtrohen materialet dielektrike. Është konstatim i përgjithshëm se materialet e ndryshme nuk vjetërsohen njëloj nga ndikimi i madhësive elektrike. Rol më të rëndësishëm fenomenet elektrike kanë në ndryshimin e veçorive dielektrike të materialet organike izoluese. Ndikim më të madh kanë zbrazjet e pjesërisht me brendshme në poret e materialeve të ngurta. Përkundër këtij konstatimi, ende nuk është sqaruar mirë procesi i zbrazjeve dhe ndikimi i tij në materiale dielektrike.

Ekuacionet empirike të cilat fort i afrohen shpjegimit të kohëzgjatjes së materialit izolues e që me kohë të gjatë i nënshtrohen veprimit të tensionit, shpeshherë nuk mund t'i përfshijë në vete të gjitha parametrat që ndikojnë në materiale. Një ekuacion empirik i cili e shpjegon kohëzgjatjen e materialit dhe që i nënshtrohet tensionit U , është i formës:

$$D_E = BU^{-m} \quad (3.60)$$

ku: B dhe m janë konstante të përcaktuara eksperimentalisht. Duhet pasur parasysh se tensioni alternativ ka ndikim të madh në vjetërsimin e materialeve izoluese.

3.3. NDARJA E MATERIALEVE IZOLUESE

Materialet izoluese paraqiten në numër të madh të të tri gjendjeve të tyre aggregate. Në mes të këtyre materialeve ka ndryshime të mëdha sa i përket veçorive kimike, elektrike, termike dhe mekanike, strukturës dhe prejardhjes etj. Kjo shumëfarësi e materialeve dielektrike e vështirson klasifikimin e tyre. Megjithatë, ne do të bëjmë ndarjen e materialeve sipas prejardhjes dhe përfitimit të tyre.

Materialet izoluese sipas prejardhjes ndahen në dy grupe:

1. materiale izoluese inorganike dhe
2. materiale izoluese organike.

Materialet izoluese inorganike ndahen në:

1. materialet izoluese inorganike natyrore,
2. materialet izoluese inorganike të përfituar me përpunimin dhe sintezën e materialeve inorganike natyrore.

Materialet izoluese organike ndahen në:

1. materiale organike natyrore,
2. materiale të përfituar me përpunimin e materialeve organike natyrore dhe
3. materiale organike artificiale të përfituar me sintezën e materialeve natyrore të molekulave të ulëta.

Për të dhënë shënimëve përfarë materiali të ndonjë grupi të sipërmendur, shpeshherë bëhet edhe ndonjë klasifikim tjetër, sepse klasifikimi i mëparshëm nuk mund të përfshijë të gjitha grupet e materialeve izoluese, ose të paktën nuk ka mundësi që nëpërmjet një klasifikimi të përfshihen të gjitha materialet.

Klasifikimi i mëparshëm i bërë përnga prejardhja dhe struktura kimike e materialeve, është klasifikimi më i gjeneralizuar i mundshëm për materiale dielektrike të gjendjes së lëngët, gaztë dhe të ngurtë.

3.3.1. MATERIALET INORGANIKE NATYRORE LISKUNI

Liskuni është mineral që ka përbërje të komplikuar dhe më së shpeshti gjendet si silikati i kaliumit, aluminiumit dhe magnezit. Liskuni është i njohur me emër “MIKA”. Për shkak të veçorive të mira elektrike, dielektrike dhe qëndrueshmërisë së madhe në temperaturat të larta, liskuni përdoret shumë në teknikën e izolimit. Zakonisht, në përbërjen e vet, si mineral, i ka të lidhura kimikisht dy molekula të ujit.

Liskuni është material kristalik, i cili kristalizohet në pllaka të rrafshata me trashësi 4 cm dhe sipërfaqe 350 cm^2 , të cilat leht coptohen në fletëza të holla me trashësi 6 mm.

Liskuni i papërpunuar përmban shumë përzierje, por liskuni ka rrëth 10%.

Bloqet e liskunit klasifikohen në xehore, e mandej coptohen në dimisione të ndryshme. Ky lloj liskuni është lëndë e parë për përfitimin e prodhimeve të ndryshme të cilat, në masë të madhe kanë veçori të mira dielektrike.

Nga të gjitha llojet e liskunit, që gjenden në natyrë, për elektroteknikë rëndësi më të madhe kanë:

- a) muskoviti apo liskuni i kaliumit ($\text{K}_2\text{O} \otimes \text{Al}_2\text{O}_3 \otimes 6\text{SiO}_2 \otimes \text{H}_2\text{O}$), i cili në gjendje të pastër është gati i pangjyrë dhe i tejdukshëm, me sipërfaqe të rrafshta dhe të ngjitura,
- b) fllogopiti ose liskuni i magneziumit, që ka këto përbërje kimike ($\text{K}_2\text{O} \otimes \text{Al}_2\text{O}_3 \otimes 2\text{MgO} \otimes 2\text{SiO}_2 \otimes \text{H}_2\text{O}$), rrallë është i pangjyrë, por ka ngjyrë të verdhë, të kuqe ose të gjelbër, ndërsa sipërfaqet janë më pak të ngjitura se te muskoviti.

Veçoritë e liskunit varen nga pastërtia dhe prejardhja e tij. Pikërisht për këtë shkak, veçoritë e tij ndryshojnë në kufij të gjerë. Në tabelën e mëposhtme janë dhënë veçoritë e muskovitit dhe fllogopitit, si përfaqësues me veçori më të mira dielektrike.

Në bazë të këtyre veçorive, shihet se liskuni ka veçori shumë të mira dhe humbje të vogla dielektrike, është rrezistent në temperaturat të larta, ka higroskopitet prej (0,18-0,24)%, etj.

Tab.3.3. Disa veçori të muskovitit dhe fllogopitit

Veçoritë	Muskoviti	Fllogopiti
Dendësia (kg/m^3)	2600-3200	2600-3200
Temperatura e lejuar e punës ($^{\circ}\text{C}$)	500-600	600-900
Soliditeti në zgjatje (N/mm^2)	150-250	100-200
Soliditeti në shtypje (N/mm^2)	450-550	350-450
Rrezistenza specifike elektrike në 20°C	$10^{12}-10^{15}$	$10^{11}-10^{12}$
Dielektriciteti relativ	6-8	5-6
Humbjet dielektrike për:		
- 50 Hz	$0,2-1,3 \times 10^{-3}$	$0,2-1,5 \times 10^{-3}$
- 1,0 Mhz	$0,1-0,3 \times 10^{-3}$	$1-5,0 \times 10^{-3}$
Soliditeti dielektrik (kV/m)	$(25-70) \times 10^3$	$(25-70) \times 10^3$

Mikaniti

Nga liskuni mund të përfitohen edhe prodhime tjera të cilat në masë të madhe i mbajnë veçoritë e liskunit natyror. Më i rëndësishmi është MIKANITI, i cili përfitohet prej fletëzave të liskunit të përzierë me rrëshirat epokside, shellak dhe silikone alkide, si materiale lidhëse. Pas përzierjes, nën shtypje dhe prerje, i jipet forma e përshtatshme në formë gypash, ose pllakash. Mikaniti përdoret për izolim te makinat rrotulluese (izolimin e llamellave të kolektorit) etj.

Mikafoliumi

Mikafoliumi përbëhet prej një ose më shumë shtresash të liskunit, të ngjitura me materiale të përshtatshme ngjitime në letër të hollë. Në vend të letrës mund të përdoret si bazë edhe pambuku, mëndafshi, pëlhura fijesh qelqi etj. Materiali i përfituar në këtë mënyrë është i lakueshëm dhe se mund të përdoret te makinat e mëdha. Duke i nxe, leht ngjitet për përcues dhe pas ftohjes mbetet e ngjitur. Në këtë mënyrë bëhet izolimi i mbështjellave të makinave elektrike. Përgjatë ngjitus duhet që shtresa e liskunit të këthehet kah sipërfaqja e përcuesit.

Mikaleksi

Mikaleksi përfitohet duke e përzierë liskunin e bluar me qelqin e baritit. Përzirja e përfituar piqet, duke i dhënë më parë formën e dëshiruar. Materiali i përfituar në këtë mënyrë ka soliditet të madh. Mikaleksi ka temperaturë të lejuar të punës $300-400^{\circ}\text{C}$; rezistenza specifike elektrike e tij ka vlerën $10^{11}-10^{12} \text{W/m}$, ndërsa permetiviteti i tij është 8-10. Mikaleksi karakterizohet me humbje dielektrike më të mëdha se muskoviti dhe fllogopiti. Humbjet për mikaleksin janë: për 50Hz, $(1-7) \times 10^{-3}$, ndërsa për 1Mhz janë $(1-2) \times 10^{-3}$.

Azbesti

Azbesti është mineral me strukturë pejzore. Kristalet e formuara në formë lineare janë pak të ngitura në mes veçori, prandaj fare leht mund tëndahan në fije. Në elektroteknikë, azbesti kryesisht përdoret në formë shtresash, i cili paraqet silikatin e magneziumit me një sasi të caktuar të ujit të kristalizuar. Përveç elementeve tjera që e karakterizojnë azbestin, ai është më kualitativ sa më të gjata i ka fijet. Kjo gjatësi mund të arrijë gjer në 100mm. Zakonisht, fijet e tij janë diçka më të shkurtra. Diametri i fijeve të azbestit e ka vlerën gjerë më 5mm.

Në natyrë, azbesti mund të gjendet si:

- si silikat te magneziumit me një sasi të ujit të kristalizuar dhe
- si silikat te kalciumit dhe magneziumit me një sasi të hekurit.

Për sa i përket veçorive elektrike të azbestit, ai paraqet izolator të dobët. Për shkak të humbjeve të mëdha dielektrike dhe soliditetit të vogël dielektrik, nuk është i përshtatshëm për izolim në teknikën e tensioneve të larta, dhe frekuencave të larta. Përveç kësaj, azbesti është material higroskopik. Afiniteti i tij për thithjen e ujit është rreth 2-3%, me ç'rast shumë i zvogëlohet rezistenca specifike elektrike. Veçoritë themelore të azbestit janë dhënë në tabelën (tab.3.4).

Tab. 3.4. Disa veçori themelore te azbestit

Veçoritë e azbestit	Vlerat numerike
Dendësia (kg/m^3)	2300-2600
Rezistenca specifike elektrike [Wm]	10^7 - 10^9
Humbjet dielektrike për 800 Hz	0,1-0,2
Permetiviteti	-
Soliditeti dielektrik [kV/mm]	0,5-2
Temperatura e shkrijes [$^\circ\text{C}$]	1550

Edhe përkundër veçorive të këqija dielektrike, azbesti ka gjetë zbatim në elektroteknikë. Azbesti është material i butë, dhe pa ndryshime qëndron në temperaturë gjer 450°C . Për këtë shkak, azbesti përdoret te aparatet elektrike te të cilat paraqiten temperatura të larta, si te trupat elektrikë të nxehëtë, makinat elektrike, sipërfaqet e të cilave mbrohen nga harku elektrik, etj. Azbesti përdoret në formë pluhuri, fijesh, përlurash, pllakash etj.

Për ta eliminuar hidroskopitetin e azbestit, atë shpeshherë e lyejmë me llakna izolues dhe rrëshira të ndryshme. Kështu, azbesti i impregnuar bëhet jo higroskopik dhe mekanikisht më i qëndrueshëm. Me rastin e impregnimit, azbestit i zvogëlohet rezistenca në temperaturë të larta. Megjithatë, në varësi nga llaknat izolues që përdoren, azbesti mund të klasifikohet në grupin e materialeve të klasës B gjer në H të bërë sipas IEC-es.

Kuarci

Kuarci është dioksid i ciliciumit të pastër (SiO_2). Shpeshherë gjendet edhe si rërë e kuarcit. Kristalizohet në formë prizme heksagonale, duke përfunduar me piramidë.

Kuarci ka veçori të mira izoluese piezoelektrike, (tab.3.5.).

Tab. 3.5. Disa veçori themelore të kuarcit

Veçoritë e kuarcit	Vlerat numerike
Dendësia (kg/m^3)	2000-2200
Soliditeti në têrheqje (N/mm^2)	70-120
Rezistenca specifike elektrike (Wm)	$10^{15}-10^{16}$
Permetiviteti relativ (ϵ_r)	3,5-3,7
Humbjet dielektrike ($\text{tg}\delta$) për (0,3-1) MHz	$1-1,7 \times 10^{-4}$
Soliditeti dielek. (ed), (kV/mm , (20°C))	25-40

Kuarci përdoret si material piezoelektrik për stabilizimin e frekuencës së qarqeve osciluese në telekomunikacion. Prej tij përpunohet qelqi i kuarcit, i cili lëshon edhe rrezet ultravjollce dhe është i qëndrueshëm në temperaturat të larta. Kuarci ka rëndësi përfitimin e porcelanit. Shpeshherë përdoret edhe si material mbushës te materialet sintetike, si material për shuarjen e harkut elektrik te siguresat shkrirëse etj.

Për të aritur rezultate sa më të mira izolimi, kuarci duhet të jetë sa më i pastër (99,5%) dhe të ketë granulim të caktuar.

3.3.2. MATERIALET IZOLUESE INORGANIKE TË PËRFITUARA NGA MATERIALE NATYRORE

Qelqi

Qelqi është lëng i ftohur me prejardhje inorganike, i cili ka strukturë amorfë. Kalimi prej gjendjes së lëngët në gjendje të ngurtë bëhet shkall-shkallë, për interval të gjatë të temperaturës. Përgjatë kësaj, viskoziteti i qelqit rritet me zvogëlimin e temperaturës, përderisa mos të forcohet masa.

Gjatë përfitimit të qelqit, së bashku zhyten oksidet që përbëjnë masën e qelqit dhe oksidet e metaleve. Struktura është e atillë që masat e qelqit formojnë rrjetën poroze në zbratztitë e të cilës vendosen oksidet e metaleve. Për shkak të numrit të madhe të oksideve që marrin pjesë për përfitimin e qelqit, ekziston një numër i madh qelqesh, kombinimesh dhe llojesh. Megjithatë, lënda prej të cilit përfitohet qelqi mund të klasifikohet në dy grupe të mëdha:

1. në grupin e parë bëjnë pjesë: gëlqerja e pashuar (CaO), oksidi i bariumit (BaO), boraksi (B_2O_3), monoksidi i plumbit (PbO), oksidi i hekurit (Fe_2O_3), oksidi i magneziumit (MgO), oksidi i zinkut (ZnO) dioksidi i siliciumit (SiO_2) etj.
2. në grupin e dytë të materialeve prej të cilave përfitohet qelqi janë: Oksidi i aluminit (Al_2O_3), oksidi i kaliumit (K_2O), oksidi i natriumit (Na_2O) etj.

Prezenca më e madhe e materialeve të grupit të parë e rritë rezistencën specifike të qelqit, ndërsa sasia më e madhe e materialeve të grupit të dytë e zvogëlon rezistencën specifike. Përzierja adekuate nga e cila përfitohet qelqi, shkrihet në furra në temperaturë $1400\text{-}1600^\circ\text{C}$, varësisht nga përbërja, dhe me procesin e fryrjes, prerjes, tërheqjes dhe shtypjes masës së lëngët i jipen forma te dëshiruar.

Për elektroteknikë, më të rëndësishëm janë qeljet që nuk përbëjnë alkale, përkatësisht qelqi E. Qelqi i tillë ka veçori të mira dielektrike. Në (tab.3.6.) janë dhënë vlerat mesatare të disa veçorive themelore të qelqit.

Tab.3.6. Disa veçori themelore të qelqit

Veçoritë e azbestit	Vlerat numerike
Dendësia (kg/m^3)	2200-6300
Soliditeti në zgjatje [N/mm^2]	50-100
Soliditeti në shtypje [N/mm^2]	500-1500
Rreztenca specifike elektrike [W/m]	$10^9\text{-}10^{15}$
Humbjet dielektrike ,tg δ	$(0,5\text{-}25)\times 10^{-3}$
Permetiviteti relativ, ϵ	5-12
Soliditeti dielektrik [kV/mm]	20-50

Në pikëpamje mekanike qelqi është material i ngurtë dhe i ndijshëm në ndërrimin e temperaturës. Me ftohjen e menjëherëshme, në qelq paraqiten sforcime të brendshme. Këto çregullime duhet të elemiñohen me nxemje të sërishtme, sepse do të bëhen plasaritjet e qelqit.

Ngase thyhet leht, qelqi është material i papërshtatshëm për izolim në vende ku janë prezente lëndimet mekanike. Megjithatë, janë përfituar qelqe me përbërje të silikateve të ndryshme që bukur shumë ia përmirësojnë kushtet mekanike të tij. Sa iu përket veçorive elektrike, qelqi pothuaj i ka veçoritë e porcelanit. Veçoritë e tillë të qelqit (veçori të mira dhe mekanike) kanë mundësuar përdorim në teknikën e izolimit të jashtëm, në tensione të larta - në mbarimin e izolatorëve të montazhës së jashtme.

Në pikëpamje elektrike qelqi, supozohet si material i mirë izolues i cili ka soliditet të madh dielektrik, rezistencë të madhe specifike elektrike të brendshme. Por, me rritjen e temperaturës, qelqi i rritet permetiviteti dhe humbjet dielektrike.

Varësia e rezistencës specifike e qelqit ndaj temperaturës është e madhe, dhe për diapazonin e temperaturës rrëth 800°C kjo varësi mund të shprehet me shprehjen:

(3.61)

ku: r_B - rezistenca e brendshme e qelqitit, A dhe B janë konstante, ndërsa T paraqet temperaturën absolute.

Qelqi mund të merret si material rezistent ndaj lagështisë, thartirave inorganike dhe organike. Vetëm thartina klorhidrike e bren qelqin.

Veçoritë termike të qelqit janë relativisht të dobëta. Komplikime të veçanta paraqet përcueshmëria e dobët termike e tij dhe kur ndryshimet e tempraturës janë të lokalizuara në sipërfaqe të vogëla, mund të paraqiten si shkaktare të plasaritjeve të ndryshme të qelqit.

Ngjitja e pjesëve të qelqit me pjesë të ndryshme të metaleve për izolim paraqet problem të veçantë. Kjo është pasojë e ndryshimit të madh të koeficientit termik të bymimit linear të qelqit dhe metaleve. Megjithatë, zgjidhja e këtij problemi është e mundshme, ngase prodhohen tipe të ndryshme qelqesh, të cilat mundësojnë ngjitje të tillë me metale-përçues metalik. Mënyra e ngjitjes së qelqit me metale bëhet kur qelqi është në gjendje plastike. Kështu plasaritjet janë të mundshme me rastine e ftohjes së qelqit të metaleve. Rezultate të mira janë fituar duke e përdor lëgurën e hekurit dhe niklit, me rrëth 50%Ni, hekur dhe krom, platinë, volfram dhe molibden. Këto lëgura, në një diapazon të gjerë të temperaturës, kanë koeficient termik të bymimit linear përafërsisht të njëjtë me të qelqit.

Përdorimi i qelqit në elektroteknikë është i madh edhe i shumëfarshëm. Përdoret për gypa transparentë (poçë elektrike, në teknikën e vakuumit, gypa elektronik të fuqive të mëdha etj.). Përveç kësaj, qelqi përdoret si material izolues dhe rezistent ndaj substancave agresive dhe brejtëse për bateri akumulatorësh stacionar, izolim të jashtëm etj.

Fijet e qelqit përfitohen prej qelqit të shkrirë në enë, e cila në pjesën e poshtme i ka të hapura disa vrime. Për shkak të peshës së qelqit dhe ndikimit të forcës së gravitacionit, dalin fije të holla qelqi. Me ndihmën e cilindrit rrotullues tërhiqen këto fije dhe mbështjellen në të, duke përfituar në këtë mënyrë fije shumë të holla me diametër edhe gjerë 5-7mm. Rëndësi të veçantë te fijet e holla prej qelqi ka diametri i tyre.

Prej fijeve të qelqit mund të përfitohen prodhime të ngjashme me ato që përfitohen nga fijet e materialeve organike izoluese, por më tepër mund të përfitohen pëlhura të ndryshme. Fijet e qelqit janë të qëndrueshme ndaj thartirave dhe praktikisht janë materiale johigrokopike. Në Tab. 3.7. janë dhënë disa veçori themelore të fijeve të qelqit.

Tab.3.7. Disa veçori themelore të fijeve të qelqit

Veçoritë e fijeve të qelqit	Vlerat numerike
Dendësia [kg/m^3]	2540
Soliditeti në tërheqje [N/mm^2]	1000-2000
Zgjatja [%]	1,5
Rezistenza specifike elektrike [Wm]	3×10^{13}
Permetiviteti relativ dielektrik ϵ_r , për 50 Hz	6,43
për 10^{10} Hz	6,11
Humbjet dielektrike tgd për 50 Hz	$4,2 \times 10^{-3}$
për 10^{10} Hz	6×10^{-2}
Soliditeti dielektrik, E_d [kV/mm]	3,7

Në bazë të të dhënave që u përmenden më sipër mund të konstatojmë se qelqi ka:

- rezistencë të madhe izoluese,
- soliditet të madh dielektrik,
- qëndrueshmëri të madhe ndaj lagështisë,
- fortësi të madhe mekanike,
- qëndrueshmëri të madhe ndaj ndryshimit të temperaturës.

Fijet e qelqit kanë soliditet dielektrik më të madhe në temperaturën 200°C. Kjo me rritjen e mëtutjeshme fillon të bijë gjër në zbutje - temperaturë rreth 600°C.

Këto veçori të fijeve të qelqit dhe të prodhimeve të tij në formë pëlzure (mëndafshi prej qelqi etj.), bëjnë që fijet e qelqit të përdoren në vende izoluese ku nuk mund të përdoren materiale tjera. Këtu para së gjithash, fjala është për përdorimin e materialeve izoluese te rritja e temperaturës, p.sh., te mbështjellsat e makinave elektrike që punojnë në kushte të vështira pune.

Përparësitë e përdorimit të fijeve të qelqit si materiale izoluese, në krahasim me azbestin dhe pambukun, janë se mbështjellsat e izoluar me fije të qelqit kanë koeficient më të mirë mbështjellës, sepse zvogëlohet pesha e përgjithshme e makinës dhe kanë qëndrueshmëri më të madhe për ruajtjen e veçorive izoluese me rritjen e temperaturës.

Për shkak të soliditetit dielektrik dhe soliditetit të madh mekanik, pëlthurat prej fijeve të qelqit përdoren për ndërtimin e elementeve izoluese, të cilat u nënshtrohen sforcimeve elektrike dhe mekanike. Sidomos, rezultate të mira përfitohen duke bërë impregnimin e fijeve të qelqit me rrëshira epokside në vakuum. Në këtë mënyrë përmirësohen edhe më shumë veçoritë izoluese të fijeve të qelqta.

Materialet qeramike

Qeramika paraqet masë pak a shumë të zbutur plastike inorganike në temperaturën e dhomës të cilën kur e lagim mund t'i japim formën e dëshiruar në gjendje të ftohtë. Me procesin e pjekjes, këto përzirje fortësohen duke u zhvilluar në atë rast reaksione kimike. Pas pjekjes, përfitohet materiali final që i humb veçoritë plastike.

Për përfitimin e masave qeramike, më së shumti përdoren këto materiale:

- kaolina (silikati i aluminit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$),
- kuarci (SiO_2),
- feldspati ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$),
- silikati i magneziumit i koncentruar ose i zbutur, ($3-4\text{MgO}$, $4-5\text{SiO}_2$, $1-1,5\text{H}_2\text{O}$)
- diokside i cirkoniumit (ZrO_2),
- diokside i titanit (TiO_2),
- titanati i magneziumit etj.

Nga sasia e pjesëve të ndryshme në përbërjen e masave qeramike, varen veçoritë e prodhimeve finale të tyre. Mundësia e kombinimeve të mëdha të materialevë të ndryshme për përfitimin e qeramikës, ka bërë të mundur përfitimin e një numri të madh materialesh të tillë.

Për shkak se lënda e parë për të përfituar qeramikën kushton relativisht lirë dhe veçorive të mira izoluese që ka, këto materiale kanë përdorim të gjërë në teknikën e izolimit. Veçanërisht qeramika përdoret në elektroteknikë si material i mirë izolues.

Ngase deri më sot janë përfituar më se 10000 lloje të materialevë qeramike, është shumë vështirë të bëhet klasifikimi i tyre.

Te ne nuk është bërë ndonjë klasifikim i materialevë qeramike, por është përvetsuar klasifikimi i bërë në bazë të normave DIN.40685. Sipas këtij standardi, masat qeramike ndahen në shtat grupe kryesore:

1. Masat qeramike me bazë të silikatit të aluminit - porcelani (grupi 100)
2. Masat qeramike me bazë të silikatit të magneziumit - steatitet (grupi 200)
3. Masat qeramike me sasi të mëdha të titan dioksidit - rutilet (grupi 300)
4. Masat qeramike me koeficient të vogël të bymimit linear me përbërje të konsiderueshme të hidrosilikatit të magneziumit (grupi 400)
5. Qeramika okside poroze (grupi 500).
6. Qeramika okside (grupi 600) dhe
7. Masat qeramike me përbërje të oksideve (vetëm prej oksideve) (grupi 700).

Nga ky grup për izolime në elektroteknikë përdoren vetëm materialet qeramike të grupit të parë (grupi 100) dhe grupit të dytë (grupi 200), ndërsa materialet e grupeve tjera përdoren vetëm në raste të veçanta.

Procesi teknologjik i përfitimit të masave qeramike, skematikisht është paraqitur në Fig. 3.27.

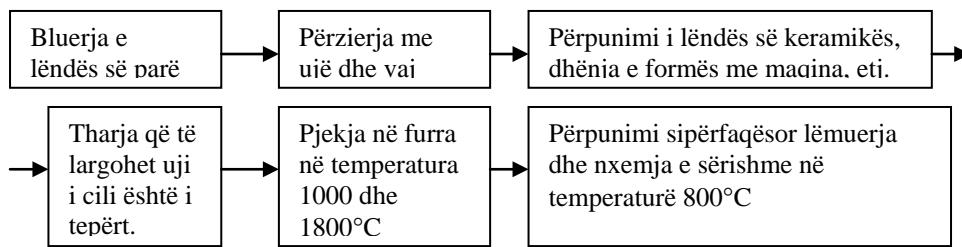


Fig. 3.27. Paraqitja skematike e procesit teknologjik të përfitimit të masave qeramike

Gjatë procesit të pjekjes së lëndës qeramike zhvillohen disa procese fizike dhe kimike, me anën e të cilave masat qeramike e formojnë strukturën përfundimtare dhe përbërjen kimike. Gjatë pjekjes, masat qeramike tkurren gjer 20%. Masa e pjekur e qeramikës, zakonisht, ka sipërfaqe të vrazhtë. Në atë sipërfaqe leht sedimentohen papastërti të ndryshme. Për këtë shkak sipërfaqet e materialeve qeramike lyhen me shtresë të hollë materiali të njëjtë. Ky material ka pikën e shkrirjes më të ulët, dhe gjatë shkrirjes formohet masa me strukturë qelqi. Mbas lyerjes së masës qeramike me këtë shtresë, përsëri futet në furrë dhe piqet në temperaturë rrëth 800°C. Kështu, sipërfaqet e materialeve qeramike bëhen me glazurë e cila i mbron dhe bukur shumë ndikon në veçoritë e përgjithshme mekanike.

Veçoritë e materialeve qeramike në masë të madhe varen prej përbërjes dhe procesit të përfitimit. Në përgjithësi, të gjitha materialet qeramike janë, për nga natyra, materiale të ngurta. Kryesisht janë materiale të thyeshme por u qëndrojnë forcave në tërheqje dhe shtypje. Këto materiale janë përcues të dobët të nxehësisë. Në temperaturë të mëdha, shpeshherë mund të ngajnjë sforcime të brendshme dhe plasaritjet e tyre.

Porcelani (Grupi 100 i materialeve qeramike)

Porcelani përfitohet prej kaolinës, feldespatit dhe kuarcit. Përbërsi kryesor i porcelanit është kaolina. Përqindja e këtyre materialeve në porcelan është:

- kaolina 40-55%
- kuarci 20-40% dhe
- feldespati 15-25%.

Këto komponente kanë ndikim të madh në veçoritë e përgjithshme të porcelanit. Sasia e feldespatit e rritë soliditetin dielektrik, kuarci i përmirson veçoritë mekanike, ndërsa kaolina ndikon në veçoritë termike të porcelanit.

Porcelani më së shumëti përdoret për përfitimin e izolatorëve të tensionit të lartë. Ka veçori të mira mekanike dhe elektrike. Porcelani është material johidroskopik, por ka humbje të mëdha dielektrike, që në masë të konsiderueshme rriten me rritjen e temperaturës.

Porcelani nuk i duron goditjet, ndonëse ndaj ndikimit të forcave në shtypje dhe zgjatje është mjaft i qëndrueshëm.

Steatiti

Steatiti u përket materialeve të grupit 200 të qeramikës. Steatiti, kryesisht përbëhet prej silikatit të magneziumit, me strukturë kristalike, e cila i mundëson të ketë veçori më të mira dielektrike se porcelani (humbje të vogla dielektrike, mekanikisht dhe termikisht më i përshtatshëm se porcelani).

Steatiti përdoret për mbarimin e disa pjesëve të izolatorëve, të cilat i referohen ndikimit të madh të sforsimeve mekanike, termike. Në këto kushte pune, pjesët prej steatitit i ruajnë veçoritë e të mira izoluese.

Prej këtij materiali përpunohen shtëpizat e siguresave shkrirëse, pjesë të ndërpresve në aparate elektrike, elementet mbajtës izolues etj.

Grupin e materialeve të steatitit e përbëjnë një numër imadh materialelsh qeramike me veçori që ndryshojnë shumë në mes veçori. Kështu, llojet e steatitit: Frekventi dhe Kaliti të cilët karakterizohen me humbje faze të vogla dielektrike (rreth 3% të humbjeve të steatitit normal, të permetivitetit të madh), përdoren për mbarimin e kondensatorëve, por edhe si izolatorë në aparate të frekuencave të larta.

Masat qeramike meratile (Grupi 300 i masave qeramike)

Këto masa qeramike përbëhen prej oksideve të pastërtë metalike, nga të cilat më të rëndësishmet janë dioksidi i titanit (TiO_2) dhe dioksidi i cirkoniumit (ZrO_2). Veçori kryesore e këtyre materialeve është permetiviteti i madh dielektrik në drejtim të boshtit të kristaleve, vlera relative e të cilët mund të arrijë gjér në 175 në drejtimin normal mbi boshtin e kristaleve, permetiviteti relativ ka vlerë shumë më të vogël, por ende është vlerë e madhe (rreth 85). Përveç disa veçorive të dobëta elektrike (soliditeti dielektrik dhe rezistenca e vogël elektrike), ky material do të ishte shumë i përshtatshëm për kondensatorë të frekuencave të larta. Mirëpo është i papërshtatshëm për përpunim. Pikërisht për këtë i shtohet rreth 10% silikat të magneziumit, me ç'rast vlera e permetivitetit relativ i bie në 80. Me rritjen e mëtejshme të silikatit të magneziumit, vlera e permetivitetit relativ ϵ i zvogëlohet edhe më shumë.

Këto masa qeramike kanë koeficient termik negativ. Duke i shtuar rutileve masa të konsiderueshme materialesh tjera, mund të përfitohen masa qeramike, permetiviteti relativ i të cilave nuk varet nga temperatura.

Masat qeramike me përbërje të madhe rutilesh janë Kerofoli dhe Kondezi. E metë e këtyre materialeve është se kanë humbje të mëdha dielektrike. Por me

shtimin e sasisë së dieoksidit të cirkoniumit, zvogëlohen humbjet dhe përfitohen materiale humbjet e të cilave nuk varen prej temperaturës dhe frekuencës. Ato bëhen materiale të përshtatshme të përdoren si dielektrikë te kondensatorët. Varësia e permetivitetit prej sasisë së rutileve në përqindje është dhënë në Fig. 3.28.

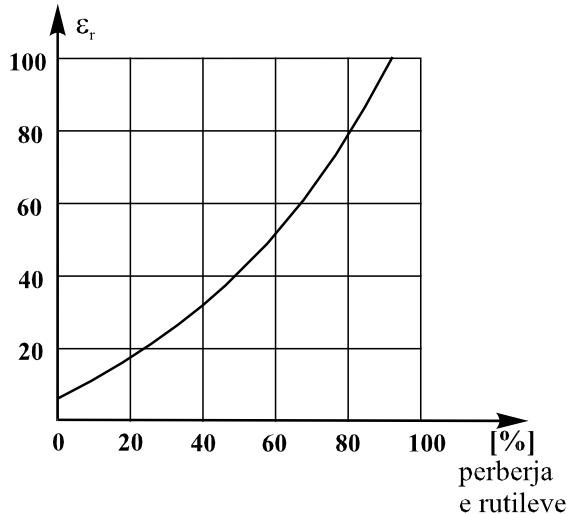


Fig. 3.28. Varësia e permetivitetit relativ prej sasisë së rutileve në material

Materialet qeramike të grupe 400

Veçoritë elektrike dhe mekanike këto materiale i kanë të ngjashme me porcelanin, por kanë disa përparësi në pikëpamje termike, ngase karakterizohen me koeficient të vogël të bymimit termik, pa u prishur mund të durojnë temperatura të larta. Janë të qëndrueshme edhe në ndryshime të temperaturës. Zakonisht përdoren në vende ku rritet temperatura, si me rastin e shndërrimit të energjisë elektrike në termike - efekti i Xhilit. Zakonisht vendoset si material në furrat elektrike, mbajtës të ndryshëm termikë etj.

Materialet qeramike të grupe 500

Karakteristike e këtyre materialeve është poroziteti i madh. Si rezultat i kësaj gjendjeje, veçoritë mekanike të këtyre materialeve janë shumë të këqija në krahasim me steatitin. Për shkak të porozitetit, këto materiale shumë e thithin ujin. Zakonisht përdoren si mbajtës të trupave të nxehë të aparatet elektrike edhe në furrat elektrike, si material mbrojtës ndaj veprimit të harkut elektrik në gypat elektrik etj.

Materialet qeramike të grupit 600

Karakteristikë e këtyre materialeve është se kanë përçueshmëri të mirë të nxehësisë, janë mjaft të qëndrueshëm ndaj temperaturave të larta dhe ndikimit direkt të flakës dhe kanë veçori të mira mekanike. Zakonisht përdoren në ato vende ku aparatet duhet të punojnë në kushte të vështira termike dhe sforcime mekanike p.sh., për kandela, gypa izolues dhe mbrojtës për termoelementë etj.

Materialet qeramike të grupit 700

Këto materiale përfitohen prej oksideve të pastërtë (oksidit te aluminit, cirkoniumit, magneziumit etj.) dhe dallohen për qëndrueshmëri të madhe mekanike, përçueshmëri termike dhe rezistencë të madhe të brendshme. Kanë përdorim të njëjtë sikur materialet qeramike të grupit 600.

Tab.3.8. Disa veçori themelore të materialeve qeramike të grupeve të ndryshme

Veçoritë e materialeve qeramike	GRUPET E MATERIALEVE QERAMIKE						
	100	200	300	400	500	600	700
Dendësia (kg/m^3)	2300-2500	2600-2800	3500-5000	2100-2200	1800-2100	2600-3300	3700-3900
Thithja e ujit në %	0	0,5	0	0	3-15	0	0
Soliditeti në zgjatje (N/mm^2)	25-35	45-60	15-80	25-35	10-20	40-100	260
Soliditeti në lakim (N/m^2)	400-450	800-1000	100-900	300-500	200-350	700-1500	3000
Koef. linear i bym. ($\text{D}-100^\circ\text{C}$, 10^{-6}C^{-1})	$3,5-4,5 \times 10^{-6}$	$6-9 \times 10^{-6}$	$6-10 \times 10^{-6}$	10^{-6}	$1,5-5 \times 10^{-6}$	$5-6 \times 10^{-6}$	$5-7 \times 10^{-6}$
Këndi i humb. diel. për 50 Hz për 1 MHz	$1,7-2,5 \times 10^{-3}$ $6-12 \times 10^{-3}$	$1-3 \times 10^{-3}$ $0,3-2 \times 10^{-3}$	- $0,05-0,8 \times 10^{-3}$	20×10^{-3} $4-7 \times 10^{-3}$	- -	- -	$0,2 \times 10^{-3}$ $0,2-10^{-3}$
Pormet. relativ ϵ_r	6	6	12-100	5	-	-	9
r_e e brendshme (W/m)	10^9-10^{11}	$10^{11}-10^{12}$	-	10^9-10^{10}	10^4-10^6	-	10^8-10^{10}
r_s sipërfaqiore (W/m)	10^9-10^{12}	10^9-10^{12}	10^9-10^{12}	10^9-10^{12}	10^9-10^{12}	10^9-10^{12}	10^9-10^{12}
Sol. dielek. (kV/mm)	30-35	20-45	10-20	10-20	-	25-45	-

Veçoritë themelore të materialeve qeramike të grupeve të ndryshme janë dhënë në tabelën (tab. 3.8).

Duhet të ceket se këto veçori të materialeve paraqesin vlerat mesatare, sepse edhe brenda një grupi materialesh ka ndryshime në veçoritë elektrike, mekanike dhe termike.

3.3.3. MATERIALET IZOLUESE ORGANIKE NATYRORE

Materialet izoluese organike natyrore për një kohë të gjatë kanë qenë bazë për përfitimin e materialeve izoluese, të cilat përdoren te aparatet elektrike, sidomos

kur është kërkuar që të izolohen konstruksionet komplekse - kur nuk ka mundësin që izolimi të bëhet me materiale izoluese inorganike, sepse këto materiale kanë qenë të papërshtatshme përpunim dhe formë të dëshiruar. Ndonëse materialet organike natyrore kanë, shumë dobësi në kohën e fundit, me paraqitjen e materialeve sintetike, materialet organike izoluese janë eleminuar shumë. Materialet sintetike organike i kanë eleminuar disa dobësi të materialet organike natyrore si:

- a) varësinë e veçorive nga prejardhja,
- b) sasinë e konsideruar të përzierjeve në përbërjen e materialit që kërkon përpunime të veçanta,
- c) mundësinë minimale të përmirsimit të veçorive,
- d) mungesën e gjetjes etj.

Për shkak të dobësive të tyre, nuk do të ndalemi për shpjegime, përvèç të vajrave minerale.

Përfaqësuesit më të rëndësishëm të materialeve organike natyrore janë rrëshirat natyrore, vajrat dhe materialet fijore.

Rrëshirat natyrore: - qelibari, kopalli, shellaku, azokeriti etj., në temperaturatë zakonshme janë materiale të forta, por fillojnë të zbuten në temperaturatë relativisht të ulëta. Këto materiale nuk treten në ujë, treten në acide dhe tretësa tjerë. Rrëshirat natyrore përdoren pë impregnim të materialeve izoluese organike (fijore), si masa lidhëse të masave tjera izoluese inorganike, masave për derdhje etj.

Në grupin e rreshirave organike natyrore numrohet edhe bitumeni dhe asfallti, të cilët mund të kenë prejardhje minerale ose të përfituar si prodhim i procesit kimik të destilimit të naftës.

Materialet fijore organike: si mëndafshi, pambuku, juta etj. ende përdoren pë përfitimin e materialeve izoluese shtresore dhe thurjeve të ndryshme izoluese. Në tabelën e mëposhtme po japim disa veçori themelore dielektrike të materialeve organike natyrore (Tab.3.9).

Tab.3.9. Disa veçori dielektrike të materialeve fijore organike, rrëshirave organike

Veçoritë e materialeve	Shelaku	Kopalli	Qelibari	Bitumeni	Parafini
Dendësia [kg/m ³]	1000-1100	1020-1070	1050-1100	960-1050	915
Temp. e zbutjes (°C)	50-70	60-90	175-200	55-140	52
Rrez. spec. elek. (W/m)					
tgd për 50 Hz	0,008-0,01	0,001-0,01	5-15×10 ⁻⁴	0,008-0,02	1-10×10 ⁻⁴
Permet. për 50 Hz	2,3-3,8	2,5-2,7	2,65-2,9	2,4-3,3	2,5-5
Sol. dielek. (kV/mm)	20-30	14-17	20	10-60	8-20

Materialet fijore organike janë shumë higroskopike. Në kontakt me ujin, këtyre materialeve edhe më shumë u prishen veçoritë elektrike. Me impregnimin e këtyre materialeve me llakna dhe materiale tjera izoluese dukshëm iu përmirësohen veçoritë elektirke. Si të tillë, përdoren për mbështjelljen e përquesve te aparatet bashkëkohore elektrike.

Vaji mineral

Vaji mineral përfitohet prej naftës së papërpunuar përmes procesit të destinimit frakcionues. Për t'u përdorur si material izolues, duhet të pastrohet mirë dhe t'i hiqen përbërësit dhe bashkëdyzimet jostabile të hidroksidit të karbonit. Procesi fillon me veprimin e thartinës sulfurike, vazhdon me neutralizimin e tij, duke e filtruar dhe tharë.

Për shkak të veçorive të mira izoluese dhe çmimit relativisht të ulët, vaji përdoret në elektroteknikë si material izolues dhe ftohës te transformatorët energjetikë, ndërpresat e fuqisë, te kabllat e tensionit të lartë, te kondesatorët etj.

Te transformatorët vaji bën izolim të mirë të brendshëm, përcjellë temperaturën që lirohet në mbështjella si rezultat i efektit të Xhulit dhe pllaka metalike, duke e përcjellë deri në muret e kazanit të transformatorit. Për shpërndarjen e nxehtësisë, vaji duhet të ketë viskozitet të vogël, që lëvizja e vajit të bëhet pa pengesë.

Te ndërpresat me shumë ose me pak vaj, përveç rolit izolues në mes të kontakteve, ai këtu nevojitet edhe për shuarjen e harkut elektrik që lindë në mes të kontakteve, sepse me rastin e lirimit të nxehtësisë, gazrat e liruara janë mjete efikase për shuarjen e harkut elektrik.

Te kabllat dhe kondensatorët, vaji kryesisht nevojitet për impregnim të letrës, e cila te këta përdoret si material i fortë izolues për t'u eliminuar poroziteti i madh që e ka letra dhe materiale të ngajshme të cilat përdoren te aparatet elektrike. Vaji i përdorur si material impregnues, përveç që letrës ia përmirson veçoritë elektrike, ate e bën më të fortë mekanikisht.

Vaji mineral veçohet me vlerë të madhe të rezistencës specifike elektrike (rreth 10^{13} W/m). Mirëpo, me rritjen e temperaturës, vlera e rezistencës bie shumë shpejt. Permetiviteti relativ i vajit është 2,1-2,3. Për t'u përdorur edhe më tepër, vaji duhet të ketë humbje dielektrike sa më të vogëla.

Gjatë përdorimit të vajit si material izolues, relativisht shpejt i prishen veçoritë izoluese. Sidomos prezenca e ujit në përbërje të tij ia dobëson dukshëm veçoritë dielektrike. Mandej, sasitë e përbërsave tjerë dhe lirimi i gazrave dukshëm ndikojnë në prishjen e veçorive dielektrike. Për këtë shkak, vajin duhet pastruar ose ndërruar, nëse nuk i përmbyt kushtet e parapara si material izolues. Dobësimi i veçorive të vajit, është pasojë e zhvillimit të shumë proceseve në vaj gjatë eksploatimit.

Proceset më të rëndësishme, të cilat ndikojnë në prishjen e veçorive të vajit mineral, janë:

- zhvillimi i procesit të oksidimit të vajit, kur ai është në kontakt me ajrin,
- ndikimi i temperaturës në të cilën gjendet vaji,
- kontakti me metale që janë katalizatorë të vjetërsimit të tij,
- ndikimi i dritës në vaj,
- ndikimi i intensitetit të fushës nën ndikimin e së cilës gjendet vaji.

Për të eliminuar shkaqet e sipërmendura që ndikojnë në vjetërsimin e vajit, ndërmerren masa të cilat pengojnë ose e ngadalësojnë procesin e vjetërsimit të vajit. Elementet që ngadalësojnë vjetërsimin e materialeve, quhen inhibitorë. Vaji i përdorur në transformator dhe ndërprerësa me vaj rigjenerohet, duke ia larguar shtesat dhe sasinë e lagështisë.

Vaji izolues dhe avujt e tij janë materiale djegëse, dhe paraqesin rrezik permanent nga kallja. Duke marrë masa preventive, kërkohet që temperatura e djegies së vajit të jetë ma më e lartë, ose temperatura e djegies së vajit dhe te avuje të temperaturës të jetë më e madhe se temperatura e mundshme maksimale. Kjo temperaturë mund të lajmërohet te transformatorët dhe ndërpresit që te këto aparate ndodhë ndonjë mbingarkesë ose avari tjetër (përkatësisht temperatura e djegies të jetë më e madhe se 150°C). Në tabelë janë dhënë veçori elektrike, termike dhe mekanike, të vajit (Tab.3.10).

Tab. 3.10. Disa veçori themelore të vajit mineral

Veçoritë themelore të vajit mineral	Vlerat numerike
Dendësia [kg/m^3]	880-920
Viskoziteti kinetik [m^2s^{-1}]	
- në temperaturë 30°C	$3,8 \times 10^{-3}$
- në temepraturë 20°C	$4,5 \times 10^{-5}$
Temperatura e kalljes së avuje [$^{\circ}\text{C}$]	350
Soliditeti dielektrik në 20°C [kV/mm]	320
Rezistenca specifike elektrike [Wm]	
- në 20°C	10^{13}
- në 100°C	10^{10}
Humjet dielektrike tgd	
- në temperaturë 20°C	$1-5 \times 10^{-5}$
- në temperaturë 100°C	$3-15 \times 10^{-3}$
Permetiviteti relativ ϵ_r	2,1-2,3

3.3.4. MATERIALET IZOLUESE ORGANIKE TË PËRFITUARA ME PËRPUNIMIN E MATERIALEVE ORGANIKE NATYRORE

Në ndryshim nga materialet izoluese natyrore, materialet e përfituara me përpunimin e tyre, përveç që kanë diapazon të gjerë veçorish, duhet të theksohet se në këto veçori mund të intervenohet.

Këto materiale ndonëse paraqesin një hap përparrë nga pikëpamje të kualitetit në krahasim me materialet natyrore, prapëseprapë, përdorim më të gjerë kanë materialet sintetike izoluese. Për këtë shkak, do të ndalemi vetëm rrëth letrës dhe përdorimit të saj si material izolues. Përndryshe, në këtë grup bëjnë pjesë derivatet e ndryshme të celulozës, ellastomeret ne bazë të kauçukut etj.

Letra

Përbërsi kryesor i letrës është celuloza që përfitohet nga druri. Për përfitimin e letrës izoluese përdoret celuloza e pastër, e cila mbasi të ndahet nga masa e drurit, lëshohet nëpër cilindra metalikë, dhe përpunohet në dimisione të dëshiruara, dhe në fund duke e nxe në temperaturat e caktuara, largohet sasia e lagështisë së tepërt.

Në elektroteknikë, letra, përdoret për izolimin e kabllave energjetike, mbështjellës të kabllove elektrikë, për izolimin e vazhdimeve të mbështjellësave të makinave elektrike dhe transformatorëve dhe si materie dielektrike, e cila vendoset në mes elektrodash të kondesatorëve, etj.

Ajri që është prezent në përbërjen e letrës, si pjesë me rëndësi të vëllimit të saj, ndikon në masë të konsiderueshme në veçoritë dielektrike të letrës. Celuloza e pastër ka një vlerë relativisht të madhe të permittivitetit relativ ($5,5-6$), por ngasej ajri i mbush poret e fijeve të celulozës, bije vlera e ϵ në $2,2-2,7$.

Humbjet dielektrike të letrës janë relativisht të vogla, por rezistanca specifike elektrike dhe soliditeti dielektrik kanë vlera të mëdha (Tab. 3.11.).

Tab. 3.11. Veçoritë themelore elektrike dhe mekanike të letrës

Veçoritë e letrës	Letra për transformatorë	Letra për kablla
Dendësia (kg/m^3)	670-700	600-750
Soliditeti në terheqje [Nmm^{-2}]	60-80	6-80
Rezistenca spec. e brendshme [Wm]	$10^{13}-10^{15}$	$10^{13}-10^{15}$
Soliditeti dielektrik [kV/mm]	10-14	10
Permetiviteti relativ [ϵ_r]	2	1,5-3,5
Këndi i humbjeve diel. tg φ për 50 Hz	4×10^{-5}	4×10^{-5}

E metë e materialit izolues - letrës është se thithë shumë ujin. Sasia e tepërt eujit ia ndryshon në masë të konsiderueshme veçoritë dielektrike letrës. Prania e ujit e zvogëlon rezistencën specifike elektrike të brendshme të saj, ndërsa vlera e dielektricitetit relativ rritet. Uji ka dielektricitet relativ $\epsilon_r=80$.

Gjithashtu lagështia i rrit humbjet dielektrike, bën zvoglimin e soliditetit dielektrik dhe dobësimin e veçorive mekanike.

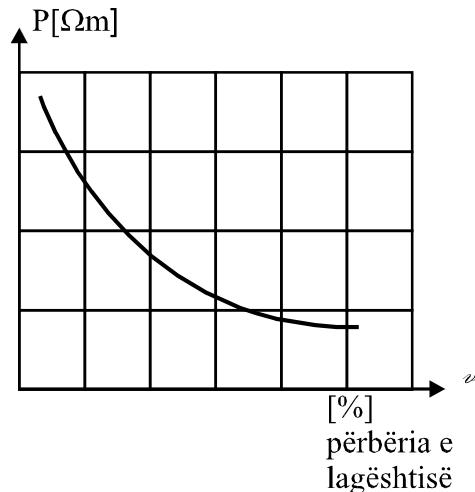


Fig. 3.29. Varësia e rezistencës specifike të letrës letrës së së kabllove nga sasia e lagështisë

Ndikim më të madh sasia e ujit ka në zvoglimin e rezistencës specifike të letrës. Në Fig. 3.29. është treguar varësia e rezistencës nga sasia e lagështisë në letër.

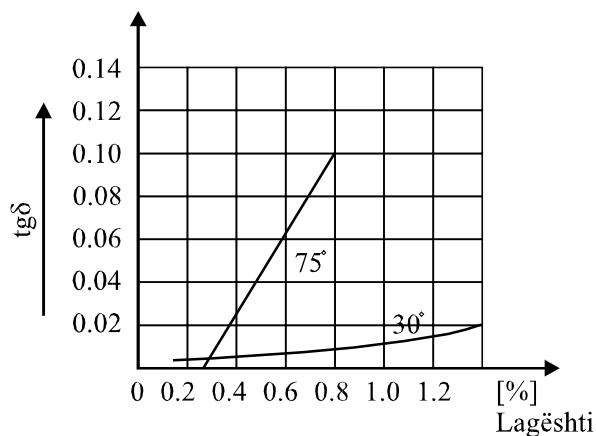


Fig.3.30. Varësia e $\operatorname{tg}\delta$ të kondensatorit nga lagështia, përfrekuencë 50Hz.

Përmes lakoreve shihet ndikimi i lagështisë edhe në ϵ' dhe σ . Në Fig. 3.30 është treguar varësia e këndit të humbjeve dielektrike, ndërsa në Fig. 3.31 varësia e dielektricitetit nga sasia e lagështisë.

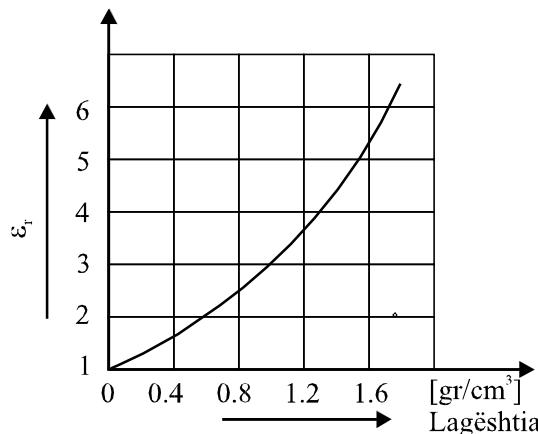


Fig.3.31. Varësia e permitivitetit dielektrik të letrës nga sasia e thithjes së ujit.

Për eliminimin e dobësive të sipërmendura, letra rregullisht impregnohet me ndonjë material izolues të lëngët, me llakna ose rrëshira izoluese artificiale. Më së shpeshti impregnimi bëhet me vaj mineral, duke e zhytur letrën në lëngun përkatës në kushte të caktuara. Varësish nga lëngu dielektrik, përfitohen edhe lloje të ndryshme të letrës së impregnuar.

Impregnimi i letrës me vaj, me ç'rast mbushen poret e letrës, mundëson që letra e impregnuar të arrijë vlerë të soliditetit dielektrik rrëth 10kV/mm për tension alternativ me frekuencë 50Hz , dhe rrëth 450kV/mm për tensione goditëse.

Përveç kësaj mënyre të impregnimit, në këto veçori ndikojnë edhe kualiteti i letrës dhe i vajit me të cilin bëhet impregnimi.

Gjatë përdorimit të letrës si material izolues, kujdes të veçantë duhet kushtuar trashësisë së saj, kështu që për kondensator përdoret letra e trashë $(5-30)\times 10^{-3}\text{mm}$, për kabllo $(15-170)\times 10^{-3}\text{mm}$, ndërsa për transformatorë përdoret letra me trashësi të mëdha.

Rezultate të mira të impregnimit janë arritë me rrëshira dhe llakna, të cilat si masa përveç impregnimit mundësojnë edhe ngjitjen e shtresave të letrës në mes veçori, duke formuar tërësi të fortë mekanikisht. Nëse impregnimi bëhet me bakelit, përfitohet letra e bakelizuar, që ka veçori të posaçme izoluese.

3.3.5. MATERIALET IZOLUESE SINTETIKE ORGANIKE

Procesi i përfitimit të materialeve shumëmolekulare

Materialet izoluese sintetike organike përfitohen në mënyrë artificiale, duke bërë sintezën e materjes shumëmolekulare me prejardhje organike ose inorganike, pra me procesin e polimerizimit, polikondensimit dhe poliadicionit të molekulave monomere në polimere.

Shkalla e sotme e teknologjisë mundëson përfitimin e një numri të madh materialesh sintetike, të cilat gati në tërësi kanë zëvendësuar materialet izoluese organike. Këto materiale karakterizohen me veçori të mira elektrike, termike dhe mekanike. Soliditeti mekanik te këto materiale arrin vlera shumë të mëdha.

Në bazë të reagimit të materialeve sintetike ndaj ndryshimeve të temperaturës, është bërë edhe klasifikimi në dy grupe:

- në materiale termostabile dhe
- në materiale termoplastike.

Materialet termostabile, gjatë procesit të përfitimit kalojnë nëpër procesin plastik dhe, me ftohje të ngadalshme bëhen materiale të forta, të patretshme dhe të pashkrijshme. Me nxehje të serishme, këto materiale nuk zbuten dhe temperatura e prishjes së tyre është $\sim 150^{\circ}\text{C}$.

Materialet termostabile, përveç veçorive të mira elektrike, karakterizohen me veçori shumë të mira mekanike. Këtu qëndron edhe përparësia e këtyre materialeve në krahasim me materiale termoplastike. Këto materiale edhe termikisht janë më të qëndrueshme se ato termoplastike. Veçoritë mekanike dukshëm iu përmirësohen nëse materialet termostabile mbushen me materiale të ndryshme organike dhe inorganike me fije qelqi, kuarc, azbesti, rër, letër etj.

Materialet termoplastike, për dallim prej atyre termostabile, kur nxehen zbuten ose shkrihen, dhe kështu bëhen shumë të përshtatshme për përpunim. Përveç kësaj, këto materiale mund të treten në disa tretësa dhe mund të prodhohen në gjendje të zbutur.

Temperatura e punës së materialeve termoplastike është e kufizuar me zbutje (100°C). Mirëpo, për dallim nga materialet termostabile, këto materiale kanë veçori më të mira elektrike, lehtë përpunohen, kanë humbje të vogla dielektrike. Pikërisht për këto shkaqe, shumë përdoren në teknikën e frekuencave të larta.

Me përpunim të përshtatshëm, sot, mund të ndikohet në strukturën e tyre dhe në vend të molekulave lineare, përfitojen molekulat hapësinore, duke përmirësuar veçoritë të tyre mekanike.

Reaksionet kimike që mundësojnë përfitimin e materialeve termoplastike dhe termostabile janë: polikondensimi, polimerizimi dhe poliadicioni.

Me polikondenzim kuptojmë bashkimin e molekulave të vogla (monomere) të njëjtë ose të illojeve të ndryshme në molekula të mëdha të lidhura në mënyrë

hapësinore, me ndarje të produkteve molekulare të ulëta të reaksionit (ujin, disa gazra, thartësira etj.). Prodhimi final i polikondesimit nuk ka përbërje të njëjtë me përzirjen e lëndës së parë. Është me rëndësi të ceket se procesi i polikondensimit mund të ndërprehet tërësisht ose për një interval kohë të caktuar e mandej të vazhdojë përsëri. Kjo mundëson që në vendin e prodhimit, procesin ta ndërprejmë në momentin më të përshtatshëm përpunim. Kështu, ka mundësi që materialin ta sjellim në gjendje plastike e mandej me vazhdimin e procesit të polikondensimit (me ftohjen e ngadalshme) materiali të fortësohet. Të gjitha këto procese varen prej shumë faktorësh dhe katalizatorëve, të cilët e shpejtojnë zhvillimin e procesit, siç janë temperatura, shtypja, koha e zgjatjes së procesit etj.

Në shumë raste produktet e polikondensimit janë materiale termostabile.

Me polimerizim kuptojmë bashkimin e një numri të madh molekulash të njëjta me lidhje të pangopura (monomere), në raste më të shpeshta në molekula të mëdha lineare të padegzuara (polimere), gjatë të cilit proces prishen lidhjet e shumëfishta në molekulat fillestare. Prodhimet përfundimtare të këtij procesi, kryesisht, janë materiale termoplastike. Prodhimi përfundimtar, ndryshe nga ai polikondensimit, ka strukturë të njëjtë sikurse edhe lënda e parë, sepse gjatë këtij procesi nuk bëhet ndarja e kurrfarë elementesh ose molekulash. Vlen të theksohet, se procesi i polimerizimit nuk bën të ndërprerë dhe ky varet nga temperatura, lloji dhe sasia e katalizatorëve.

Poliadicioni është bashkimi shkallë-shkallë i një numri të madh molekulash të vogla llojesh të ndryshme në molekula të mëdha, me lidhje lineare ose hapësinore, përgjatë së cilës bëhet zhvendosja intermolekulare e atomit të hidrogenit. Prodhimet finale të përfituar me procesin e poliadacionit kanë strukturë të njëjtë me lëndën e parë, e cila është përdorë dhe gjatë zhvillimit të procesit nuk ndahan në produkte.

Materialet sintetike termoplastike

Prej numrit të madh të këtyre materialeve, të përfituar me procesin e polikondensimit, do t'i përmendim vetëm materialet më karakteristike dhe që më së shpeshti përdoren si materiale izoluese.

Fenoplastet

Fenoplastet përfitohen me procesin e polikondensimit të fenolit dhe formaldehidit. Kur përdoren katalizatorët e thatë, përfitohen fenoplastet, përkatësisht përfitohet rrëshira termoplastike, e njohur me emrin llaku i ri. Kjo rrëshirë tretet mirë në alkohol, prandej është e përshtatshme për llakna sintetike.

Me përdorjen e katalizatorëve bazikë, procesi i polikondensimit zhvillohet shumë më ngadalë se në rastine e parë. Kjo ka rëndësi praktike, sepse fazat e kondensimit mund të ndërpriten dhe të vazhdohen më vonë. Rol të rëndësishëm

luan temperatura, në të cilën zhvillohet procesi. Për përfitimin e formës dhe strukturës përfundimtare, fenoplasti kalon nëpër tri gjendje:

1. Me kondensim në temperaturë deri në 100°C, përfitohet gjendja A, e quajtur rezoll, e cila është karakteristike për shkak se rrëshira e përfituar tretet mirë.
2. Me rritjen e temperaturës deri në 140°C, gjendja A kalon në gjendjen B, të quajtur rezitoll. Fenoplastet në këtë gjendje nuk treten.
3. Me rritjen e temperaturës deri 160-180°C, përfitohet gjendja C e materiali quhet rezit. Materiali i përfituar është i patretshëm dhe nuk shkrihet.

Rrëshira e fenoformaldehidit ka veçori shumë të dobëta mekanike, e thithë ujin, por është e qëndrueshme në veprimin e thartirave. Për shkak të pranisë së madhe të grupit OH, fenoplastet kanë permetivitet relativ bukur të madh dhe karakterizohen me humbje dielektrike relativisht të mëdha. Mirëpo, me mbushje të ndryshme prejardhjesh minerale, druri, tekstil etj., në masë të konsiderueshme i përmirsohen veçoritë. Kështu, këto masa bëhen të përshtatshme si materiale izoluese për përfitimin e izolatorëve shtresorë. Për arsyen e përmirësimit të veçorive mekanike, së bashku me veçori relativisht të mira elektrike, si material dielektrik, fenoplastet përdoren si materiale izoluese dhe konstruktive. Si bazë e izolimit shtresor përdoret letra, pëlhura nga qelqi ose fije të azbestit. Në këto materiale vendoset rrëshira e fenoplasteve në gjendjen A, dhe nën veprimin e shtypjes dhe temperaturës së ngritur, përfitohet gjendja C. Prodhimet e përfituarë në këtë mënyrë kanë formën e pllakave, gypave, dhe profilesh të tjera. Prej fenoplasteve bëhet izolimi i shtëpizave të ndryshme për aparate elektrike, mbajtës, mbështjellësa, pjesë të ndërpresve të tensionit të lartë etj.

Aminoplastet

Aminoplastet përfitohen me procesin e polikondensimit të amineve të ndryshme (anillianit, melaminit dhe formaldehidit), në praninë e katalizatorëve. Këto materiale kanë veçori të ngashme me fenoplastet, por janë rezistuese ndaj rrymave sipërfaqësore. Por me mbushjen e tyre me materiale tjera izoluese bëhen shumë të përshtatshme për ndërtimin e rezistorëve shtresorë. Këto materiale e thithin më pak ujin se fenoplastet. Meqenëse nuk kanë në vete grupe OH, këto materiale kanë permetivitet të vogël dhe humbjet dielektrike relativisht të vogla. Është karakteristikë e këtyre materialeve që kanë për bazë mellaminet, se shumë lehtë shtangohen dhe mund të përpunojnë në diapazon të gjerë temperature.

Aminoplastet përdoren për elemente izoluese në aparatet e telekomunikacionit, për shtëpiza të ndryshme, mjete instaluese, dorëza të ndryshme, ndërsa kur bëhet presimi i tyre janë të përshtatshme për izolime edhe më të komplikuara.

Disa aminoplaste kanë rezistencë të madhe ndaj formimit të rrymave sipërfaqësore dhe, kur paraqitet harku elektrik, këto i lëshojnë gazrat (azotin, hidrogjenin, etj.), që me sukses ndihmojnë për shuarjen e harkut elektrik.

Të dhënat dhe veçoritë karakteristike për këto materiale janë paraqitur në Tab.3.12.

Rrëshirat poliestere

Rrëshirat poliestere përfitohen me procesin e kondensimit të alkoholeve shumëvalente (polivalente) dhe thartësirave bikarbone. Këto rrëshira mund të jenë në gjendje aggregate, të lëngët dhe të ngurtë, dhe të kenë veçori të ndryshme. Meqenëse veçoritë e këtyre materialeve janë më të dobëta se të fenoplasteve dhe aminoplasteve, këto më së shumti përdoren si baza për emajlin, ngjite etj.

Rrëshirat polistere ngurtësohen në temperaturën prej 80-100°C, duke përdor katalizatorë të ndryshëm. Me shtimin e të ashtuqujturve aktivatorë, ky proces mund të zhvillohet edhe në të ftohtë.

Veçoritë e rrëshirave poliestere të ngurta shumë varen prej llojit të poliesterit, numrit të lidhjeve të dyfishta në molekula, gjatësive të vargojnë të molekulave dhe tretësve polimerizues. Për shkak të këtyre faktorëve, veçoritë e rrëshirave janë të ndryshme.

Në raste të përgjithshme, rrëshirat poliestere kanë veçori të mira mekanike, ndërsa qendrueshmëria termike e tyre është e vogël. Mirëpo, për shkak të veçorive të mira elektrike, përdoren si materiale impregnimi, lyrje etj. Kur ngurtësohen, këto materiale tkurren rreth (6-8)%, prandaj duhet pasur kujdes për caktimin e gjatësive të materialeve që duhet të izolohen me këtë material. Rezultate të mira përfitohen me impregnim të fijeve të qelqit me rrëshira polistere.

Rrëshirat epokside

Rrëshirat epokside përfitohen me poliacionin e fenolit shumëvalent dhe derivateve të tyre me epiklorhidrimin. Janë karakteristike ngase molekulat e tyre në të dy anët kanë grupe epokside.

Këto rrëshira shtangohen në praninë e katalizatorëve në temperaturën e larta rreth 130-200°C, dhe ky proces zgjat prej një gjerë në njëzet orë. Rrëshirat epokside për shkak të veçorive të mira elektrike, kanë zbatim të madh në elektroteknikë.

Gjatë përfitimit të rrëshirave epokside nuk bëhet ndarja e kurrrfarë produkti tjetër, ndërsa procesi zhvillohet pa pasur nevojë përritjen e shtypjes. Kur materiali forcohet nuk bëhet tkurrja e theksuar (materiali tkurret rreth 0,1-0,2%), dhe po që se materiali është i përshtatshëm përmbytje, kjo tkurrje mund të zgjedhur edhe më shumë.

Veçoritë elektrike dhe mekanike të rrëshirave epokside varen shumë prej llojit të rrëshirave dhe katalizatorëve që përdoren përmes shpejtarëve procesin. Këto materiale izoluese fare pak e thithin ujin dhe janë të qëndrueshme ndaj rrymave sipërfaqësore (shtigjeve të rrymave sipërfaqësore).

Epoksidet përdoren përmes derdhje, ngjite dhe impregnimit. Këto materiale përdoren përmes mbarimin e izolatorëve mbajtës dhe përques të tensionit të lartë

(arallditet), për izolimin e të gjithë transformatorëve energetikë, për mjete kabllash e mbushjen e shumë bloqeve elektronike, për izolatorë shtresorë si mjet lidhës i pëlhirave të azbestit dhe qelqit.

Në tab. 3.12 janë dhënë veçoritë themelore të këtyre materialeve dhe veçoritë e materialeve të tjera për krahasim.

Me rastin e përpunimit të materialeve izoluese shtresore me rrëshira epokside si materiale lidhëse, material më i përshtatshëm përfitohet kur si material mbajtës përdoret leshi i qelqit ndonëse përdoret edhe letra, azbesti dhe pëlhirat tjetra.

Materiali i përfituar në këtë mënyrë karakterizohet me veçori shumë të mira mekanike dhe elektrike. Pikërisht për këtë, janë të përshtatshëm të përdoren si materiale izoluese ku paraqiten sforcime të theksuara mekanike dhe elektrike.

3.3.6. MATERIALET TERMOPLASTIKE IZOLUESE

Në këtë grup para se gjithash bëjnë pjesë materialet e përfituara me procesin e polimerizimit, ndonëse ka raste kur edhe materialet e përfituara me polikondensim kanë veçori termoplastike.

Polietileni

Polietileni përfitohet nga etileni me procesin e polimerizimit, nён ndikimin e shtypjes së lartë dhe temperaturës rrëth 200°C. Me përdorimin e katalizatorëve, polietileni mund të përfitohet edhe në presionin atmosferik dhe temperaturë të dhomës.

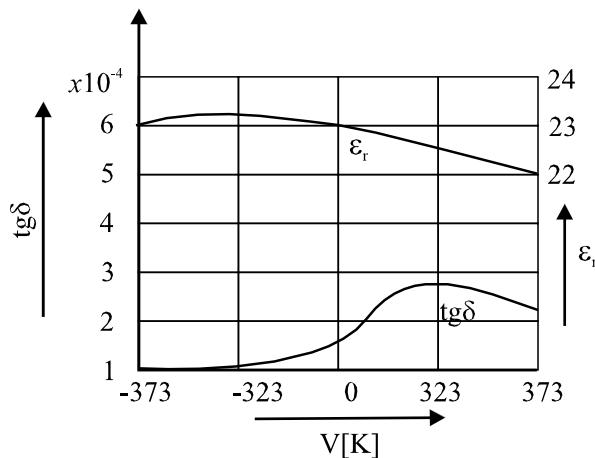


Fig.3.32. Varësia e ϵ_r dhe $\text{tg}\delta$ nga temperatura për polietilenin

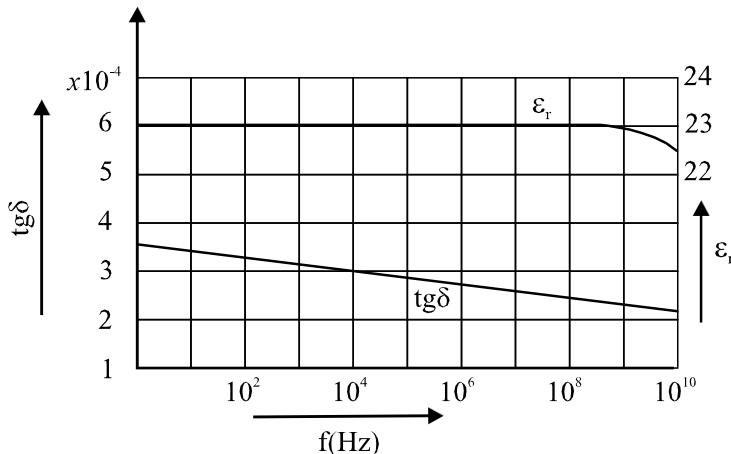


Fig.3.33. Varësia e ϵ_r dhe e $\text{tg}\delta$ nga frekuenca për polietilenin.

Makromolekulat e polietilenit mund të degëzohet. Kjo varet edhe nga dendësia e tij. Struktura e tillë e polietilenit është faktorë vendimtar në përcaktimin e veçorive termike dhe mekanike. Prandaj, dallojme polietilenin të butë dhe të fortë. Polietileni shumë ngadal vjetrohet në kushte normale, por kur i nënshtronhet rrezeve të diellit, e humb elasticitetin.

Tab. 3.12. Veçoritë themelore të materialeve dielektrike sintetike termoplastike

Veçoritë e materialeve	Fenoplastet	Aminoplastet:			Poliesteri	Poliamid.	Rrëshirat epokside	Rrëshirat silikone
Dendësia (kg/m^3)	1250-1300	1220-1250	1400-1500	1400-1550	1100-1240	1140	1110-1240	1600-1750
Sol. në têrheqje (Nmm^{-2})	49-56	60-70	56-92	56-92	23-70	70	80-90	28-49
Koef. ter. i zgjatjes ($^{\circ}\text{C})10^6$	25-60	50-60	27	40	80-135	100	60	
Qëndrueshmëria termike ($^{\circ}\text{C}$)	120	82-88	76	100	110-120	100-120	140	180
Rezistenca spec. elektrike (Wm)	10^9-10^{16}	10^9-10^{15}	$10^{10}-10^{11}$	$10^{10}-10^{11}$	$10^{11}-10^{12}$	10^{11}	$10^{11}-10^{12}$	$10^{12}-10^{14}$
$\text{tg}\delta$	0,06-0,1	0,002	0,03	0,045	0,003	0,014	0,001	
Permetiviteti ϵ_r	5-6,5	3,7-3,8	7,0-7,4	9,0-95	3-4	4,1	3-9	3,5
Sol. dielektrik (kV/mm)	12-16	19-20	12-16	12-16	15-18	15	16	18
Qëndrushmëria ndaj harkut el.	e vogël	e vogël	e mjaft.	e mjaft.	e vogël	e vogël	e mirë	
Thithja e ujit (për 24h (%))	0,1-0,2	0,01-0,08	0,5-0,7	0,3-0,6	0,1-0,6	1,5	0,14	0,1

Polietileni pa defekte mund t'i durojë temperaturat prej $50-80^{\circ}\text{C}$. Si material jopolar, ka veçori të mira elektrike. Ka vlerë të vogël të humbjeve dielektrike dhe të permetivitetit relativ, këto madhësi fare pak ndryshojnë me grekuencën dhe

temperaturë. Në Fig. 3.32 dhe Fig. 3.33, janë treguar varësitë e ϵ dhe $tg\delta$ në funksion të temperaturës, përkatësisht frekuencës së polietilenit.

Përpunimi i polietilenit është i lehtë, por është material i papërshtatshëm për ngjitje. Për shkak të veçorive të mira, polietileni përdoret për izolim në teknikën e tensioneve të larta dhe për kabllo koaksialë.

Polistirolli

Polistirolli përfitohet nga etileni dhe benzoli me procesin e polimerizimit. Rrëshira e polistirollit është e fortë, e tejdukshme dhe e përshtatshme për pllaka, fije dhe folie, të cilat zbuten në temperaturë 70-100°C.

Polistirolli ka veçori të mira mekanike dhe është material izolues me veçori jashtëzakonisht të mira elektrike. Ka qëndrueshmëri të mirë ndaj ndikimit të ujut, vajrave dhe thartirave të ndryshme.

Polistirolli është material i përshtatshëm për izolim në teknikën e frekuencave të larta, sepse ka humbje të vogla dielektrike, të cilat pak ndryshojnë me temperaturën. Për shkak të qëndrueshmërisë së vogël termike, përdorimi i këtij materiali në energjetikë është kufizuar. Sikurse polietileni, edhe polistirolli është material jopolar.

Polivinilkloridi (PVC)

Polivinilkloridi është prodhim i vinilkloridit me procesin e polimerizimit. Prania e klorit bën që ky material të bëhet polar. Kjo ndikon që PVC të ketë veçori më te dobëta elektria në krahasim me materiale jopolare. Zbutet në temperaturën 80°C, që e kufizon përdorimin e tij.

PVC është material i qëndrueshëm ndaj ndikimit të thartirave, alkoholeve, vajit mineral dhe gazzrave. Nga PVC mbarohen gjysmëprodhimet që mund të kenë formë pllakash, gypash, shiritash fijesh, folijesh të ndryshme etj. Si material i butë dhe me veçori mira, përdoret për izolim të përquesve në vend të gomës. Si material polar ka humbje të mëdha dielektrike. Pikërisht për këtë shkak, është kufizuar përdorimi i tyre në teknikën e frekuencave të larta.

Veçoritë themelore të PVC janë dhënë në Tab. 3.13.

Fluoroplastet

Fluoroplastet janë materiale termoplastike që karakterizohen me qëndrueshmëri shumë të madhe termike (janë të padjegëshme) dhe kimike; kanë veçori të mira elektrike, dhe ujin nuk e thithin fare. Përfaqësuesi më tipik i këtyre materialeve është politetrafluoretleni, ose si quhet rëndom teflloni. Ky përfitohet nga një seri

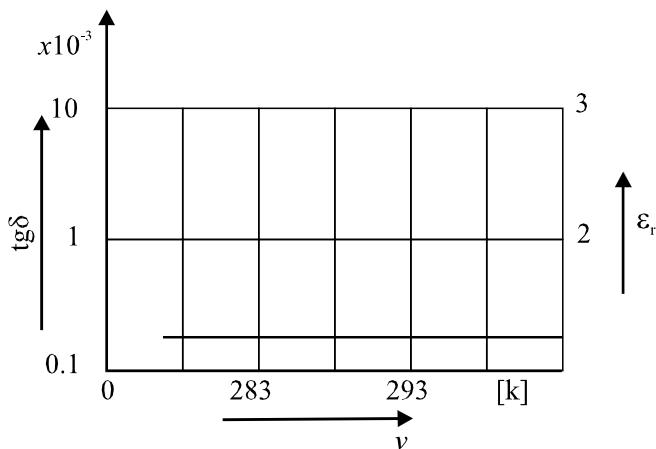


Fig.3.34. Varësia e ϵ_r dhe e $\text{tg}\delta$ nga temperatura për tejllonin

molekulash, të cilat në pjesën më të madhe kanë strukturë kristalike. Humbjet dielektrike dhe permetivitetin e kanë të vogla dhe fare pak ndryshojnë me temperaturë dhe frekuencë. Veçoritë e tefllonit nuk ndryshojnë në një diapazon të gjërë në temperaturë prej -60°C gjer $+250^{\circ}\text{C}$. Në (fig.3.34) dhe Fig. 3.35 janë dhënë varësitë e ϵ_r dhe $\text{tg}\delta$ nga temperatura, gjegjësisht nga frekuenca.

Teflloni përfitohet me vështirësi të madhe dhe ka çmim relativisht të shtrenjtë. Teflloni përdoret në formë gjysëmprodhimesh, si edhe shumica e materialeve termoplastike.

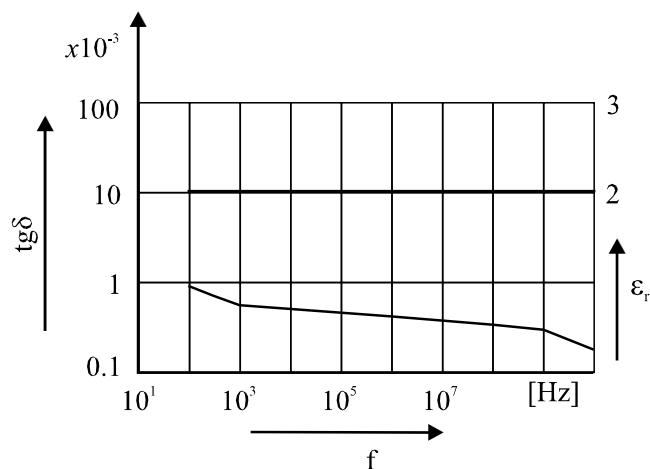


Fig.3.35. Varësia e ϵ_r dhe e $\text{tg}\delta$ nga frekuenca për tejllonin.

Polietilentereftalati (PET)

PET veçohet për rezistencë të madhe termike gjë 150°C, dhe veçori shumë të mira mekanike, elektrike, dhe është material johigroskopik.

Karakteristikë e veçantë e PET kur përfitohet në formë foliesh, është soliditeti i madh dielektrik ($E_d = 160 \text{ kV/mm}$), duke paraqitur vlerën më të madhe të soliditetit dielektrik të materialet sintetike izoluese.

Tab.3.13. Disa veçori themelore te materialeve dielektrike sintetike

VEÇORITË	Polistiroli	Polietileni	PVC	Tefloni	PET
Dendësia [kg/m ³]	1180-1200	920-940	1400-1750	2100-2300	1330-1400
Sol. në têrheqje Nmm ⁻²	35-63	10-14	28-50	14-32	160
Qendruesh. termike °C	65-96	100	60-70	260	150
Rezis.spec. elek. Wm	$10^{15}-10^{16}$	$10^{13}-10^{15}$	$10^{12}-10^{14}$	$10^{-13}-10^{14}$	$10^{15}-10^{17}$
Këndi i humbjeve, tgd	$1-3 \times 10^{-4}$	2×10^{-4}	$30-80 \times 10^{-14}$	2×10^{-4}	$20-40 \times 10^{-4}$
Permetiviteti relativ	2,45-2,65	2,3	3-5	2	3
Sol. dielek. $E_d [\text{kVmm}^{-1}]$	20-35	18-20	14-20	20-30	160
Qendruesh. ndaj harkut	e vogël	e vogël	e vogël	e mirë	e vogël
Thithja e ujit (%)	0,03-0,05	0,01	0,1	0,005	0,2-0,4
Koef. ter. zgjatj. $10^{-6} \times \text{C}^{-1}$	60-80	160-180	-	10	-

PET prodhohet në formë fijesh dhe folijesh. Përdoret për izolimin e përquesve dhe si material dielektrike te kondensatorët e ndryshëm. E metë e PET është se kushton shumë shtrejt.

Veçoritë themelore të polietilentereftallatit janë dhënë në Tab.3.13, ku janë treguar edhe veçoritë e materialeve të tjera dielektrike.

Elastomerët

Elastomerët janë grup materialesh organike, me veçori të veçanta që kryesisht, janë polimerizues. Me përpunim adekuat mund t'i jipet forma e dëshiruar. Pas procesit të vullkanizimit, këto materiale bëhen shumë elastike. Lidhja e dobët e molekulave në vargon bën që këto materiale të kenë veçori të dobëta elektrike dhe mekanike. Mirëpo, me procesin e vullkanizimit, kur molekulave të fosforit iu bëhen lidhjet têrthore në mes të molekulave të gjata të kauçukut natyror ose sintetik, këto veçori përmirësohet pak. Kjo bën që deformimet të marrin karakter elastik. Me procesin e vullkanizimit, përfitohet goma e butë ose e fortë, varësisht nga sasia e fosforit.

Elastomeri i parë ka qenë kauçuku natyror, ose goma si prodhim i vullkanizimit të tij. Pë shkak të elasticitetit të saj, goma është përdorë një kohë të gjatë si material izolues për përques të tensionit të ulët. Mirëpo, për shkak se goma vjetërsohet shumë shpejt, ka dal prej përdorimit të mëtejshëm.

Goma është shumë e ndieshme në ndryshimin e temperaturave, në ndikimin e vajit mineral dhe kushteve tjera të jashtme. Prandaj, në kohën e fundit goma zëvendësohet me elastomer artificial.

Elastomerët sintetikë, kauçuku sintetik, gati nuk kanë asgjë të përbashkët me materiale natyrore, para së gjithash, sa u përket veçorive mekanike. Te ellastomerët sintetik që është rritur qëndrueshmëria termike (te disa gjer në 180°C), qëndrojnë ndaj ndikimit të vajit mineral, të lagështisë, benzinës etj.

Veçoritë themelore të disa lloj ellastomerësh janë dhënë në Tab. 3.14. Për arsy se shumë faktorë mund të ndikojnë në veçoritë e këtyre materialeve, në tabelë janë dhënë vlerat mesatare të madhësive.

Silikonet

Silikonet janë grup materialesh në mes atyre organike dhe inorganike. Përderisa te materiale torganike shumëmolekulare bazën e polimereve e paraqet karboni, në të cilat atomet lidhen me atome tjera (hidrogjeni, oksigjeni, azoti, sulfuri etj.). Te materialet inorganike, karboni nuk merr pjesë në përbërjen e tyre, por ato janë më së shpeshti bashkëdyzime tjera. Si rrjedhim i përbërjeve të këtilla të materialeve organike dhe inorganike, përkufizohen edhe veçoritë e silikoneve.

Materialet organike kanë veçori të mira elektrike, qëndrushmëri të vogël termike dhe mekanike, tretshmëri dhe elasticitet.

Materialet inorganike, nga ana tjeter, karakterizohen me qëndrushmëri të madhe termike dhe mekanike, janë të patretshme dhe kanë veçori të këqija elektrike.

Meqenëse silikonet në përbërjen e vet kanë elemente të materialeve organike dhe inorganike, ato karakterizohen me veçori të mira të të dy grupeve.

Për sa i përket elasticitetit, këto materiale paraqiten si materiale izoluese organike, ndonse kanë qëndrueshmëri të mirë termike dhe mekanike.

Struktura e silikoneve paraqitet me lidhjen e oksigjenit me siliciumin (-Si-O-Si-O-Si-), ndërsa në valencat e lira lidhen atomet tjera që kanë prejardhje organike, si (CH_3).

Silikonet, në krashtë me materialet organike izoluese kanë disa veçori të mira. Para së gjithash, karakterizohen me qëndrushmëri të madhe termike. Temperatura e punës së tyre sillet në kufijt prej -60 deri +180°C. Për shkak te pranisë së komponenteve inorganike, këto materiale kanë qendrushmëri të madhe termike.

Silikoni përdoren si rrëshirë termoplaste, si elastomer, vaj izolues dhe në formë paste silikone. Rrëshirat dhe vajrat silikone përdoren për impregnim dhe llakim të shtresave izoluese ose për izolimin e përcuesve. Rezultate shumë të mira përfitohen kur bëhet kombinimi me fije të materialeve inorganike, të cilat përdoren për izolimin e mbështjellave të makinave rrotullues dhe transformatorëve për punë në kushte të vështira.

Elastomerët silikone, poashtu kanë veçori tipike silikone, por nuk janë shumë elastikë, si materialet e këtij grapi.

E metë e këtyre materialeve është se kushtojnë shtrejtë, veçoritë themelore të këtyre materialeve janë treguar në Tab.3.14.

Vlen të theksohet se vaji silikon është më stabil se vaji mineral, dhe viskoziteti i ndryshon shumë pak me ndryshimin e temperaturës. Veçori e posaçme e këtyre vajrave është që pothuajse nuk ndezën. Temperaturat e durueshme të këtyre vajrave shtrihen në kufijt (-50 deri +250°C). Përdoret te transformatorët energjetikë dhe te aparatet tjera energetike, sidomos në xehtari.

Tab.3.14. Disa veçori themelore të mat. izoluese sintetike

Veçoritë e materialeve	Rrëshirat silikone	Elastomerët
Dendësia [kg/m ³]	1600-1750	-
Soliditeti në têrheq. [mm ⁻²]	28-49	8
Qendrueshmëria termike [°C]	180	180
Rrez. spec. elektrike [W/m]	10 ¹² -10 ¹⁴	10 ¹² -10 ¹⁴
Këndi i humbjeve dielek. tg σ	0,001-0,03	0,02-0,2
Permetiviteti relativ [ϵ_r]	3-5	2,6-3,4
Soliditeti dielektrik [kV/mm]	18	14-45
Qendrueshëmria ndaj hark. elek.	e mirë	-
Thithja e ujit në % (për 24 h)	0,1	-

Llaknat izolues

Llaknat janë përzirje rrëshirash, bitumenit dhe të vajrave në tretsa që avullohen leht. Duke thar dhe pjek kalojnë në gjendje të ngurtë. Me llakna manipulohet gjer sa janë të lëngët, e mandej pjekën duke formuar shtresë të caktuar izoluese.

Në elektroteknikë përdoren për impregnim, si masë lidhëse dhe mjet për lyrjen e sipërfaqeve të materialeve të ndryshme. Me impregnimin e materialeve poroze me llakna, rritet soliditeti dielektrik, zvoglohet paraqitja e zbrazjeve të brendshme. Duke lyer materialet izoluese, rritet përqueshmëria termike, zvogëlohet higroskopiteti, rritet soliditeti dielektrik etj.

Impregnimi bëhet duke zhytur materialin në llakna ose në vakuum. Llakërat të cilat përdoren për impregnim janë të përfitura në bazë të fenoplasteve, aminoplasteve, poliesterit, silikoneve dhe rrëshirave epokside.

Si mjet lidhës, llaknat përdoren për ngjitjen e shtresave izoluese në mes veçori për izolim të përbërë. Në këtë mënyrë përmirësohen shumë veçoritë e prodhimeve finale izoluese.

Gjithashtu, llaknat përdoren për t'i lyer sipërfaqet e thara nga ajri ose ngritja e temperaturës. Në këtë mënyrë përfitohen materiale të qëndrushme dhe me veçori më të mira izoluese.

Me llakna lyhen përcuesit nga bakri dhe alumini, të cilët përdoren për ndërtimin e mbështjellave, të makinave rrötulluese dhe atyre statike, etj. Në këtë

mënyrë, rritet koeficienti i mbushjes, materialet bëhen përcues më të mirë të nxehësisë, kanë veçori më të mira mekanike etj.

Lyerja e sipërfaqeve të materialeve të ndryshme bëhet duke e zhytur materialin në llakna ose duke e lyrë materialin. Ndërsa terja e tij bëhet në ajër ose në furra speciale për tharjen e sipërfaqeve dhe terjen e materialit në përgjithësi. Lloji i veçant i llaknave që duhen të thahen në furra me temperaturë rrëth 400°C , quhen llaknat emajluese dhe kanë veçori të veçanta.

Gazrat izolues

Gazrat si materiale izolues, veçohen me një numër të madhe veçorish të mira izoluese: e mbushin hapësirën në tërësi ku vendosen, kanë permetivitet të vogël dhe humbje të vogla dielektrike, rezistencë të madhe specifike elektrike, mundësi të regjenerimit spontan, pasi që ndodhë çpimi elektrik etj.

Ndonëse ka numër bukur i madh gazzash izoluese, në praktikë përdoret një numër i vogël sish. Gazi më i përhapur në natyrë është ajri, i cili është komponentë e paevitueshme e izolimit të ngurtë.

Meqenëse ajri është përzierje e lirë, pa ndonjë përzirje të caktuar, ai i nënshtronhet ndikimeve të shumta të faktorëve të jashtëm si lagështisë, temperaturës, papastërtisë industriale etj. Kur ajri është nën ndikimin e shtypjeve të ulëta, nuk mund të llogaritet si material i mirë dielektrik.

Soliditeti dielektrik i ajrit varet nga kushtet e jashtme, vlera dhe forma e tensionit e kohëzgjatjes së tij në mes të elektrodave edhe prej formës së elektrodave dimensioneve të tyre. Në diapazonin e largësive të elektrodave prej $0,05\text{-}1,5\text{m}$, gati nuk varet prej distance dhe ka vlerën e soliditetit rrëth $0,35 \text{ kVmm}^{-1}$.

Përveç që ajri përdoret si izolator i jashtëm në kombinim me izolacionin e ngurtë, ai mund të përdoret edhe si material për izolim të brendshëm nën presione të larta. Raste të tillë janë ndërpresat pneumatike të tensionit të lartë, ku ajri luan rol të dyfisht, izolon pjesët kontaktuese të ndërpresit dhe ndihmon shuarjen e harkut elektrik, i cili paraqitet me rastine e hapjes dhe mbylljes së kontakteve të ndërpresit.

Përveç ajrit, si material izolues, në kohën e sotme përdoren edhe gazrat tjerrë. Një prej gazzave izolues, që përdoret në praktikë, është heksafloruri i sulfurit (SF_6) Freoni, mandej azoti për mbushjen e kabllave të tensionit të lartë. Përdoret edhe te transformatorët për ta ruajtur vajin nga oksidimi. Ndërsa gazrat fisnike, si argoni, neoni etj., përdoren për ndriçim, hidrogjeni si gaz izolues përdoret për ftohje te shumica e makinave elektrike.

Mirëpo, vëmendje të veçantë tërheqin gazrat izolues elektronegativë të cilët karakterizohen me veçori të mira dielektrike, kanë temperaturë të ulët avullimi, termikisht të qendrueshëm dhe nuk kanë çmim aq të lartë. SF_6 , si gaz izolues, ka soliditet dielektrik dy gjer në tri herë më të madhe se ajri poqese gjendet nën ndikimin e presionit atmosferik.

Duhet të theksohet një veçori shumë interesante e tij, e cila shfaqet me rastin e paraqitjes së harkut elektrik, përkatësisht kur hapësira në mes të elektrodave jonizohet. Ky gaz ka afinitet me i thithë elektronet e lira si “shpuza”, duke e dejonizuar hapësinën e bën shuarjen e harkut elektrike.

Veçoritë e mira izoluese te SF_6 kanë mundësuar të prodhohen stabilimente të blinduara, ku si material izolues përdoret SF_6 . Në këtë mënyrë u është shmangur ndikimeve të jashtme në stabilimente elektroenergjetike të tensioneve të larta.

Stabilimentet elektroenergjetike, që si gaz izolues e përdorin SF_6 , kanë vetëm 10% të dimensioneve të stabilimenteve klasike.

Mirëpo, gazi SF_6 ka edhe disa veçori të këqija:

- çmimi i tij është relativisht i shtrenjë,
- prezenca e avujve të ujit shkakton paraqitjen e efekteve negative,
- zbrazjet e pjesëshme ndikojnë që SF_6 te zbërthehet në elemente, të cilat mund të jenë shumë agresivë dhe të helmueshëm etj.

Në tabelën e mëposhtme po i shënojmë disa veçori themelore të SF_6 . (Tab.3.15).

Tab. 3.15. Disa veçori të gazit SF_6

Veçoritë e gazit SF_6	Vlerat numerike
Dendësia (kg/m^3) në $21,1^\circ\text{C}$	6,14
në 0°C	1540
Temperatur e sublimimit ($^\circ\text{C}$)	-63,8
Përgueshmëria termike ($\text{Wm}^{-1} \text{C}^{-1}$)	0,014
Këndi i humbjeve (tgđ)	2×10^{-7}
Permetiviteti (20°C)	1,002

3.4. MATERIALET DIELEKTRIKE JOLINEARE

Materialet dielektrike jolineare ndahen në:

- materiale feroelektrike,
- materiale piezoelektrike dhe
- materiale elektrete.

Këto materiale quhen dielektrike jolineare për shkak të ngajshmërisë së veçorive të tyre me materiale feromagnetike. Për arsyse se veçoritë e këtyre materialeve për herë të parë janë vërejtur te krypa e senjetit, ato në literaturë shpeshherë quhen materialet senjetoelektrike.

Te materialet feroelektrike ekziston një temperaturë ku materialet shumë i ndryshojnë veçoritë. Këto veçori ndryshojnë kur rritet ose zvoglohet temperatura mbi një vlerë të caktuar. Kjo temperaturë quhet temperatura e Kiri për materiale feroelektrike (temperatura Kiri për dielektrikët). Kjo temperaturë ka marrë këtë emër në shenjë nderimi shkencëtarit Kiri, i cili i pari ka vërejtur ndryshime të mëdha të veçorive të materialet magnetike për vlerën e temperaturës kritike.

Te disa materiale feroelektrike, p.sh., te krypa e senjetit, ekzistojnë dy temperatura Kiri, dhe veçoritë karakteristike feroelektrike të këtyre materialeve gjenden në mes të këtyre temperaturave. Nën vlerën e pikës Kiri dhe mbi vlerën e temperaturës Kiri të këtyre materialeve, të cilat kufizohen me dy temperatura karakteristike, veçoritë e feroelektrikëve janë të ngajshme me materiale dielektrike lineare. Për këtë arsy, thuhet se për vlera Kiri të temperaturave të materialeve përkatëse dielektrike, materialet kalojnë në gjendje paraelektrike. Ky kalim është i lidhur ngusht me ndryshimin e strukturës kristalike dhe të veçorive tjera.

Nën vlerën e temperaturës Kiri ose mbi vlerën e temperaturës Kiri, nëse ekzistojnë dy temperatura Kiri për një material, te materialet feroelektrike polarizimi nuk është linear me intensitetin e fushës elektrike. Për këtë arsy, këto materiale bëjnë pjesë në grupin e materialeve dielektrike jolineare. Pos kësaj, polarizimi i materialeve feroelektrike nuk përcaktohet vetëm nëpërmjet fushës elektrike në një pikë, në momentin e caktuar, por edhe me fushën elektrike në momentin e mëparshëm. Ky fenomen quhet histerezisi dielektrik dhe varet prej polarizimit \mathbf{P} dhe vektorit të zhvendosjes \mathbf{D} , të shkaktuar nga intensiteti i fushës elektrike E , (Fig.3.36).

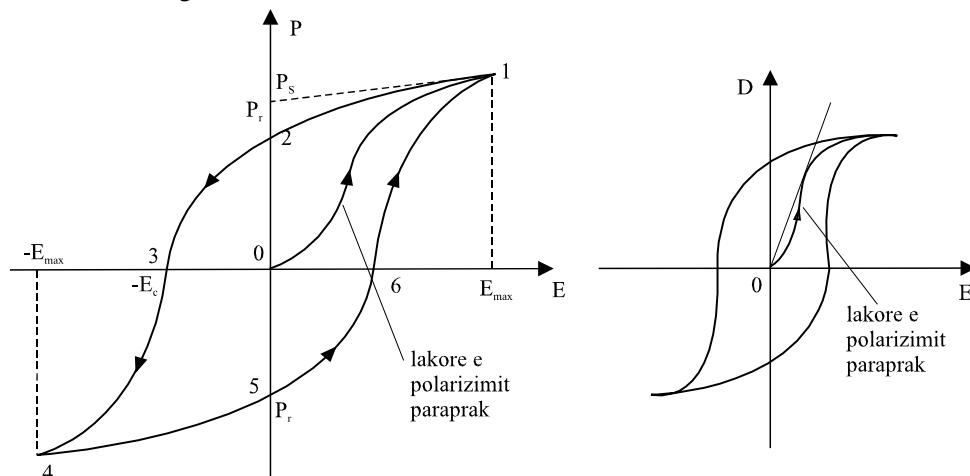


Fig.3.36. Histerezë e materialeve feroelektrike.

Për ta shpjeguar paraqitjen e histerezës te materialet dielektrike, së pari mostren makroskopike të papolarizuar të materialit polikristal feroelektrik e fusim

në mes të pllakave të kondensatorit që është i kyçur në tension dhe që mund të ndryshojë ngadal. Gjatë ndryshimit të tensionit bëhet ndryshimi i fushës në mes pllakave të kondensatorit dhe polarizimit të dielektrikut. Nëse fusha ndryshon prej zeros gjer te vlera maksimale ($0-E_{max}$), polarizimi do të ndryshojë sipas lakores 0-1, e cila ndryshon në masë të dukshme prej drejtëzës. Kjo lakoja quhet lakoja e polarizimit të parë. Lakoja 0-1 mund të zëvendësohet me drejtëz vëtëm për fusha shumë të mëdha, kur polarizimi praktikisht nuk varet prej \mathbf{E} . Atëherë materiali feroelektrik është i polarizuar gjer në ngopje. Në Fig. 3.36a, ky polarizim është shënuar me \mathbf{P}_s .

Me zgogrimin e fushës elektrike përmes zgogëlimit të tensionit në mes të pllakave të kondensatorit, zgoglohet edhe polarizimi i materialev feroelektrike, ndërsa varësia e \mathbf{P} dhe \mathbf{E} do të tregohet me lakoaren 1-2. Kur $\mathbf{E}=0$, polarizimi do të jetë i ndryshueshm prej zeros (Fig. 3.36a). Ky polarizim është treguar me P_s , dhe se quhet polarizimi i mbetjes-remanent. Materialet feroelektrike janë të polarizuan në këtë mënyrë edhe kur nuk janë nën ndikimin e fushës.

Nëse rritet fusha në drejtim të kundërt, atëherë polarizimi do të zgoglohet (lak.2-3 në Fig. 3.36a) dhe se për $E=-E_c$ polarizimi do të jetë zero. Intensiteti i fushës elektrike E_c quhet fusha koercitive. Duke e ndryshuar mëtutje fushën E gjer në vlerën $E=-E_{max}$, intensiteti i vektorit të polarizimit do të ndryshojë sipas lakores 3-4 dhe 4-5-1. Nëse disa herë ndryshohet fusha elektrike prej E_{max} gjer në vlerën $-E_{max}$, dhe $-E_{max}$ gjer në vlerën E_{max} atëherë P do të varet prej e sipas një lakojeje të myllur (Fig. 3.36a). Varësia është e njëjtë edhe në mes të vektorit të zhvendosjes \mathbf{D} dhe intensitetit të fushës \mathbf{E} (Fig. 3.36b).

Përkthimi i varësive të \mathbf{P} me \mathbf{E} dhe \mathbf{D} me \mathbf{E} te materialet feroelektrike shpjegohet me faktin se këto materiale gjer në një temperaturë të caktuar dhe diapazon të caktuar të materialev përkatëse, ose në intervale të caktuara të temperaturës, janë të polarizuara spontanisht. Këto diapazone quhen domenë, në të cilat për temperaturën shumë të ulëta, (te materialet të cilat kanë vetëm një pikë Kiri) të gjitha momentet elektrike dipole janë të orientuara në një drejtim dhe kahje.

Vektori i polarizimit të disa domenëve, kur nuk ka fushë të jashtme elektrike, janë të orientuara në mënyrë kaotike (Fig. 3.37a). Përveç për këtë, materialet feroelektrike janë makroskopisht të pa-polarizuara. Nën ndikimin e fushës së jashtme bëhet orientimi i

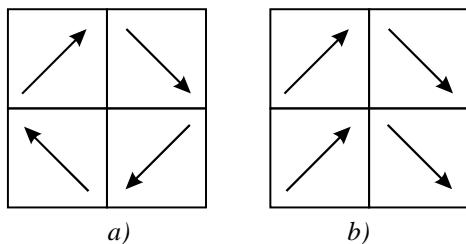


Fig.3.37. a) Materiali feroelektrik makroskopikisht i apolarizuar.
b) materiali feroelektrik i vendosur në fushë të jashtme elektrike.

domeneve të vektorit të polarizimit në kahje të vektorit të fushës elektrike. Rezultatet e ndryshimit të kahjes së vektorëve të polarizimit të domenëve, nën ndikimin e fushës së jashtme elektrike, janë treguar në Fig. 3.37b. Për shkak të proceseve joreverzibile të cilat e përcjellin vektorin e polarizimit të domenëve në mes të polarizimit **P** dhe **E**, ekziston varësia histereze. Përveç kësaj, si pasojë e ekzistimit të domeneve dhe proceseve joreverzibile, të cilat e përcjellin polarizimin dhe depolarizimin, materialet feroelektrike mund të jenë të polarizuara edhe në mungesë të ndikimit të fushës së jashtme ($P_r \geq 0$ gjatë $E=0$).

Paraqitura e varësive të komplikuara (histereza jolineare) kërkon që permeabiliteti dielektrik të shqyrtohet sërisht te materialet feroelektrike. Të materialet dielektrike jolineare definohet permetiviteti fillestar, maksimal dhe diferencial.

Permetiviteti fillestar definohet:

$$\epsilon_i = \lim_{E \rightarrow 0} \frac{D}{E} \quad (3.62)$$

në pikat e lakoresh të polarizimit paraprak të treguar në Fig. 3.36b.

Permetiviteti maksimal është i definuar si:

$$\epsilon_m = \frac{D}{E} \quad (3.63)$$

ku: **D** dhe **E** paraqesin koordinatat e pikës në lakoresh e polarizimit paraprak, në të cilën është tërheq tangjenta nga fillimi i sistemit koordinativ me lakoresh e polarizimit paraprak, duke formuar këndin më të madh me boshtin **E** (Fig. 3.37b).

Permetiviteti diferencial definohet si:

$$\epsilon_d = \frac{dD}{dE} \quad (3.64)$$

në disa pika të lakoresh $\mathbf{D}=f(\mathbf{E})$.

Para se të kalojmë në shpjegimin e veçorive të veçanta të materialeve feroelektrike, së pari do të ndalemi në veçoritë e përgjithshme të tyre.

Nën temperaturën Kiri, ose në mes të temperaturave Kiri, poqese ekzistojnë dy, materialet feroelektrike janë anizotrope dhe, në drejtime të caktuara i kanë këto veçori:

1. Kanë ciklus histerezë të **P**, përkatesisht **D** nga **E**, nëse fusha vepron në një drejtim të caktuar.
2. Kanë permetivitet shumë të madh në fillim, që më vonë do ta quajmë permetivitet përgjatë veprimit të fushës së dobët, në drejtime të caktuara.
3. Varësi të theksuar të permetivitetit dielektrik përgjatë fushës së dobët nga temperatura me vlera të mëdha përgjatë temperaturës Kiri.
4. Varësi të madhe të permetivitetit dielektrik nga ndikimi i fushës së jashtme elektrike.

5. Varësi të theksuar të permetivitetit dielektrik përgjatë veprimit të fushës së dobët dhe tangensit të këndit të humbjeve dielektrike nga frekuenca.
6. Ndryshime të theksuara, në intervalë të caktuara të temperaturës, të kapacitetit të nxehtë, koeficientit të bymimit linear, modulit të elasticitetit etj.

Mbi temperaturën Kiri, ose jashta intervalit të temperaturës të dy pikave Kiri, materialet feroelektrike kanë veçori të materialeve dielektrike lineare. Permetiviteti dielektrik në afërsi të pikës Kiri, varet prej temperaturës, si:

$$\epsilon_r = \frac{C}{T - T_c} \quad (3.65)$$

Për materiale me një pikë Kiri, përkatësisht për materiale me dy temperatura Kiri, kjo varësi do të jetë:

$$\epsilon_r = \frac{C_1}{T_{c1} - T} \quad \text{dhe} \quad \epsilon_r = \frac{C_2}{T - T_{c2}} \quad (3.66)$$

Në shprehjet e mëparshme: C , C_1 dhe C_2 paraqesin konstantet Kiri, ndërsa T_c , T_{c1} , T_{c2} temperaturat Kiri.

Materiali i parë dhe i studjuar mirë është krypa e senjetit, mandej titanati i bariumit, dihidrofosfati i kaliumit etj. Përveç këtyre, në këtë grup materialesh numërohen edhe shumë materiale tjera me përbërje të ndryshme kimike, (tartarati, fosfatet, arsenati, borati etj.). Materialet feroelektrike kanë veçori të tilla edhe në gjendje polikristale dhe monokristale.

Veçoritë e materialeve feroelektrike të llojlojshme janë: p.sh., për monohidratin e litijumtaliumtartaratit temperatura Kiri është -263°C , ndërsa për litium niobiumin është 1213°C .

Klasifikimi i materialeve feroelektrike bëhet në shumë mënyra, si p.sh., në bazë të strukturës kristalore, lidhjeve kimike, përdorimit etj. Këtu do të tregojmë veçoritë dhe përdorimin vetëm të kripës së senjetit, si përfaqësuse tipike dhe më të rëndësishme feroelektrike.

a) Kripa e senjetit

Kjo kripë e ka marrë emrin sipas shkencëtarit francez Senjetit (Seignette), i pari e ka përfituar më 1655.

Kjo kripë përfitohet prej thartinës natyrore të verës dhe paraqet kripën dyfishe te thartësirës të natrium-kaliumit me katër molekula të ujit kristalik: $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (dyfishi i tartaratit të natriumit dhe kaliumit).

Rrjeti kristalor i kripës së senjetit, posedon veçori feroelektrike, është

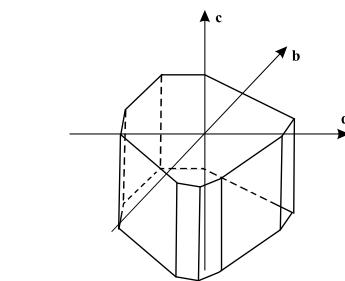


Fig.3.38. Kristali i kripës së senjetit.

monokristalor. Kur kripa është jashtë kësaj gjendje, rrjeti i saj është rrombik (Fig.3.38).

Tab. 3.16. Disa veçori të kripës së senjetit

Veçoritë e kripës	Vlerat numerike
Dendësia (Mg/m^3)	1,77
Masa molekulare	282, 184
Temperatura e shkrirjes ($^\circ\text{C}$)	Gjatë temperaturave 55°C shndërrohet në tartarat te natriumit dhe kalium
Temperatura Kiri e sipërme	$+24^\circ\text{C}$
Temperatura Kiri e poshtme	-18°C
$\epsilon_r(23^\circ\text{C})$ gjatë lkHz	900
$\tan \delta(23^\circ\text{C})$ gjatë lkHz	0,1
Rezistenza specifike elektrike (Wm)	$10^{10}-10^{11}$
Fortësia dielektrike (MV/m)	60
$\tan \delta, \epsilon_r$, dhe r maten përfusha të dobëta elektrike $E < 5\text{kV/m}$	

Në Fig. 3.39 është dhënë varësia e ϵ_r nga temperatura e kripës së senjetit, përgjatë gjatësisë së tri boshteve të kristaleve. Në tab. 3.16. janë dhënë disa veçori të brijës së senjetit.

Nga të dhënat, shihet se kripa e senjetit i ka dy temperatura Kiri me vlera maksimale rreth 4000 ($+24^\circ\text{C}$) dhe 6000 (-18°C). Në temperaturat Kiri edhe $\tan \delta$ i ka vlerat maksimale prej 0,33 - 0,35.

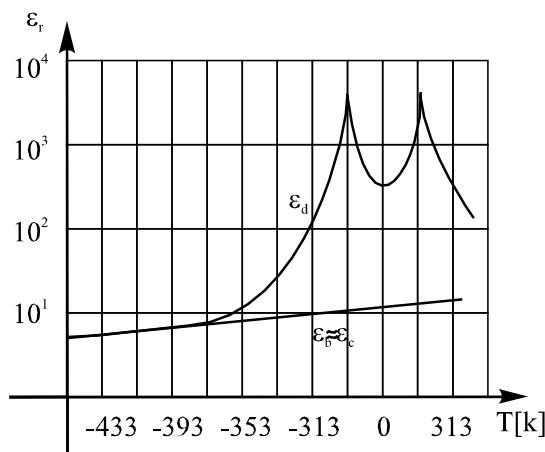


Fig.3.39. Varësia e ϵ_r e kripës së senjetit prej temperaturës gjatë gjatësisë së boshteve të kristaleve, përf 50Hz dhe fusha të dobëta

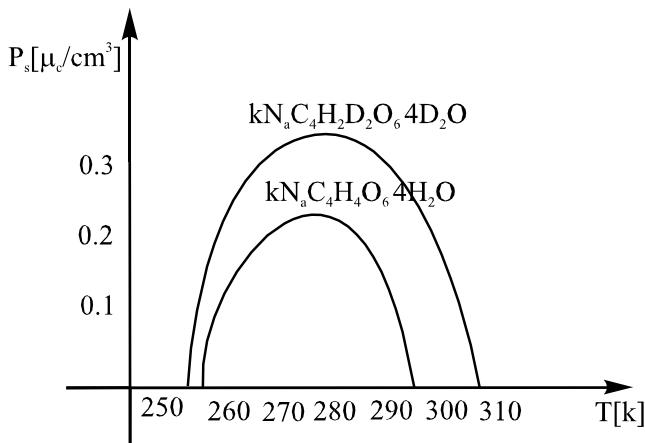


Fig.3.40. Varësia e polarizimit spontan P , të kripës së senjetit dhe kripës së rëndë të saj prej temperaturës gjatë fushave të dobëta.

Në Fig. 3.40. është dhënë varësia e intensitetit të polarizimit spontan të kripës së senjetit dhe kripës së rëndë prej temperaturës.

Vlera maksimale e polarizimit spontan të kripës së senjetit është rrerh $0,25 \text{ mC/cm}^2$. Me zëvendësimin e hidrogenit me deuterium, përfitohet kripa e rëndë e senjetit ($\text{NaKC}_4\text{H}_2\text{D}_2\text{O}_6 \cdot 4\text{D}_2\text{O}$), te e cila të dy temperaturat e Kirit janë të zhvendosura: e poshtmja është -22°C , e larta $+35^\circ\text{C}$, kurse vlera maksimale e polarizimit spontan te kjo kripë është rrerh $0,37 \text{ mC/cm}^2$.

Varësia e ϵ_r e kripës së rëndë të senjetit, përfurua të dobëta, në drejtim të boshtit a është dhënë në Fig. 3.41.

Në tab. 3.17. Janë dhënë disa veçori feroelektrike të materialeve dielektrike.

Tab.3.17. Disa veçori feroelektrike të materialeve dielektrike

Veçoritë	Formula kimike	Struktura kristalore	Temperatura Kiri	P (mC/cm^2)
Tartarat Li dhe ammoniumi	$\text{LiNH}_4\text{H}_4\text{O}_6\text{H}_2\text{O}$	Rombike	175°C	$0,22 (-175^\circ\text{C})$
Tartarat Li dhe taliumi	$\text{LiTlC}_4\text{H}_4\text{O}_6\text{H}_2\text{O}$	Rombike	-263°C	$0,14 (-272^\circ\text{C})$
Kripa e rëndë e senjetit	$\text{KNaC}_4\text{H}_2\text{D}_2\text{O}_6 \cdot 4\text{D}_2\text{O}$	Monolite	$+35^\circ\text{C} - 220^\circ\text{C}$	$0,37 (6^\circ\text{C})$

Kripa e senjetit në elektroteknikë përdoret përfitimin e shtresave akustike absorbuese.

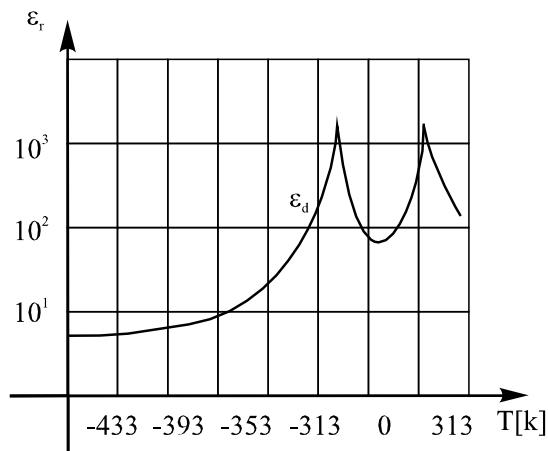


Fig.3.41. Varësia e ϵ_r e kripës së rëndë të senjetit prej temperaturës, gjatë ndikimit të fushave të dobëta dhe frekuencës prej 50Hz.

b) MATERIALET PIEZOELEKTRIKE

Efektet piezoelektrike i ka zbuluar në vitin 1880 shkencëtarët Kiri (Pierre dhe Jacques Curie). Ata vërejtën se kur në kuarc veprojnë forca mekanike, në sipërfaqe të tij paraqiteshin ngarkesa elektrike.

Fenomeni i paraqitjes së ngarkesave në sipërfaqe të materialeve dielektrike dhe polarizimi i brendshëm i dielektrikut nën ndikimin e veprimeve mekanike, quhet piezoelektricitet ose efekti piezoelektrik.

Fenomeni i kundërt me piezoelektricitetin, do të thotë fenomeni i paraqitjes së deformimeve mekanike gjatë veprimit të fushës elektrike të jashtme, me q'rast deformimet mekanike janë proporcionale me intensitetin e fushës elektrike quhet efekti i kundërt i piezoelektricitetit.

Piezoelektriciteti, zakonisht paraqitet te materialet monokristale, e shumë më rrallë te polikristala. Te kristalet që kanë qendër simetri, nuk mund të paraqitet piezoelektriciteti.

Në formë të përgjithshme, relacionet e efektit të piezoelektricitetit, kur në trup vepron sforcimi mekanik homogen T_k , jepet me relacionin

$$P_i = d_{ik} T_k \text{ ku: } i, k=1,2,3 \quad (3.67)$$

ku: P_i - është komponenta e polarizimit (intensitetit të tij), ndërsa T_k - komponenta e sforcimit mekanik, d_{ik} - paraqet piezomodulin e cila përcakton komponentën e polarizimit gjatë ndikimit të forcave mekanike.

Më së shumti përdoret d piezomoduli, por ka edhe piezomodule tjera, si e , h etj. Këto module janë madhësi tenzore, ndërsa relacioni që e përshkruan gjendjen e kundërt të piezoelektricitetit është dhënë me:

$$X_i = d_{ik} E_k \text{ ku: } i, k=1,2,3 \quad (3.68)$$

ku: X_i - paraqet komponentën e deformimit elastik, ndërsa E_k - është komponenta e fushës elektrike.

Materialet piezoelektrike në përgjithësi përdoren si gjeneratorë dhe absorbues të oscilimeve mekanike.

Gjer më sot janë të njoitura më se 500 materiale piezoelektrike. Mirëpo, përdorim praktik ka vetëm një numër i vogël materialesh të tilla, siç janë: kuarci, amoniaku, nijobijati i litiumit edhe disa materiale qeramike piezoelektrike. Ne do të marrim të analizojmë vetëm përfaqësuesin më tipik, kuarcin, i cili ka përdorim të llojlojshëm në elektroteknikë.

Kuarci

Siç është thënë edhe më parë, kuarci paraqet në fakt dioksidin e siliciumit (SiO_2). Ky kristalizohet me sistem heksagonal gjatë së cilit dallohen dy modifikime: i ahstuquajturi modifikimi i majtë dhe i djathtë (Fig. 3.41.). Përkundër veçorive shumë të mira mekanike, kuarci është jashtzakonisht i qëndrueshëm ndaj proceseve kimike.

Piezomoduli $-d$ i kuarcit b i ka këto vlera: $d_{11}=-d_{12}=2,15 \times 10^{-12}$ C/N dhe $d_{14}=0,85 \times 10^{-12}$ C/N.

Në Fig. 3.42 është treguar varësia e piezomodulëve d_{11} dhe d_{14} të kuarcit prej temperaturës.

Kuarci përdoret nga të gjitha materialet piezoelektrike në elektroteknikë, si stabilizator dhe filter frekuencash, gjenerator të oscilimeve të ultrazërit dhe gjatë matjes së madhësive mekanike (piezometria).

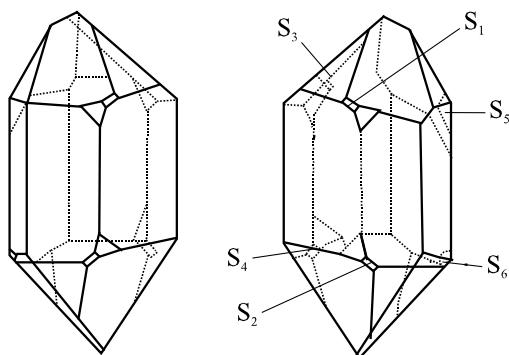


Fig.3.42. Format ideale të kristaleve të kuarcit a) kuarci i djathtë (a kuarci), b) kuarci i majtë (b kuarci).

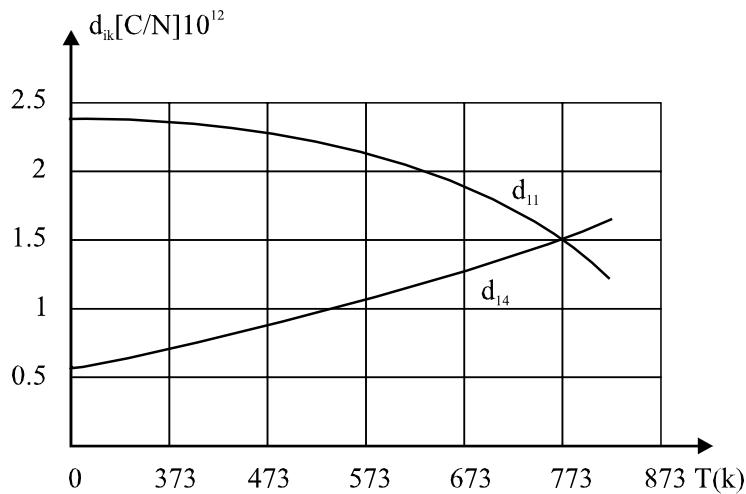


Fig.3.43. Varësia e moduleve piezo d_{11} dhe d_{14} - kuarcit prej temperaturës.

Për gjeneratorët e frekuencave të ultrazërit përdoren pjesë prej kuarci të prera normalisht dhe paralel me boshtin kristalografik. Përveç këtyre dy drejtimeve prerëse të pjesëve prej kuarcit, në Fig. 3.44. janë treguar edhe format tjera të prerjes së pjesëve të kuarcit.

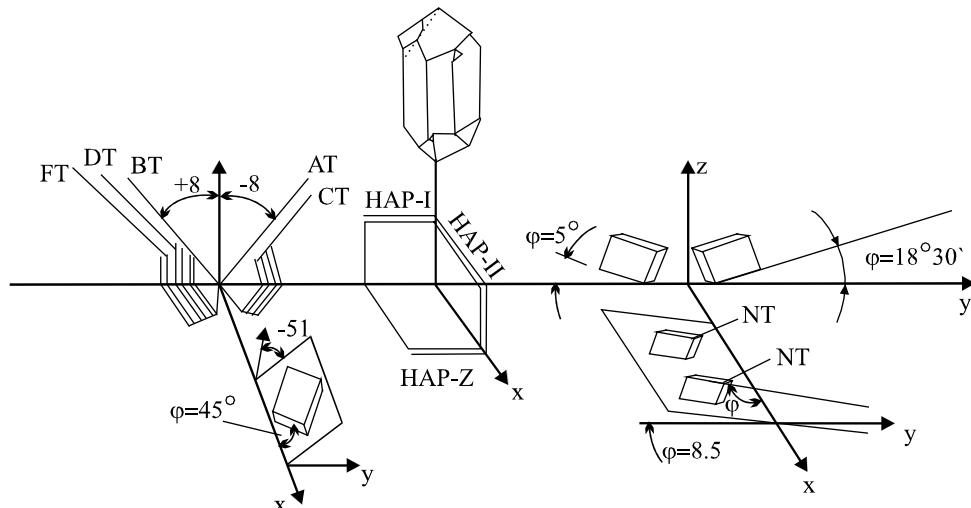


Fig.3.44. Tipet e prerjes së pjesëve të kuarcit. Orientimi i prerjes është bërë sipas boshteve kristalografike të kuarcit.

Në tabelën e mëposhtme janë dhënë madhësitë themelore për përdorimin më të shpeshtë të mostrave prej kuarci (tab. 3.18).

c) Elektretet

Elektretet janë materiale dielektrike të cilat, edhe pas ndërprerjes së veprimit të fushës së jashtme, mbeten përgjithmonë të polarizuara. Kështu, këto materiale paraqesin burim të fushës elektrike në ambient ku gjenden.

Në bazë të mënyrës së përfitimit, përkatësisht formës së fushës që vepron në dielektrik jolinear përgjatë polarizimit të tij, dallojmë:

- termoelektrretet,
- fotoelektrretet,
- elektroelektrretet,
- magnetoelektrrete etj.

Termoelektrretet janë elektretet që formohen nën veprimin e fushës së madhe elektrike në material të nxehtë ose të shkrirë.

Tab.3.18. Disa tipe prerëse prej mostrave të kuarcit

Emërtimi plasaritjes (Tehut)	Këndet orijentuese			Koef. i shum. të frek. kHz/mm	Diapazoni i frek. MHZ dhe mënyra e përdorimit
	j	Q	y		
Tehu KIRI (^ -tehu)	90°	0	0	2870	Gjeneratorët e frekuencave të ultrazërit
Tehu II (Tehu g)	0	0	0	1954	
+49° (Tehu BT)	0	+49	0	2580	3-12
(-350°-Tehu AT)	0	-35°15'	0	1700	0,25-3
CT	0	-38°36'	0	3080	0,1-0,4
DT	0	+52°	0	2060	0,07-0,5
gT	0	-51°07'	±45°	3292	0,1-0,5
MT	90°	±34°	+8,5°	2700	0,5-0,2
NT	90°	+38°	+8,5°	283	0,004-0,05
0°	90°	0	0	2720	0,05-0,15
+5°	90°	0	+5°	2815	0,05-0,15
-18°30'	90°	0	-18°30'	2554	0,05-0,5
					FILTRAT
					DHE
					GJENERATORËT
					FILTRAT

Fotoelektrretet janë elektretet prej materialeve fotopërçuese, të cilat përfitoohen me bashkëveprimin e energjisë elektrike dhe energjisë së dritës. Elektretet e përfituar në këtë mënyrë vëzohen me qëndrueshmëri të madhe, por duhet të ruhen në errësirë sepse kur bijnë në kontakt me dritën delektrizohen shpejt.

Elektroelektrretet janë materiale që përfitoohen kur materiali përkatës dielektrik i nënshtrohet veprimit të fushës së madhe elektrike në temperaturë të dhomës.

Mekanoelektrretet janë materiale, të cilat kur iu nënshtrohen veprimit të përbashkët të forcave mekanike dhe intensiteteve të mëdha të fushës elektriek,

mbesin të elektrizuara. Magnetoelektritet përfitohen nën veprimin e fushës magnetike.

Në përgjithësi, te elektretet paraqiten dy forma të elektrizimit. Në qoftë se materialet janë elektrizuar në sipërfaqe me polaritet të njëjtë homoelektrizuese, në rastin e kundërt kemi materiale homoelektrizuese (Fig. 3.45).

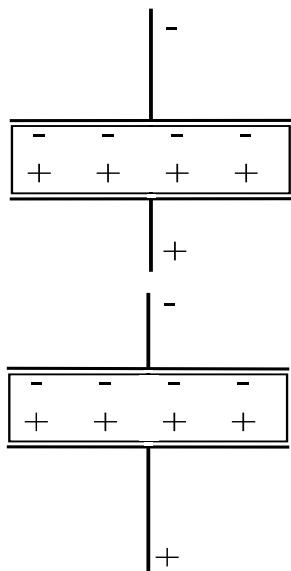


Fig.3.45. Paraqitura skematike:
a) homoelektrizimit
dhe
b) heteroelektr. të
elektreteve

Në Fig. 3.46 është treguar varësia e dendësisë sipërfaqësore të ngarkesave elektrike në funksion të kohës.

Zakonisht, kur intensiteti i fushës elektrike $E_p=0,5\text{MV/m}$, formohen heteroelektrete.

Në këtë rast varësia e dendësisë së elektrizimit sipërfaqësor prej kohës është treguar në Fig. 3.46a. Kur fusha polarizuese ka vleren $E_p=1\text{MV/m}$ formohen homoelektritet të gjendjes -a, ndërsa ndryshimi i dendësisë së elektrizimit sipërfaqësor prej kohës është treguar në Fig. 3.46b. Kur fusha polarizuese merr vlera në mes të 0,5 dhe 1MV/m, varshmërinë e dendësisë së elektrizimit sipërfaqësor prej kohës e tregojmë në Fig. 3.46c). Në këtë rast, materialet

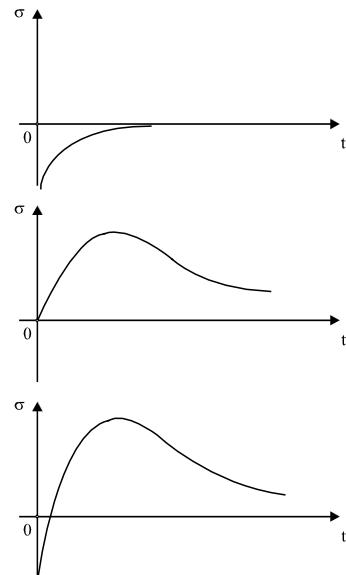


Fig.3.46. Varësia kohore e dendës. te
elek.sipér.e cila mbështetur në elek.pozitive:
a) forma
heteroelektricitetit,
b) forma e
homoelektrizimit
dhe
c) rasti kur së pari
mbiz.heter.e mandej
homoelektriciteti.

heteroelektrizuese marrin vlerë gjer në zero e mandej kalohet në gjendje homoelektrizuese. Kështu, në sipërfaqe të materialit bëhet elektrizimi intensiv.

Eksperimentalisht është vërtetuar se elektretet e formës homoelektrike kanë kohë të zgjatjes të gjendjes së elektrizuar më të madhe se heteroelektritet.

Në kohën e sotme po hulumtohen shumë elektretët që kanë mundësi më të madhe përdorimi. Sidomos eksperimente të shumta po bëhen në materiale polimere. Kështu, me bombardimin e foljeve të holla të materialeve organike (si PET, PTFE), fitohen elektretet me kohë të zgjatjes me të madhe.

Elektretet e përfituar prej materialeve organike

Elektretet e materialeve organike i ndajmë në dy grupe:

1. Në grupin e parë hyjnë elektretet e përfituarë më herët. Këto janë përzirje llojesh të ndryshme të dyellit të bletëve dhe të karbnaubit, rrëshirave natyrore, si kollofoniumit, qelibarit etj. Elektretet prej këtyre materialeve zakonisht përfitohen në temperaturat të larta (termoelektretet). Dendësia e tyre e elektrizimit sipërfaqësor nuk e kalon vlerën $5 \times 10^{-5} \text{ C/cm}^2$. Këto materiale kanë stabilitet të madh elektrizimi dhe koha e ekzistencës së kësaj gjendje elektrike zgjat një vit. Mostrat për polarizim janë të formës së diskut, trashësisë 0,5-5mm dhe diametër 20-100mm.
2. Në grupin e dytë të elektreteve që përfitohen prej materialeve organike, bëjnë pjesë ato materiale elektrete të cilat përfitohen prej materialeve polimere organike jopolare ose ato që polarizohen shumë pak, e të cilat zakonisht kanë formën e shtresave të holla të folijeve trashësie gjer 25mm. Më së shumti përfitohen prej polietilentereftallatit (PET), polikarbonatit, polipropilenit, politetrafluoretilenit (PTFE) etj.

Në (Fig.3.47.) është dhënë varësia e dendësisë së elektrizimeve sipërfaqësore në funksion të kohës për disa materiale të holla polimere.

Elektretet e materialeve inorganike

Prej materialeve inorganike për përfitimin e elektreteve, më së shumti përdoren materialet qeramike në bazë të: TiO_2 , CaTiO_3 , $\text{SrO}\cdot\text{Bi}_2\text{O}_3\cdot\text{TiO}_2$, BaTiO_3 , MgTiO_3 , ZnTiO_3 dhe SrTiO_3 .

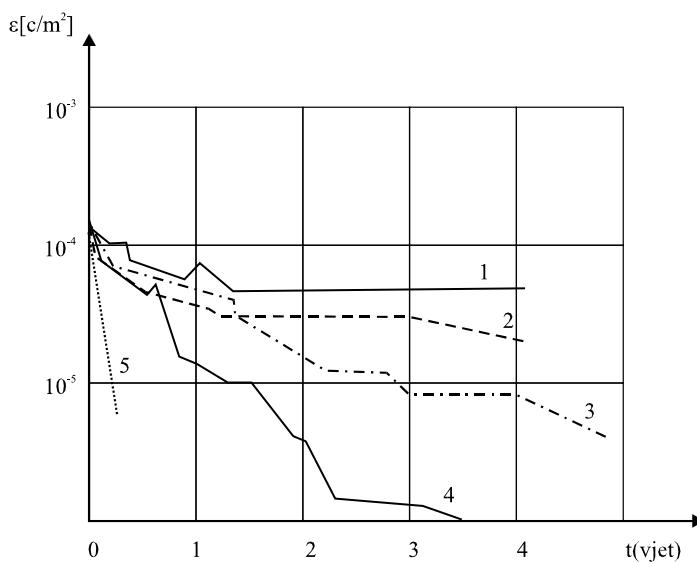


Fig.3.47. Varësia e dendësisë së elektrizimeve sipërfaqësore në funksion të kohës për disa elektrete të cilët janë në formë të shtresave të holla, përgjat shfrytëzimit normal.

- 1) politetrafluoretileni,
- 2) polikarbonati,
- 3) polietilentereftallati (25mm),
- 4) polietilenteref. (13mm) dhe 5) poliamidi.

Mostrat për polarizim përpunohen në formë të disqeve me trashësi 0,3-10mm dhe diametër prej 80, 100mm. Polarizimi bëhet në temperaturën 150-300°C dhe intensitet të fushës elektrike jo më të vogël se 1MV/m gjatë kohës prej 4, 10 orë.

Meqenëse elektretet janë burim i përhershëm i fushës elektrike, mund të përdoren në raste të ndryshme dhe në aparate të ndryshme.

Sot elektretet, zakonisht përdoren për përfitimin e mikrofonave kondensatorësh, gjeneratorëve të tensionit të lartë me fuqi të vogla, filtërve për gazra, dozimetrale, matësave të presioneve atmosferike dhe lagështisë, elektrometrave galvanometrale vibrues, voltmetrale elektrostatikë, kompjuterikën optike etj.

3.5. PËRCAKTIMI EKSPERIMENTAL I DISA VECORIVE ELEKTRIKE TË MATERIALEVE DIELEKTRIKE

Përdorimi i materialeve dielektrike në teknikën e izolimit luan rol të rëndësishëm në punën kontinuale të aparateve elektrike. Njohja e veçorive dielektrike dhe analiza e tyre ka mundësuar zgjedhje dhe përdorim të drejtë të materialeve përkatëse izoluese.

Siq dihet, materialet dielektrike gjatë kohës, dhe për shkak të veprimit kontinual të fushës elektrike e faktorëve tjerë të jashtëm, vjetërsohen. Prandaj, duhet të kontrollohen për të verifikuar veçoritë dielektrike (regjenerimi i materialit izolues, ndërrimi i ndonjë pjese ose vendosja e materialit të ri izolues, nëse ai paraprak i ka humbur ose iu kanë dobësuar veçoritë izoluese).

Shqyrtimet dhe matjet e ndryshme të veçorive dielektrike në shumicën e rasteve janë të definuara me rekomandime dhe standarde, në mënyrë që të unifikohen vlerat e duhura të madhësive të materialeve dielektrike, si dhe metodat për matje.

Në vendin tonë metodat e matjeve të madhësive janë të dhëna në standardin DIN ose me rekomandimet e IEC. Në këtë mënyrë, duke u mbështetur në rekomandime e standarde për vlerat që kërkohen për ndonjë madhësi dielektrike, bëhen shqyrtimet dhe vendime për të konstatuar se materiali a i plotëson ose nuk i përbush kushtet e këruara me standard.

3.5.1. PËRCAKTIMI EKSPERIMENTAL I SOLIDITETIT DIELEKTRIK DHE TENSIONIT TË SHPIMIT TË MATERIALEVE IZOLUESE PËR FREKUENCË INDUSTRIALE 50 Hz

Shqyrtimet e fortësisë dielektrike te trupat e ngurtë ndryshon shumë prej formës së elektrodave, prej matjes së fortësisë dielektrike të trupave të lëngët dhe të gazët. Pos kësa, forma e elektrodave dhe mënyra e vendosjes së tyre nuk është e njëjtë edhe për të gjitha mostrat e materialeve të ngurta dielektrike.

Forma e elektrodave për mostrat e materialeve në formë pllakash është treguar në Fig. 3.48a dhe b. Ndërsa, në Fig. 3.48a) është treguar vendosja e elektrodave, kur trashësia e materialit që shqyrtohet është më e vogël se 3mm kurse në Fig. 3.48 b) është dhënë deformimi i materialit me qëllim që kur kjo është e nevojshme, trashësia e materialit të zvoglohet gjer në trashësinë e dëshiruar 3mm.

Elektrodat ndërtohen nga mesingu dhe kanë formën e cilindrave. Diametri i njërsës elektrodë është rrëth 75mm. Lartësia e elektrodave duhet të jet së paku 15mm. elektrodat vendosen në pozitë koaksiale.

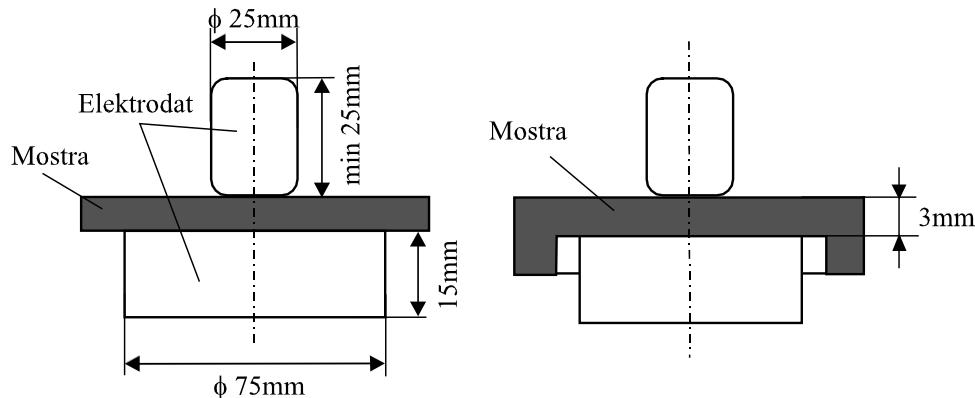


Fig. 3.48. Forma dhe mënyra e vendosjes së elektrodave për shqyrtimin e fortësisë dielektrike të materialet e ngurta në formë plakash trashësia e të cilave është

a) më e vogël se 3mm, b) më e madhe se 3mm.
Në rastin e dytë, bëhet thellimi i mostrës që t'i zvoglohet trashësia.

Forma e elektrodave dhe vendosja e tyre për material dielektrik të gjendjes agregate të lëngët dhe të gazët është treguar në Fig. 3.49. Në këtë rast, elektrodat mund të mbarohen prej bakrit, mesingut, bronzës ose prej çelikut që nuk ndryshket. Forma e elektrodave mund të jetë sferike (12,5-13mm në diametër), ose në formë kallote siç është treguar në Fig. 3.49. Zakonisht, elektrodat vendosen në distancë 2,5mm.

Shqyrtimi i fortësisë dielektrike në trupat e ngurtë mund të bëhet në ajër ose në dielektrikë të lëngët. Matja e fortësisë dielektrike të trupave të ngurtë në lëngje bëhet për shkak të zvoglimit të mundësisë së kapërcimit të tensionit. Kapërcimi i tensionit është shpimi i dielektrikut në mes të elektrodave, kur ky është gaz, ose kapërcimi i tensionit nëpër sipërfaqe të dielektrikut të ngurtë. Shqyrtimi i fortësisë dielektrike mund të bëhet matje me ngritje kontinuale të tensionit a me këcime, ose mund të bëhen matje tension të caktuar më parë, kështu që tensioni rritet gjersa të arrijë vlerën e përcaktuar më heret i cili qëndron në këtë vlerë për një kohë të caktuar dhe më vonë bie rrëpishëm.

Kur paraqitet shpimi i dielektrikut, bëhet rritja e theksuar e rrymës dhe rënja e tensionit në mostër. Në dielektrikët e ngurtë edhe më vonë, në mënyrë vizuale, mund të vërehet vendi se ku ka ngjarë shpimi.

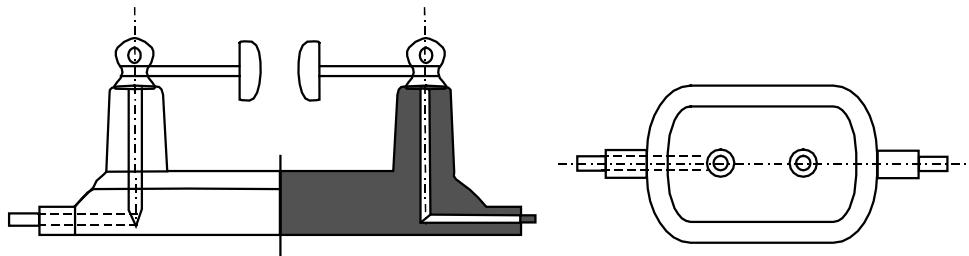


Fig. 3.49. Pamja e elektrodave dhe shtëpizave matëse të fortësisë dielektrike për materialet e gazta dhe të lëngëta izoluese.

Fortësia dielektrike e materialeve llogaritet sipas relacionit:

$$E_{shp} = \frac{U_{shp}}{d} [\text{kV/mm}] \quad 3.69)$$

Zakonisht, për një material bëhen matje, dhe për vlerë të fortësisë dielektrike merret mesatarja aritmetike e tyre.

Shqyrtimi i fortësisë dielektrike të materialeve të gazët dhe të lëngëta bëhet duke rritur në mënyrë kontinuale tensionin rrëth 2kV/s. Matjet duhet të përsëriten gjashtë herë në materialin, me të cilin e kemi mbushë shtëpizën. Nëpërmjet një shkopi të hollë qelqi largohen luspat e ajrit që paraqiten me rastin e shpimit të dielektrikut të lëngët. Pra, pas çdo matje duhet ngadalë të përzihet lëngu që ndodhet në mes elektrodave. Fortësia dielektrike e këtyre materialeve është mesatarja aritmetike e matjeve të bëra.

Shqyrtimet e materialeve dielektrike për të vërtetuar veçoritë e tyre dielektrike, janë paraparë me standartet IEEE, DIN, VDE dhe rekomandime IEC.

3.5.2. PËRCAKTAMI EKSPERIMENTAL I REZISTENCËS SPECIFIKE ELEKTRIKE SIPËRFAQËSORE DHE VËLLIMORE TE MATERIALET DIELEKTRIKE

Metodat për përcaktimin eksperimental të rezistencës specifike elektrike vëllimore dhe sipërfaqësore të materialeve dielektrike janë përcaktuar me standartet DIN. Këto metoda bazohen në përcaktimin e rezistencës sipërfaqësore dhe vëllimore të materialeve përkatëse dielektrike e, mandej duke u bazuar në dimensione të mostrave dhe barazive të caktuara, përcaktohen rezistencat specifike elektrike sipërfaqësore dhe vëllimore.

Matja e rezistencës elektrike te materialet izoluese është e ngjashme me matjen e kësaj madhësie te materialet përquese.

Kjo metodë mbështet në përcaktimin e rrymës dhe tensionit (U-I metoda), ose në krahasimin e vlerave të rezistencës, me vlera të njohura më parë. Mirëpo, matja e rezistencës vëllimore dhe sipërfaqësore të materialeve dielektrike bëhet përmes elektrodave të formave specifike.

Forma e shfrytëzimit të elektrodave, varet nga rezistenca vëllimore dhe sipërfaqësore e materialit dielektrik dhe formës e mostrës. Në Fig. 3.50a dhe b) janë treguar elektrodat për mostra në formë pllakash, ndërsa në Fig. 3.50c për mostra të materialeve në formë gypash.

Elektrodat e treguara në Fig. 3.50 dhe të shënuara me 1, quhen "mbrojtëse", me 2 "mbrojtëse" dhe me 3 "të pambrojtura".

Gjatë matjes së rezistencës vëllimore elektrike, elektroda 3 është në potencial pozitiv elektrik, elektroda 2 në potencial negativ, ndërsa elektroda 1 është e tokësuar.

Gjatë matjes së rezistencës sipërfaqësore elektrike, elektroda 3 është e tokësuar, ndërsa elektrodat 1 dhe 2 janë në potencial elektrik pozitiv, respektivisht në potencial negativ.

Rezistenca vëllimore specifike elektrike e materialeve dielektrike llogaritet sipas shprehjes:

$$r_v = \frac{S}{d} R_v \quad (3.70)$$

ku: R_v - paraqet rezistencën vëllimore elektrike të mostrës,

d - trashësinë mesatare të mostrës së materialit, ndërsa

S - është sipërfaqja efektive e elektrodave të mbrojtura.

Kjo sipërfaqje llogaritet për elektroda të formave të ndryshme (Fig. 3.49) dhe në bazë të shprehjeve:

- | | |
|-----------------------|--|
| a) $S = d_o^2/4$ | për elektroda të formës rrethore, |
| b) $S = (a+s)(b+s)$, | për elektroda të formës katërkëndëshe, |
| c) $S = (a+s)^2$ | për elektroda të formës katrore, |
| d) $S = d_o/(l_1+s)$ | për elektroda në formë gypi, |
| e) $S = d_o l_1$ | për elektroda për kabllo. |

Rezistenca specifike elektrike sipërfaqësore e mostrës llogaritet sipas shprehjes:

$$r_s = \frac{P}{S} R_s \quad (3.72)$$

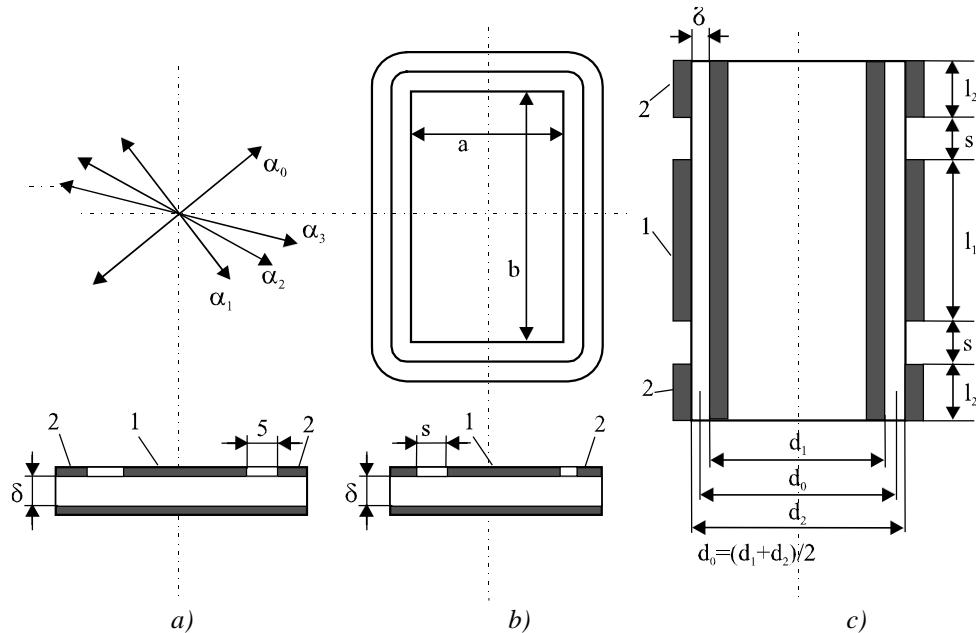


Fig.3.50. Elektrodat për matjen e rezistencës vëllimore dhe sipërfaqësore të mostrave të materialeve dielektrike a) dhe b) në formë pllakash dhe c) në formë gypash.

ku: R_s - paraqet rezistencën elektrike sipërfaqësore të mostrës,

s - është largësia në mes elektrodash, ndërsa

P - perimetri efektiv i elektrodave të mbrojtura.

Perimetri efektiv i elektrodave të mbrojtura llogaritet, për elektroda të formave të ndryshme, sipas këtyre shprehjeve (shiko Fig. 3.50).

- | | | |
|----|--------------------|---|
| a) | $0 = P \times d_0$ | - për elektroda të formës rrethore |
| b) | $0 = 2(a+b)$ | - për elektroda të formës katërkëndëshe |
| c) | $0 = 4a$ | - për elektroda të formës katrore |
| d) | $0 = 2d_2$ | - për elektroda gypore. |

Duhet theksuar se për matjen e rezistencës elektrike vëllimore dhe sipërfaqësore të mostrave të materialeve dielektrike, përdoret tensioni i njëkahshëm me vlera 100, 500 dhe 1000 V. Matja e këtyre madhësive bëhet nën ndikimin e kushteve të ndryshme klimatike dhe temperaturës së ndryshme.

Detajet rreth mënyrës së matjeve, dimensioneve të materialeve për elektroda, raporteve të ndryshme për shqyrtim, lexuesi mund t'i gjejë në standardin DIN ose IEEE.

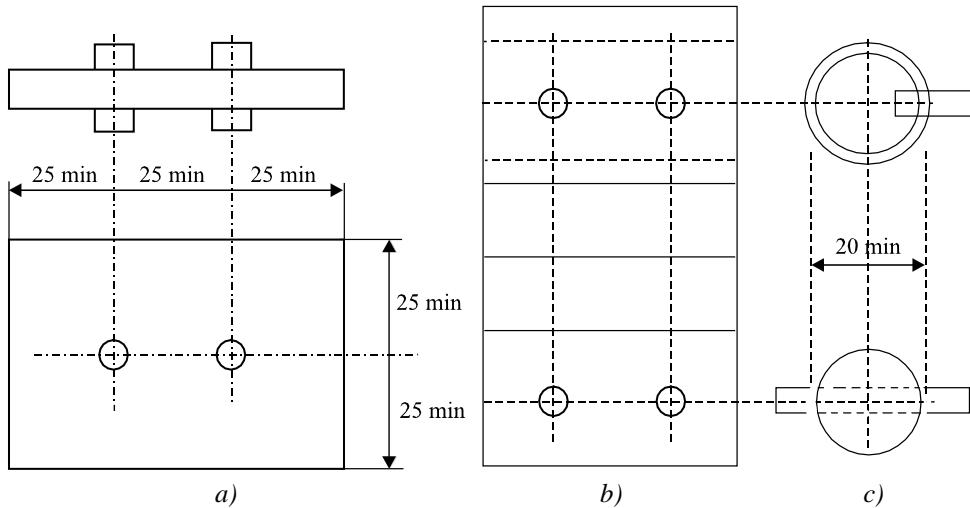


Fig.3.51. Vendasja e elektrodave për matjen e qëndrueshmërisë së izolimit për mostra në formë: a) pllakash, b) gypash
dhe c) në formë kabllash.

3.5.3. VLERËSIMI I REZISTENCËS SË IZOLIMIT NË MATERIALET E NGURTA DIELEKTRIKE

Me fjalën “qëndrueshmëri” ose rezistencë të materialit dielektrik kuptojmë rezistencën që paraqitet në mes të dy elektrodave të cilat kur janë në kontakt me mostrën, mund të shtypen ose bën që elektrodat të hyjnë në thellësi të mostrës së materialit dielektrik. Rezistenca e izolimit përcaktohet si raport i tensionit të njëkahshëm, që është i kyçur në elektroda, ndaj rrymës së përgjithshem e cila rrjedh ndërmjet elektrodave. Rezistenca e izolimit, varet edhe prej rezistencës specifike sipërfaqësore dhe vëllimore e elektrike të mostrës.

Elektrodat që përdoren për këtë qëllim, zakonisht ndërtohen prej mesingut ose prej çelikut i cili nuk ndryshket. Këto elektroda kanë formë çepash, me diametër prej 5mm dhe pjerrësi prej 2%. Këto elektroda përdoren për mostra të rrafshta, shkopinjsh dhe në formë gypash (Fig. 3.51.). Vendosja e elektrodave bëhet kur të hiqen këta çepa nga dy vrima paralele, qendrat e të cilave janë të larguara për 25 ± 1 mm.

Nëse mostra është më e vogël se 25 mm, vlerën e matur të rezistencës duhet ta korrigojmë në bazë të relacionit:

$$R_{25} = \frac{b}{25} R_x \quad (3.73)$$

ku R_{25} - është rezistenca që i përgjigjet distancës 25 mm, ndërsa b - është distanca në mes të elektrodave.

Përcaktimi i vlerës së rezistencës së izolimit te materialet dielektrike është dhënë sipas standardit IEEE ose DIN.

3.5.4. PËRCAKTAMI EKSPERIMENTAL I HUMBJEVE DIELEKTRIKE DHE DIELEKTRICITETIT RELATIV DIELEKTRIK TE MATERIALET DIELEKTRIKE

Është theksuar më parë se madhësitetë themelore, të cilat i karakterizojnë materialet dielektrike, janë: humbjet dielektrike (tangësi i këndit të humbjeve $\tg\delta$, permetiviteti relativ dielektrik ϵ_r , fortësia dielektrike E_d dhe rezistenca e materialit R . Për të gjitha këto mbadhësi janë dhënë edhe definicionet, dimensionet dhe llogaritja e tyre analitike. Këtu do të shpjegojmë në pikë të shkurtëra disa metoda eksperimentale të përcaktimit të ϵ_r , $\tg\delta$ të materialevë dielektrike të cilat janë përcaktuara me standardine.

Në përgjithësi ekzistojnë dy parime që përdoren për matjen e ϵ_r dhe $\tg\delta$ këto janë parimi i rezonancës dhe i baraspeshimit.

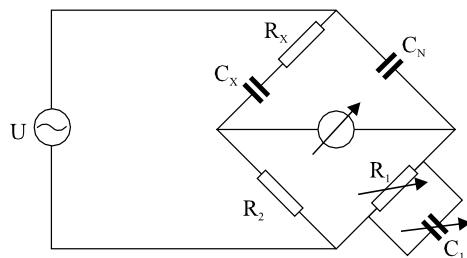


Fig.3.52. Skema ekuivalente e urës se Sheringut

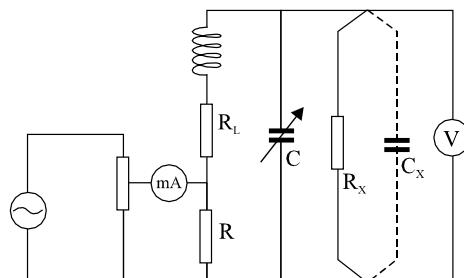


Fig.3.53. Skema ekuivalente Q-metrat për përcaktimin e tg delta dhe epsilon_r te materialet dielektrike

Principi i baraspeshimit përdoret, kur frekuenca është në kufijt prej 15Hz gjer në 5Mhz. Ura që përdoret për përcaktimin e këtyre madhësive dielektrike është ajo e Sheringut (Fig. 3.52).

Në njërin krah, të urës së Sheringut gjendet kondensatori me dielektrik, për të cilin caktohen humbjet dielektrike dhe rezistenca R_x . Ky kondensator është

paraqitur me lidhje në seri të kapacitetit C_x dhe rezistencës R_x . Në krahun tjetër të urës gjendet kondensatori me dielektrik ideal (dielektrik pa humbje). Kapaciteti i këtij kondensatori është C . Dy krahët tjerë të urës përmblajnë rezistor me rezistencë konstante R_2 dhe rezistor me rezistencë të ndryshme R_1 i cili është i lidhur paralel me kondensatorin me kapacitet C_1 .

Me ndryshimin e R_1 dhe C_1 , mund të arrihet baraspesa e urës. Kur ura baraspeshohet, do të vlejnë relacionet:

$$\frac{\omega}{\omega} R_x + \frac{1}{j\omega C_x} \parallel \frac{1}{1 + j\omega C_1 R_1} = \frac{R_2}{\omega C} \quad (3.74)$$

Nga relacioni i mësipërm, do të kemi:

$$C_x = C \frac{R_1}{R_2} \quad dhe \quad R_x = R_2 \frac{C_1}{C}$$

Prandaj del se:

$$\omega d_x = \omega C_x R_x = \omega C_1 R_1 \quad (3.75)$$

Me metoda rezonante caktohen vlerat e ω dhe ω në diapazon prej 10 Hz gjere në 300 MHz.

Njëra prej metodave rezonante më të rëndësishme mbështetet në përdorimin e Q-metrat. Skema ekuivalente e Q-metrat është dhënë në Fig. 3.53. Q-metri përbëhet prej qarkut rezonues me rezistencia R_L , L dhe C , të cilat janë të lidhura paralel me rezistencën R në gjenerator të frekuencave të ndryshueshme. Për frekuencë të caktuar të gjeneratorit, rezonanca arrihet me ndryshimin e kapacitetit C . Nëse për kapacitetin C arrihet rezonanca, atëherë në voltmetrin gypor, pastaj vërehet elongacion maksimal. Vlera efektive e tensionit maksimal në skajet e kondensatorit do të jetë:

$$U_{C1} = \frac{1}{\omega C_1} \frac{U}{R_L} = \frac{\omega L}{R_L} U \quad (3.76)$$

sepse përgjatë rezonancës rryma në qark $i = U/R_L$ dhe $1/\omega C = \omega L$. Në barazitë e mëparshme U -paraqet vlerën efektive të tensionit në skajet e qarkut rezonues (në rezistencën e rezistorit R).

Meqenëse faktori i shfrytëzimit të bobinës është $Q = L/R_L$, që në rastin tonë paraqet faktorin e shfrytëzimit të tërë qarkut rezonues, përgjatë rezonancës do të jetë:

$$Q = \frac{\omega L}{R_L} = \frac{1}{\omega C R_L} \quad (3.77)$$

Nga shprehja (3.76) del se (3.75)

$$Q = \frac{U_{C1}}{U} \quad (3.78)$$

Duke u mbështetur në barazinë e mëparshme, mund të përfundojmë se përtensioni të njohur U , me matjen e tensionit U_c , mund të përcaktojmë faktorin Q të

qarkut rezonues. Pikërisht për këtë, edhe instrumentet matëse, skema ekuivalente e të cilëve është paraqitur në Fig. 3.53 quhen Q-metra. Të Q-metrat vlera e U është madhësi konstante, dhe shkalla e voltmetrit gypor është e rregulluar në mënyrë që të tregojë menjëherë vlerën e faktorit Q .

Mënyra e përcaktimit të $\text{tg}\vartheta$ dhe ϵ_r është kështu:

1. Për vlerë të caktuar të frekuencës së gjeneratorit, në të cilin është i kyçur qarku rezonues, me ndryshimin e kapacitetit të kondensatorit C realizohet rezonanca në qark. Në instrumentin Q-metër, tensioni U është konstant dhe tregon vlerën konstante voltmetri gypor. Le të jetë kapaciteti i kondensatorit C_1 , ndërsa tregimi i Q-metrit Q_1 .
2. Mandej, paralel me kondensatorin e kyçur lidhet kondensatori në të cilin duam ta caktojmë $\text{tg}\vartheta$ dhe ϵ_r . Me ndryshimin e kapacitetit të kondensatorit të ndryshueshëm, përgjatë frekuencës së njëjtë si më parë, realizohet përsëri rezonanca në çark. Le të jetë kapaciteti i kondensatorit të ndryshueshëm përgjatë rezonancës së re C , ndërsa tregimi i Q-metrit Q_2 .

Për kondensator me dielektrik te i cili duam të përcaktojmë $\text{tg}\vartheta$ dhe ϵ_r , që në skemën Fig. 3.53. është treguar si lidhje paralele në mes të R_x dhe C_x , për përcaktimin e tengensit të humbjeve të dielektrikut dhe kapacitetin e kondensatorit mund të përdoren relacionet e mëposhtme:

$$\text{tg}\vartheta_x = \frac{1}{\omega C_x R_x} \gg \frac{C_1}{C_1 + C_2} \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1 Q_2} \quad (3.79)$$

dhe

$$C_x \gg C_1 - C_2$$

Permetiviteti i materialeve dielektrike llogaritet kur së pari matet kapaciteti i kondensatorit me vakuum C_0 , e mandej kapaciteti i kondensatorit me dimensione të pa ndryshueshme, por me material dielektrik të shqyrta, C_x . Dielektriciteti (permetiviteti) relativ dielektrik llogaritet sipas shprehjes:

$$\epsilon_r = \frac{C_x}{C_0} \quad (3.80)$$

Në qoftë se i kushtohet rëndësi edhe efektit kufitar, atëherë llogaritet sipas formulës:

$$\epsilon_r = \frac{C_x - C_e}{C_0} \quad (3.81)$$

ku: C_e - paraqet kapacitetin e kondensatorit për formë dhe dimensione të caktuara (Fig. 3.54).

Elektrodat që përdoren për këto matje, për dielekrikët e lëngët dhe të ngurtë skematikisht janë paraqitë në Fig. 3.55.

Zakonisht, këto elektroda ndërtohen prej materialit që nuk ndryshket (çelikut që nuk ndryshket), ndërsa pjesët izoluese prej kuarcit izolues të shkrirë ose prej qelqi të silikatit të borit.

Në rezultatet e përfituarë, përveç temperaturës dhe frekuencës, ndikim të madh ka lagështia dhe tensioni për të cilin bëhen matjet. Prandaj, duhet kushtuar kujdes të posaçëm ndikimit te këtyre parametrave.

Shpjegimet më të imta për metodën e matjes, aparaturës e për matje dhe mënyrën e përcaktimit të $\tg\delta$ dhe ϵ_r për vlera të ndryshme të frekuencës, janë përfshirë me standarde IEEE dhe DIN.

3.5.5. PËRCAKTIMI I REZISTENCËS SË MATERIALEVE DIELEKTRIKE NDAJ PARAQITJES SË TRAJTAVE RRYMORE SIPËRFAQËSORE

Kur nëpër sipërfaqe të materialeve izoluese rrjedh ndonjë elektrolit, ndërmjet dy elektrodave, në intervale të caktuara kohore, do të vërehet se ekziston një vlerë e caktuara e tensionit. Për t'u paraqitur rrymat sipërfaqësore, është e nevojshme që të shtohet sasia e elektrolitit. Kjo vlerë e tensionit është, në të vërtetë, rezistenca e materialit që të mos paraqiten trajtat rrymore nëpër sipërfaqe të dielektrikut.

Për shqyrtimin e materialit dielektrik, përsa i përket rezistencës së tij ndaj paraqitjes së rrymave sipërfaqësore (trajtore), mund të përdoret çfardo sipërfaqe e rrafshët e materialit në fjalë. Aparatura për matjen e trajtave rrymore nëpër sipërfaqe të materialeve dielektrike është treguar në Fig. 3.55.

Elektrodat që përdoren për këto matje janë të formës delta, skajet e të cilave janë nën këndin prej 30° . Elektrodat kanë prerje têrthore në formë katërkëndëshi, me dimensione $5 \times 2\text{mm}$ dhe gjatësi 20mm . Për shqyrtime normale, elektrodat ndërtohen prej platine ose lëgurës së iridiumit dhe platinës për kushte të caktuara këto elektroda mund të janë edhe nga mesingu, bakri ose aluminji. Siç është thënë edhe më parë, elektrodat vendoset simetrikisht në distancë 4mm , të cilat në mes veçori formojnë këndin 60° . Vlera e forcës që duhet të veprojë në mostë të materialit, duhet të jetë e rendit prej 1N . Elektrodat kyçen në tension alternativ me frekuencë 50Hz , (Fig. 3.55b). Tensionin e kyçur mund ta ndryshojmë, sipas dëshirës, nëpërmjet autotransformatorit (aut.2). për ndërprenjen e rrymës në çark përdoret një rele në momentin kur rryma e lidhjes së shkurtër bëhet më e madhe se 1A .

Kur tensioni rregullohet në vlerën e duhur, ndërsa rezistori 4 të vendoset në mënyrë që rryma e lidhjes së shkurtër të mos i kalojë kufijt e lejuar, elektroliti lëshohet të pikojë në mes të elektrodave. Elektroliti që përdoret për këto shqyrtime, zakonisht është përzierje e ammoniumkloridit në ujin e destiluar, me koncentrim $0,1\%$.

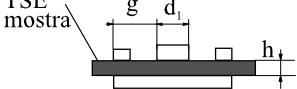
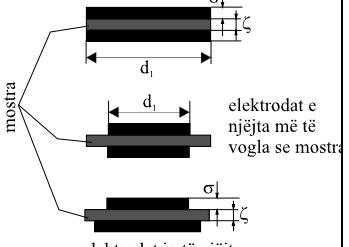
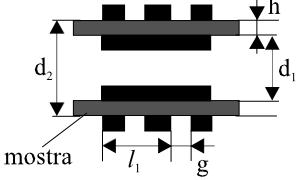
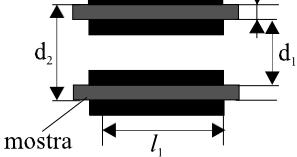
	kapaciteti i kondenzatorit për vakum C_0 (pF) [h, g, d, l në 1 cm]	koreksioni për shkak të efektit të skajeve C_e (pF) [a, h, d në cm]
1) ELEKTRODAT RRETHORE ME UNAZË MBROJTËSE	 $C_0 = \epsilon_0 \frac{S}{h}; S = \frac{\rho}{4} (d_1 + g)^2$	$C_e = 0$
2) ELEKTRODAT RRETHORE PA UNAZË MBROJTËSE	 $\begin{aligned} C_0 &= \epsilon_0 \frac{\rho}{4} \times \frac{d_1}{h} = \\ &= 0.06954 \frac{d_1^2}{h} \end{aligned}$	$\begin{aligned} \frac{C_e}{O} &= 0.029 - \\ &- 0.058 \log h \\ \frac{C_e}{O} &= 0.019 \epsilon_l - \\ &- 0.053 \log h + 0.010 \\ \frac{C_e}{O} &= 0.041 \epsilon_l - \\ &- 0.077 \log h + 0.045 \end{aligned}$
3) ELEKTRODAT CILINDRIKE ME UNAZË MBROJTËSE	 $C_0 = \frac{0.2416 \times (l_1 + g)}{\log \frac{\pi d_2}{\epsilon} \frac{\ddot{\phi}}{d_1 \dot{\phi}}}$	$C_e = 0$
3) ELEKTRODAT CILINDRIKE ME UNAZË MBROJTËSE	 $C_0 = \frac{0.2416 \times l_1}{\log \frac{\pi d_2}{\epsilon} \frac{\ddot{\phi}}{d_1 \dot{\phi}}}$	$\begin{aligned} \frac{C_e}{O} &= 0.019 \epsilon_l - \\ &- 0.053 \log h + \\ &+ 0.010 \end{aligned}$

Fig. 3.54. Llogaritja e kapacitetit C_o të kondensatorëve të ndryshëm për vakuum dhe korigimet për shkak të ndikimit të efektit të skajeve C_e , për elektroda të ndryshme dhe mostra përkatëse.

Madhësia e pikave të elektrolitit është rrreth 20mm^3 dhe duhet të bie prej lartësisë prej 40 mm. Intervali kohor në mes të pikave duhet të jetë $1\text{min} \pm 5$ sekonda. Lëshimi i pikave të elektrolitit bëhet gjér në momentin e paraqitjes së rrymës rrjedhëse, ose gjér të mos të rrjedh 50 ose më shumë pikë elektrolite në mes të elektrodave.

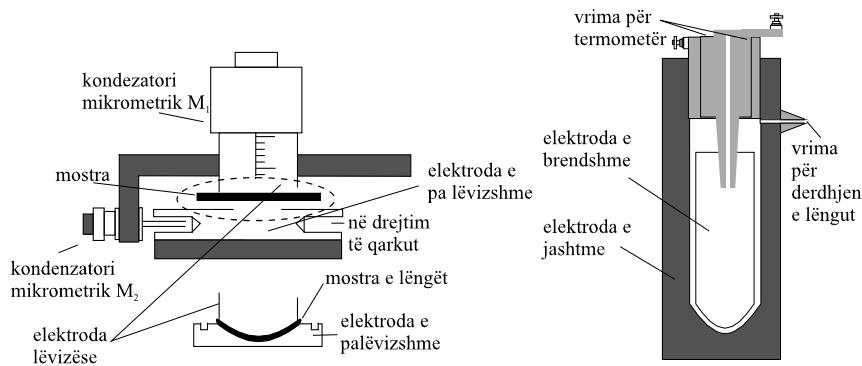


Fig. 3.55. Forma e elektrodave për matjen e tgddhe ϵ_r për:

- a) materiale të ngurta dielektrike dhe
- b) materiale të lëngëta dielektrike.

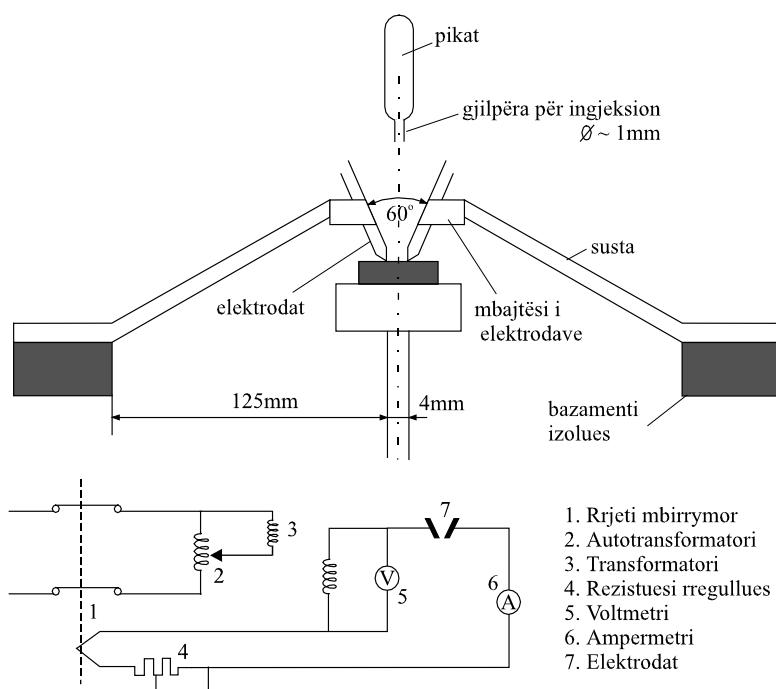


Fig. 3.56. Paraqitura skematike e vendosjes së elekrodave dhe skema ekuivalente e aparaturës për përcaktimin e rezistencës së materialeve dielektrike ndaj lindjes së rrymave sipërfaçësore.

Për ta bërë krahasimin e rezistencës së materialeve dielektrike ndaj paraqitjes së rrymave sipërfaqësore, duhet të vizotojmë diagramin që paraqet raportin e pikave të nevojshme, me qëllim të paraqitjes së shtigjeve përquese dhe vlerën efektive të tensionit shqyrtues (Fig. 3.56). Gjatë këtij procesi për çdo vlerë të re të tensionit matjet bëhen në sipërfaqe të terura ose në mostra tjera. Në diagramin e paraitur në Fig. 3.56 ndodhet elementi i cili bëri të mundur përcaktimin e rezistencës së materialit që e ka ndaj paraqitjes së shtigjeve përquese rrymore, duke lexuar në boshtin horizontal vlerën efektive të tensionit U_{cf} që i përgjigjet ordinates prej 50 pikave të elektrolitit.

Shqyrtimet e materialeve dielektrike, me qëllim të vërtetimit të rezistencës së tyre ndaj paraqitjes së rrymave përquese sipërfaqësore, janë paraparë me standard sipërpërmendura.

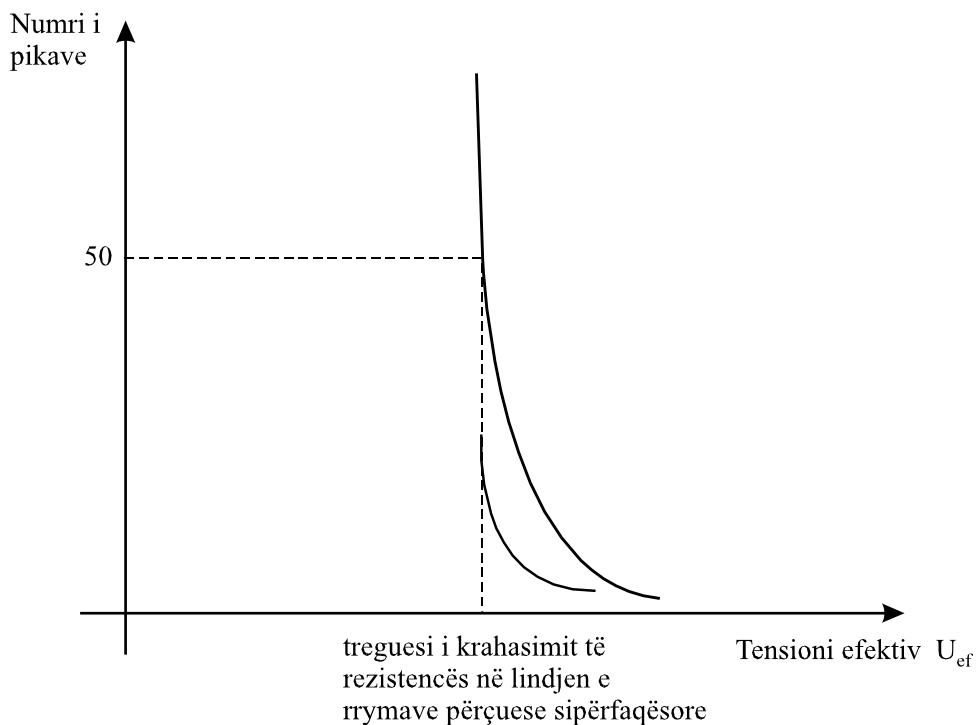


Fig. 3.57. Diagrami tipik i tensionit në lindjen e rrymave sipërfaqësore në dielektrik

Tema për diskutim

1. Çka ndoshë me material dielektrik kur i nënshtrohet ndikimit të fushës së jashtme elektrike, termike, mekanike etj.
2. Polarizimi i dielektrikut është një proces fizik që paraqitet tëmaterialet izoluese kur janë nën ndikim ose edhe pa ndikim të fushës së jashtme. Si mund të shpjegohet shumëlojshmeria e polarizimeve në dielektrik?
3. Njera nga veçoritë themelore të dielektrikëve është edhe permeabiliteti dielktrik relativ- konstanta dielektrike. Si shpjegohet varësia e saj nga kushtet e jashtme, formës së fushës, frekuencës etj?
4. Pse koeficienti termik i rezistenës (α) të këto materiale ka vlerë më të vogël se zero?
5. Shpimi elektrik i dielektrikut është proces që varet edhe nga kushtet e jashtme. Çfarë procesesh fizike ndodhin pothuej në të njajten kohë, procese këto që e vështersojnë shumë llogaritjen dhe definimin e harkut elektrik?
6. Qëndrueshmeria termike e materialete dielektrike është veçori e cila së bashku me veçoritë tjera, përcaktojne përdorimin e materialete izoluese. Si klasifikohen materialet izoluese në bazë të temperaturës së përballimit dhe si mund të përmirsohen veçoritë termike pë një material përkatës?
7. Materialet izoluese që përdoren në tekniken e tensioneve të larta, duhet të kenë vlerë të madhe të rezistences – komponentës sipërfaqësore të saj. Si mund të rritet kjo vlerë për një material përkatës?
8. Përfitimi, përdorimi dhe veçoritë e materialete termoplastike dhe termostabile elektroizoluese.
9. Materialet dielektrike jolineare janë grup i veçantë i materialete dielektrike. Çfarë polarizimesh janë: piezoelektriciteti, piroelektriciteti. Si definohen polarizimet e tillë dhe çfarë vlerash te permetivitetit relative dielektrik kanë këto materiale?
10. Për përmirësimin e disa veçorive të materialeve dielektrike me prejardhje organike dhe inorganike përdoren materiale dielektrike mikse- silikonet. Cilat veçori te këtyre materialeve permirësohen?

Kapitulli

4

MATERIALET MAGNETIKE

4.1. MATERIALET NË FUSHË MAGNETIKE

Nga elektroteknika teorike dihet se fusha magnetike është e definuar nëpërmjet të vektorit të induksionit magnetik \mathbf{B} dhe të intensitetit të fushës magnetike \mathbf{H} , kurse marrëdhënia ndërmjet tyre në vakuum është:

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} \quad (4.1)$$

ku: μ_0 - është permeabiliteti magnetik i hapësirës së lirë, që ka vlerën eksperimentale:

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ [H/m]} \quad (4.2)$$

Kur ta vendosim materien në fushën magnetike, ngjajnë disa ndryshime në të. Këto ndryshime janë pasojë e magnetizimit të materies. Sipas shpjegimeve bashkëkohore, gjendja e magnetizuar e materialit që vendoset në fushë magnetike, shpjegohet dhe se është e kushtëzuar me ekzistencën e momenteve magnetike në atomet dhe molekulat e materialit përkatës. Bartësit elementarë të momenteve magnetike janë elektronet dhe bërthamat e atomeve.

Në qoftë se me \mathbf{m} e shënojmë vektorin e momentit magnetik elementar, momenti magnetik total i një vëllimi elementar ΔV është i përcaktuar me shumën vektoriale të të gjitha momenteve magnetike elementare të cilët gjenden në vëllimin përkatës:

$$\mathbf{m} = \sum \mathbf{m}_i \quad (4.3)$$

Dendësia e momentit magnetik, që definohet me shprehjen:

$$\mathbf{M} = \frac{\left(\sum \mathbf{m}_1 \right)_{ne \Delta V}}{\Delta V} \quad (4.4)$$

është madhësi makroskopike, e cila karakterizon gjendjen e magnetizuar të materies që është vendosur në fushën magnetike. Në analogji për materialin në fushë magnetike vlen relacioni:

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} + \mathbf{M} \quad (4.5)$$

Për çfarëdo materiali, marrëdhënia ndërmjet dendësisë së momenteve magnetike dhe intensitetit të fushës magnetike, mund të shprehet si:

$$\mathbf{M} = \chi_m \mathbf{H} \quad (4.6)$$

ku me χ_m - shënojmë koeficientin e proporcionalitetit ose si e quajmë ndryshe edhe susceptibiliteti magnetik. Ndonëse susceptibiliteti magnetik është numër pa dimensione, nuk do të thotë se marrëdhëni është mes të \mathbf{M} dhe \mathbf{H} janë gjithmonë lineare. Karakteri i kësaj marrëdhënie varet prej veçorive magnetike të materies e cila është nën ndikimin e fushës magnetike.

Barazinë (4.5) mund ta shkruajmë edhe në formën tjetër:

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} = \mu_0 \mu_r \mathbf{H} = \mu_0 (1 + \chi_m) \mathbf{H} \quad (4.7)$$

ku është:

$$\mu_r = (1 + \chi_m) \quad (4.8)$$

që paraqet permeabilitetin magnetik relativ të materies. Eksperimentet tregojnë se permeabiliteti magnetik relativ nuk është gjithmonë madhësi konstante. Në disa raste kjo madhësi varet shumë prej intensitetit të fushës magnetike, dhe për materiale të ndryshme kjo madhësi mund të ketë vlera të ndryshme magnetike. Vlerat e ndryshme të permeabilitetit relativ magnetik te materialeve ndihmojnë për klasifikimin dhe grupimin e tyre.

Në bazë të vlerë μ_r , materialet magnetike ndahen në tri grupe:

a) $\mu_r \leq 1 (\chi_m < 0), \mu_r = \text{konst} \neq f(\mathbf{H})$

Këto materiale magnetizohen në drejtim të kundërt të fushës magnetike. Si rezultat i këtij magnetizimi dobësohet induksioni magnetik \mathbf{B} . Pasi që $\mu \leq 1$, dobësimi i induksionit magnetik nuk është i theksuar, ndonëse mund të regjistrohet.

Materialet magnetike që kanë kështu veçorish, quhen materiale DIAMAGNETIKE.

Në këtë grup materialesh bëjnë pjesë: argjendi, bizmuti, plumbi, bakri, azoti, hidrojeni etj.

b) $\mu_r \geq 1 (\chi_m > 0), \mu_r = \text{konst} \neq f(\mathbf{H})$

Këto materiale magnetizohen në drejtim të fushës magnetike, ndonëse ky magnetizim është shumë i vogël, ose magnetizimi është proporcional me intensitetin e fushës magnetike.

Materialet magnetike që karakterizohen me këto veçori, quhen materiale PARAMAGNETIKE.

Në këte grup materialesh hyjnë: mangani, kromi, platina, alumini, oksigjeni, ajri etj.

Varësia e induksionit magnetik \mathbf{B} nga intensiteti i fushës manetike \mathbf{H} te materialet diamagnetike dhe paramagnetike, pak dallohet mes asaj në vakuum, është e treguar në Fig. 4.1.

c) $\mu_r \gg 1$ dhe $\mu_r = f(\mathbf{H}) \neq \text{konst}$

Këto materiale fare leht magnetizohen në drejtim të fushës magnetike. Gjatë kësaj, shkalla e magnetizimit nuk është proporcionale me intensitetin e fushës magnetike, por varësia e tyre ka formë të komplikuar.

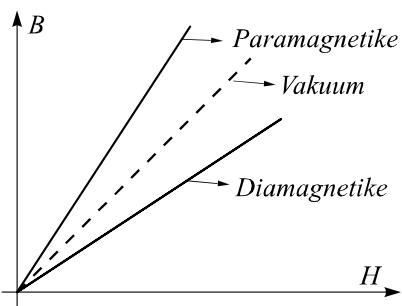


Fig.4.1. Varësia e induksionit magnetik nga fusha magnetike për materiale të ndryshme

Materialet e tillë quhen materiale FEROMAGNETIKE, ndërsa përfaqësuesit më tipik janë: hekuri, nikli, kobalti dhe legurat e tyre.

Përveç materialeve feromanetike, ekzistojnë edhe materialet feromagnetike, si edhe materialet antiferomagnetike, që kanë rëndësi të vogël praktike.

Vlerat e susceptibilitetit magnetik, për disa grupe materialesh magnetike, janë dhënë në tabelën 4.1. Për legura të ndryshme magnetike, këto vlera kanë karakter orientues, sepse nuk është dhënë përbërja dhe mënyra e përpunimit te tyre.

Tab.4.1. Vlerat e susceptibilitetit magnetik për disa materiale dhe legura të ndryshme

Diamagnetiket	χ	Paramagnetiket	χ	Feromagnetiket	χ_{\max}
bizmuti	$-1,8 \cdot 10^{-4}$	mangani	$1,0 \cdot 10^{-3}$	Fe - i pastër	250000
argjendi	$-2,6 \cdot 10^{-5}$	palladiumi	$7,8 \cdot 10^{-4}$	Fe - i shkrirë	600
plumbi	$-1,7 \cdot 10^{-5}$	kromi	$3,3 \cdot 10^{-4}$	llama - Fe	7000
bakri	$-1,0 \cdot 10^{-5}$	platina	$2,7 \cdot 10^{-4}$	Permalloj	50000
uji	$-0,9 \cdot 10^{-5}$	alumini	$1,9 \cdot 10^{-5}$	Supermalloj	300000
azoti	$-0,7 \cdot 10^{-8}$	oksigjeni	$1,8 \cdot 10^{-6}$	Nikli	
hidrogjeni	$-0,2 \cdot 10^{-8}$	ajri	$0,36 \cdot 10^{-5}$	Kobalti	

Duke krahasuar vlerat e susceptibilitetit magnetik për materialet diamagnetike, paramagnetike dhe feromagnetike, me zëvendësimin e susceptibilitetit të materialeve feromagnetike në relacionin (4.7), përkatësisht me vendosjen e këtyre materialeve në fushën magnetike, do të bëhen ndryshimet e saj në krahasim me

fushën në vakuum. Dukuria e ndryshimit, së pari, konstatohet me faktin se me vlerë të njëjtë të fushës magnetike arrihen vlera më të mëdha të induksionit.

Duke u mbështetur në shprehjen për forcën elektromagnetike të Lorencit:

$$\mathbf{F} = -Q \cdot \mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (4.9)$$

është e qartë se, edhe veprimi i fushës magnetike mbi bartësit e ngarkesave elektrike, gjithashtu do të jetë më i madh.

Nga ajo që u tha më sipër shihet se me rëndësi praktike janë materialet feromagnetike, me të cilat mund të arrihen disa efekte të dëshirueshme dhe të dobishme.

Pasi që veçoritë magnetike makroskopike të materialeve të ndryshme janë ngusht të lidhura me strukturën e tyre dhe shpjegohen me momente magnetike në atome dhe molekula, së pari do të analizojmë qëndrimin e atomit në fushën magnetike.

4.2. ATOMI NË FUSHËN MAGNETIKE

Sic është thënë edhe më parë, momentet magnetike në atome dhe pozitat ndërmjet tyre përcaktojnë veçoritë e materialeve. Ekzistimi i momenteve magnetike të atomeve ose grupeve ngusht është i lidhur me strukturën e tyre. Momenti magnetik i atomit mund të jetë si pasojë e:

- a) rrrotullimit të elektroneve nëpër luspa të tyre përreth bërthamës
- b) rrrotullimit të elektroneve dhe nukleoneve përreth boshtit të vet përkatësisht spinit të grimcave elementare në strukturën e atomeve.

Momenti magnetik që paraqitet kur lëvizin elektronet nëpër luspat e tyre, quhet moment orbital magnetik \mathbf{m} dhe me momentin orbital të sasisë së lëvizjes \mathbf{p} :

$$\mathbf{p} = m_e(\mathbf{r} \times \mathbf{v}) \quad (4.10)$$

është i lidhur me relacionin:

$$\mathbf{m} = \mu_0 I \mathbf{S} = \frac{(\mathbf{r} \times \mathbf{v})}{2} e = -\frac{e}{2m_e} \mathbf{p} \quad (4.11)$$

ku me m_e - shënohet masa e elektronit.

Pozita reciproke e këtyre vektorëve është paraqitur në Fig.4.2.

Momenti magnetik i spinit \mathbf{m}_s është i lidhur me momentin e spinit të sasisë së lëvizjes \mathbf{p}_s përmes relacionit:

$$\mathbf{m}_s = -\frac{e}{m_e} \mathbf{p}_s \quad (4.12)$$

Duke shfrytëzuar kuantin elementar të momentit magnetik, që është nxjerrë për atom të hidrogenit të izoluar, që quhet magnetoni i Borit β e që definohet përmes shprehjes:

$$\beta = \frac{e}{2m_e} \frac{h}{2} = \frac{e}{2m_e} n \quad (4.13)$$

ku me h - shënohet konstanta e Plankut, fitohet momenti orbital magnetik i elektroneve i barabart me:

$$|\mathbf{m}| = -\frac{e}{2m_e} |\mathbf{p}| = -\frac{e}{2m_e} \frac{h}{2\pi} n \quad (4.14)$$

($h \cdot n / 2\pi$ është momenti kuantik orbital i sasisë së lëvizjes) Ndërsa momenti magnetik i spinit është:

$$|\mathbf{m}| = -\frac{e}{m_e} \frac{h}{2\pi} s \quad (4.15)$$

($h \cdot s / 2\pi$ është momenti i spinit i kuantuar).

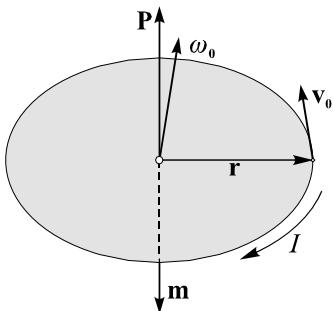


Fig.4.2. Momenti magnetik orbital dhe momenti orbital i sasisë së lëvizjes së elektroneve

Të dy momentet magnetike paraqiten në atome të çfarëdo elementi kimik. Mirëpo, se çfarë vëgorishë makroskopike do të tregojë ndonjë atom, varet në radhë të parë nga struktura dhe renditja e elektroneve nëpër luspa të ndryshme në atom.

Kur është bërë fjalë për veçoritë e materialeve elektroteknike është thënë se ekziston moment i sasisë së lëvizjes të spinit të nukleoneve edhe momenti i tij magnetik. Këto momente do të lidheshin përmes relacionit (4.12), me një ndryshim që, në vend të masës së elektroneve duhet të merret masa e

nukleoneve. Pikërisht për këtë, momenti i spinit magnetik i nukleoneve është shumë më i vogël se te elektronet. Prandaj, shpesherë edhe nuk merret parasysh. Një gjë e tillë është e mundur pa bërë gabime të mëdha ngase orientimi i momenteve magnetike të spinit të nukleoneve në përbërjen e atomit mund të jetë i kundërt. Prandaj, kontributi i tij në momentin resultant magnetik bëhet edhe më i parëndësishëm.

Duke apstrakuar kontributin e momentit magnetik të bërthamës në veçoritë makroskopike magnetike të atomeve, mund të konstatojmë se këto veçori varen vetëm prej momenteve orbitale dhe atij të spinit magnetik të çdo elektroni, ku rëndësi shumë të madhe ka renditja e tyre në atom. E tërë kjo që u tha më sipër bën që të përfundojmë se edhe në përshkrimin e veçorive magnetike të atomeve,

kryesisht, duhet të mbështetemi dhe të shërbëhem me ligjet e mekanikës kuantike. Megjithatë, momenti dipol i atomeve përbëhet prej shumës vektoriale të momenteve magnetike rezultuese orbitale dhe të spinit, përgjatë së cilës kontributi i momentit magnetik të spinit është dyfish më i madh se ai orbital, siç shihet edhe nga barazitë (4.11) dhe (4.12).

Vlera e momentit magnetik të përgjithshëm të atomit përcakton veçoritë magnetike, kur ky moment është baras me zero, flitet për materiale diamagnetike.

Mirëpo vetëm ekzistimi i momenteve magnetike të atomeve nuk mjafton për veçoritë makroskopike magnetike të ndonjë materiali. Momenti magnetik atomik është kusht i nevojshëm, por jo edhe i mjaftueshëm që një material i caktuar të tregojë veçori magnetike, përkatësisht veçori feromagnetike. Ekzistencë e kushteve tjera plotësuese mundëson që në grupin e materialeve, ku atomet ose molekulat e tyre tregojnë magnetizëm të përhershëm, të ndahanen materialet me veçori paramagnetike, feromagnetike, ferimagnetike dhe antiferomagnetike. Rol dominant luan interaksioni i atomeve me magnetizëm të përhershëm. Nëse interaksioni është baras me zero, ose është shumë i vogël, materiali do të jetë paramagnetik, sepse dipolet magnetike atomike do të janë të shpërndara në mënyrë kaotike. Kur interaksioni bie deri te përputhja e dipoleve magnetike të atomit në një drejtim, përfitojmë feromagnetikët, ndërsa në drejtim të kundërt përfitohen ferimagnetikët dhe antiferomagnetikët. Në Fig. 4.3 grafikisht është treguar shpërndarja e momenteve magnetike të atomeve për materiale që kanë veçori të ndryshme makroskopike magnetike.

Roli i forçave të interaksionit për arritjen e veçorive të caktuara magnetike i bën ato të varëshme nga ndikimet e jashtme.

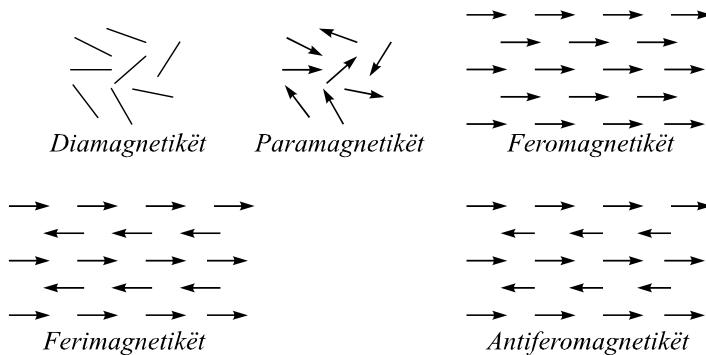


Fig.4.3. Shpërndarja e dipoleve magnetike në atomet e materiale të ndryshme

4.3. MATERIALET DIAMAGNETIKE

Pa marrë parasysh se elementet kimike kanë ose nuk kanë dipole magnetike të përhershme, diamagnetizmi është veçori e tyre. Këto veçori paraqiten si rezultat i ndryshimeve në lëvizjen orbitale të elektroneve, kur atomi i nënshtrohet ndikimit të fushës magnetike. Meqenëse efekti i dukurisë së tillë është i dobët, këto mund të vërehen vetëm te materialet te të cilat nuk paraqiten dukuritë tjera magnetike që mund ta hudhin diamagnetizmin në plan të dytë.

Sic u tha më lart, momentet magnetike të atomeve dhe molekulave janë zero te materialet diamagnetike. Mirëpo, në praninë e fushës së jashtme magnetike, te atomet dhe molekulat e këtyre materialeve induktohet momenti magnetik dhe materiali magnetizohet. Për të caktuar momentin magnetik të induktuar, do ta përdorim atomin e hidrogenit, ku elektroni bën rrugë rrethore.

Mbi elektronin në atomin e hidrogenit vepron forca e Kulonit F_e dhe centrifigale F_o :

$$F_e = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad \text{dhe} \quad F_o' = \frac{m_e v_0^2}{r} = m_e \omega_0^2 r \quad (4.16)$$

sic është treguar në Fig. 4.4.

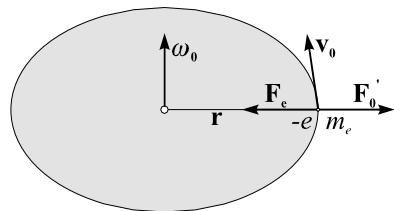


Fig.4.4. Atomi i hidrogenit, pa pjesëmarrje të fushës së jashtme

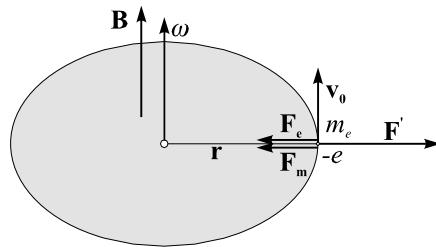
Pasi që lëvizja e elektronit është stabile, këto forca janë në ekuilibër:

$$F_e = F_o' = m_e \omega_0^2 r \quad (4.17)$$

Kur ta vendosim atomin në fushën magnetike, vepron edhe forca e Lorencit:

$$\mathbf{F}_m = -e(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (4.18)$$

Ku: \mathbf{v} - është shpejtësia e elektronit, kurse \mathbf{B} induksioni magnetik. Kur vepron fusha magnetike homogjene, sic është treguar në Fig. 4.5.,

**Fig.4.5.** Atomi i hidrojenit në fushën e përhershme magnetike

me supozim se rruga e elektronit nuk ndryshon, do të kemi:

$$F' = F_e + F_m \quad (4.19)$$

ku: $F' = m_e \omega^2 r$ dhe $F_m = -e|\omega| r B$.

Me shprehjen e mëparshme mund të fitojmë:

$$m_e \omega^2 r = m_e \omega_0^2 r + e \omega r B \quad (4.20)$$

$$m_e (\omega^2 - \omega_0^2) = e \omega B \quad (4.21)$$

Në intensitetet e dobëta të fushës ndryshimi i ω është i vogël, prandaj:

$$\omega^2 - \omega_0^2 = (\omega - \omega_0)(\omega + \omega_0) \approx 2\omega \Delta\omega \quad (4.22)$$

kurse ndrrimi i ω është:

$$\Delta\omega = \frac{eB}{2m_e} \quad (4.23)$$

Pasi që momenti magnetik orbital është:

$$\mathbf{m} = \frac{e}{2m_e} \mathbf{p}, \text{ atëherë } \Delta\mathbf{m} = -\frac{e}{2m_e} \Delta\mathbf{p} \quad (4.24)$$

edhe ndërrimi elementar i momentit orbital të sasisë së lëvizjes është:

$$\Delta\mathbf{p} = m_e r^2 \vec{\Delta\omega} \quad (4.25)$$

$$\text{dhe } \Delta\mathbf{m} = -\frac{e}{2} r^2 \vec{\Delta\omega} \quad (4.26)$$

Nga shprehjet e mëparshme del:

$$\Delta\mathbf{m} = -\frac{e^2 r^2}{2m_e} \mathbf{B} \quad (4.27)$$

që paraqet momentin e induktuar magnetik. Në bazë të Fig. 4.6, shihet se momenti magnetik i induktuar ka kahje të kundërt me \mathbf{B} , prandaj fusha rezultante është më e dobët se fusha e jashtem.

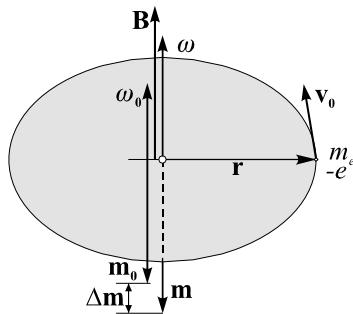


Fig. 4.6. Shpjegimi skematik i momentit magnetik të indukuar

Ndonëse dukuria e efektit diamagnetik u tregua në atomin e hidrojenit, duhet theksuar se ky efekt është i pranishëm në të gjitha materialet. Mirëpo, efekti i diamagnetizmit është më i theksuar te materialet, te të cilat momenti magnetik i atomeve dhe molekulave është zero.

Sipas asaj që u tha më sipër, materialet diamagnetike magnetizohen me kahje të kundërt të fushës së jashtme magnetike dhe se susceptibiliteti magnetik është negativ. Prandaj, këto materiale nuk kanë rëndësi praktike.

4.4. MATERIALET PARAMAGNETIKE

Te materialet paramagnetike momenti magnetik i atomeve dhe i molekulave nuk është zero edhe në mungesë të fushës së jashtme magnetike. Mirëpo, për arsyet lëvizjeve termike të atomeve dhe molekulave, momentet magnetike janë të orientuara në mënyrë kaotike.

Në këtë rast, shuma vektoriale e m në vëllim të caktuar ΔV është zero dhe materiali nuk është i magnetizuar ($\mathbf{M}=0$).

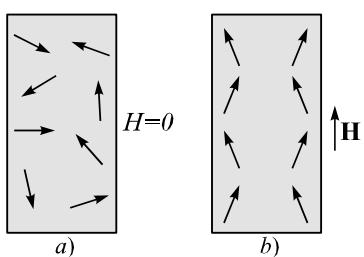


Fig. 4.7. Shpjegimi skematik i orientimit të momentit magnetik te materialet paramagnetike:

Me vendosjen e materialit paramagnetik në fushën e jashtme magnetike, momentet magnetike orientohen në drejtim të fushës (Fig. 4.7) dhe materiali do të magnetizohet, ashtu që ndërmjet \mathbf{M} dhe \mathbf{H} në çdo pikë të materialit ekziston varësia lineare $\mathbf{M}=\chi_m \cdot \mathbf{H}$.

Pasi që me shtimin e temperaturës, lëvizja termike është më e madhe, edhe orientimi kaotik i momenteve magnetike është më i zmadhuar.

Ndikimi makroskopik i temperaturës shihet në zvogëlimin e susceptibilitetit. Varësia e susceptibilitetit të materialeve paramagnetike prej temperaturës është caktuar me ligjin Kiri:

$$\chi_m = \frac{C}{T} \quad (4.28)$$

Ku: C - është konstanta Kiri, që varet nga lloji i materialit, kurse T - është temperatura absolute.

Edhepse permeabiliteti relativ i materialeve paramagnetike është pak më i madh se 1, në praktikë merret $\mu_r=1$.

4.5. MATERIALET FEROMAGNETIKE

Te materialet feromagnetike vërehet magnetizimi spontan edhe kur materiali nuk është nën ndikimin e fushës së jashtme magnetike. Kjo gjendje e këtyre materialeve shpjegohet me praninë e një orientimi të caktuar të momenteve magnetike.

Feromagnetizmi si veçori është i lidhur ngusht me:

- strukturën elektrike të atomeve të lira,
- tipin e kristaleve në temperaturë të dhomës,
- rreze të atomeve për materialin në gjendje të ngurtë dhe
- temperaturë maksimale deri ku ekziston feromagnetizmi.

Përsa i përket strukturës elektronike të atomeve të lira rëndësi ka radhitja e momentevemagnetike të pakompenzuara të elektroneve nëpër shtresa. Momentet magnetike të pakompenzuara të elektroneve në shtresat e jashtme (elektronet valente), u jepin kontribut të vogël veçorive magnetike, sepse shumë leht mund të kompensohen me momente magnetike të elektroneve të atomeve fqinjë gjatë realizimit të lidhjeve kimike ndërmjet tyre. Rol vendimtar luajnë momentet magnetike të pakompenzuara të elektroneve, që janë të shpërndara nëpër shtresa të brendshme, p.sh. rasti me elektronet e grupit të hekurit, të cilët nuk e kanë të plotësuar shtresën 3d.

Duke bërë matjen e momenteve magnetike dhe momentit të sasisë së lëvizjes së atomeve, dhe me përcaktimin e raporteve ndërmjet barazisë (4.10) dhe (4.11), është vërtetuar se veçoritë feromagnetike janë të kushtëzuara me ekzistencën e momenteve magnetike të elektroneve me spina të pakompenzuara, e jo atyre orbital.

Mirëpo te tipet e kristaleve nuk mund të veçohen llojet e kristaleve që kanë veçori feromagnetike. Me rëndësi të veçantë është lidhja në mes të atomeve dhe distancat, në të cilat janë të shpërndara në kristale. Në të vërtetë, duhet të bëhet

mbulimi i shtresave të pakompensuara kur ato rregullohen dhe formojnë gjendjen e ngurtë, duke bërë të mundur inetraksionin e elektroneve në shtresa të pakompensuara të atomeve. Karakteri i këtij interaksi, përkatësisht rezultati i tij, varet shumë nga shenja e energjisë së ndryshimit përmes së cilës përcaktohet gjendja energetike e sistemit të atomeve. Nëse vlera e energjisë së ndryshimit është pozitive, spinet e elektroneve në interaksion do të orientohen në kahje të njëjtë, dhe kjo do të mundësojë krijimin e materialeve feromagnetike. Po qe se energjia e ndryshimit është negative, spinet e elektroneve në interaksion do të orientohen në drejtime të kundërtë, dhe se në këtë mënyrë do të përfitohet gjendja antiferomagnetike. Rol vendimtar në paraqitjen e energjisë pozitive ose negative luajnë distancat në mes bërthamave të atomeve dhe rezet e shtresave të pakompensuara. Në Fig. 4.8 është treguar kjo varësi për grupin e hekurit, në bazë të së cilës energjia e ndryshimit mund të jetë pozitive, vetëm në rastin kur raporti i tyre është më i madhe se 3. Me këtë mund të shpjegohet rrëthana se mangani dhe kromi, të cilët kanë numër më të madh elektronesh të pakompensuara në luspat e brendshme, nuk janë materiale feromagnetike.

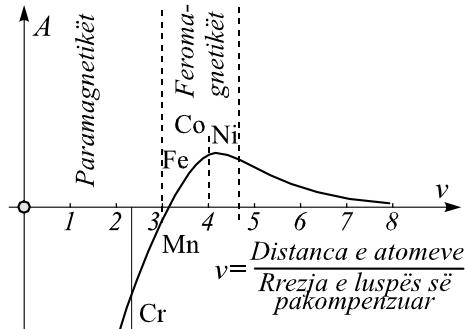


Fig. 4.8. Varësia e energjisë së matur A nga rapporti i distancave të atomeve dhe rrezes së luspave të pakompensuara të brendshme të atomeve

Në gjendjen magnetike ndikon edhe temperatura. Për të gjitha materialet magnetike ekziston një temperaturë, në të cilën humbin veçoritë magnetike dhe bëhen paramagnetike. Në temperaturatë larta lëvizja termike e elektroneve bëhet më intensive. Kjo lëvizje pengon orientimin paralel të spinit në kristale. Pikërisht për këtë, magnetizimi maksimal mund të shpresohet në temperaturatë më të ulëta, përkatësisht në zeron absolute. Duhet thënë se rregullimi i plotë i spineve bënë të mungojë edhe në zeron absolute për shkak të anizotropisë së mundshme, përkatësisht defekteve në rrjetin kristalor dhe faktorëve tjerë demagnetizues. Megjithatë, në zeron absolute paraqitet ngopja e magnetizimit, e cila me rritjen e temperaturës vetëm mund të zgjedhohet. Ky zgjedhim, në fillim është i ngadalshëm. Mirëpo, me rritjen e temperaturës fillon të rritet, në mënyrë që në një temperaturë

të caktuar, temperaturën kritike, që është karakteristike për të gjitha materialet feromagnetike, magnetizimi bie në zero. Në Fig. 4.9 është treguar kjo varësi, ku rrathët e vegjël paraqesin vlerat eksperimentale, ndërsa lakinja është përfituar në një rrugë teorike.

Temperatura, në të cilën materialet i humbin veçoritë e tyre feromagnetike, quhet temperatura Kiri dhe është karakteristike për materiale magnetike. Kjo shënohet me T_{cf} . Për temperaturën më të ulët se temperatura Kiri, materialet tregojnë veçori tipik feromagnetike. Këto veçori janë më të theksuara, sa më e vogël që është temperatura. Ka rëndësi të posaçme varësia jolineare dhe e shumëvlefshme e induksionit magnetik dhe e magnetizimit prej intensitetit të fushës magnetike. Për temperaturën më të larta se ajo kritike, kjo varësi bëhet lineare dhe është e njëvlefshme, kështu që susceptibiliteti magnetik mund të përcaktohet me barazinë:

$$\chi_m = \frac{C}{T - T_{cp}} \quad (4.29)$$

ku: me C është shënuar konstanta Kiri, me T_{cp} - temperatura Kiri te materialet paramagnetike, e cila është pak më e lartë se temperatura Kiri e feromagnetikëve. Në tabelën 4.2 janë dhënë vlerat e këtyre dy temperaturave për materiale të ndryshme.

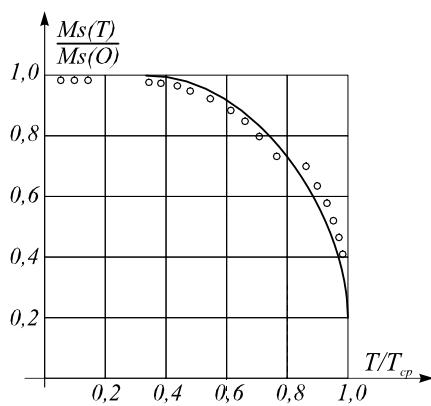


Fig. 4.9. Varësia e magnetizimit të ngopjes së Ni në funksion të temperaturës

Për t'u sqaruar kuptimi i temperaturës për feromagnetikët dhe paramagnetikët, në Fig. 4.10 është treguar varësia kualitative e $1/\chi_m$ dhe T . Siç shihet, T_{cp} caktohet në prerjen e vazhdimit të pjesës lineare të lakores $1/\chi_m$ me boshtin T .

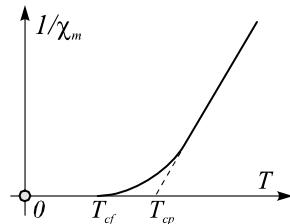


Fig. 4.10. Varësia kualitative e $1/\chi_m$ prej T te materialet feromagnetike

Duke u mbështetur në gjendjen e pëershruar, mund të konstatojmë se materialet feromagnetike në diapazonin e temperaturës $T \div T_c$ duhet të tregojnë magnetizim spontan të caktuar, pa marrë parasysh se a kanë qenë ose nuk kanë qenë këto materiale nën ndikimin e fushës së jashtme magnetike. Mirëpo, eksperimentet tregojnë se për kushte reale dhe raporte makroskopike në materiale,

nuk vlen ajo që u tha më sipër. Shpjegimin për këtë e ka dhënë Vajsi në hipotezën e tij për strukturën domene të materialeve feromagnetike. Sipas tij domenet paraqesin pjesë të vogla mikroskopike të materialeve, që janë të magnetizuara spontanisht deri në ngopje, në përputhjen me supozimet e përparshme për veçoritë e feromagnetikëve dhe varësitë e tyre nga temperatURA.

Tab.4.2. Vlerat e temperaturës kritike feromagnetike dhe paramagnetike për materiale të ndryshme

Materiali	Temperatura T_{cf} (K),	Temperatura T_{cp} (K)
Fe	1043	1093
Co	1393	1428
Ni	631	650

Kur feromagnetiku nuk është i magnetizuar, domenet me momente magnetike të tyre janë të shpërndara në mënyrë kaotike. Si rezultat i kësaj gjendje, momenti rezultues magnetik është baras me zero. Dimensionet e domeneve janë rreth $10 - 100\mu\text{m}$, ndonëse të monokristalet e pastërt mund të kenë vlera deri në disa centimetra. Në kufijt e domeneve drejtimi i momenteve magnetike duhet të ndryshojë kahjen. Ky ndryshim i drejimit nuk mund të bëhet në një kërcim diskontinual, por gradualisht dhe është e nevojshme një zonë kaluese kufitare e dimensioneve të caktuara. Këto zona kufitare i rrethojnë të gjitha domenet dhe quhen muret e Bllohu (Fig. 4.11.).

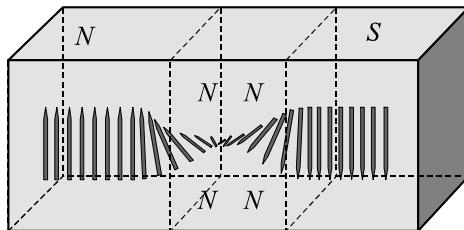


Fig. 4.11. Ndrimi i kahjeve të momenteve magnetike të dy domene të afërtë (fqnje)

Trashësia e mureve të Bllohu është rreth $0,1\mu\text{m}$. Në këto mure, prej atomit në atom, bëhet projektimi i momenteve magnetike. Drejtimet e domeneve magnetike në suazat e një domeni, varen nga struktura kristalore e materialit feromagnetik. Prandaj, formimi i domeneve është pasojë e ndikimit të të gjithë faktorëve që sigurojnë formimin e strukturës kristalore. Gjatë kësaj, bënë të paraqiten drejtime të orientimit të momenteve magnetike, por disa nga orientimet mund të realizohen më leht e disa më rëndë. Në Fig. 4.12 janë treguar këto drejtime në rrjetin kristalik kubik të hekurit dhe niklit. Disa domene nuk i nënshtrohen ndikimit të fushës së

jashtme magnetike, drejtimet e momenteve magnetike të tyre janë në kahje të bosshit të magnetizimit të lehtë.

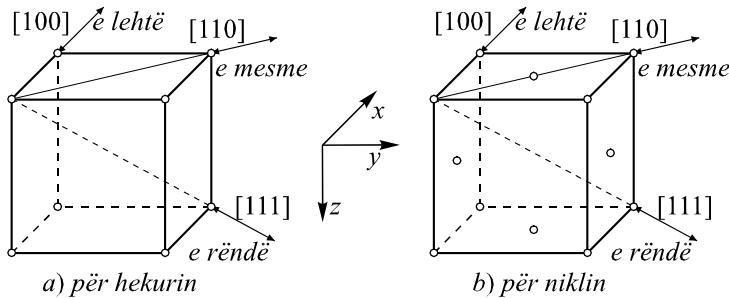


Fig.4.12. Drejtimet e boshteve të magnetizimit në rrjetën kristalike

Kur e vendosim materialin magnetik nën ndikimin e fushës së jashtme magnetike, e cila mund të rritet sipas dëshirës, së pari fillojnë të zgjerohen domenet. Momenti magnetik i domeneve formon këndin më të vogël me drejtimin e fushës. Zgjerimi i këtyre domeneve bëhet në llogari të domeneve tjera derisa e tërë mostra e materialit të mos përfshihet përmes një domeni të njëjtë. Procesi i këtillë manifestohet me zhdukjen e mureve të Bllohit (Fig. 4.13).

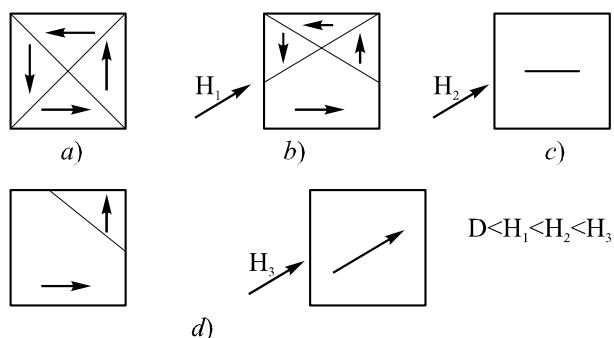


Fig.4.13. Prosesi i magnetizimit të materialeve feromagnetike:

- gjendja kur intensiteti i fushës magnetike është i barabartë me zero,
- gjendja kur ndikimi i fushës magnetike është i dobët (zhvendosja e mureve të Bllohit)
- gjendja nën ndikimin e fushës magnetike të rritur (muret e Bllohit janë të zhdukur)
- gjendja e ngopjes

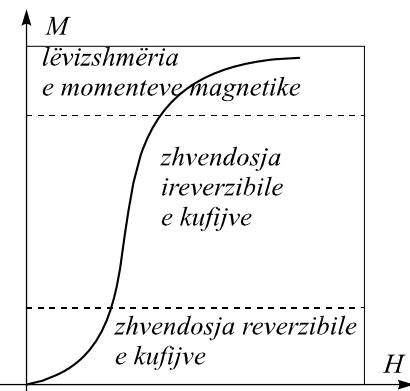


Fig. 4.14. Lakorja e magnetizimit të parë te materialet feromagnetike

orientimi i tyre në drejtim të fushës është gati i pakthyeshëm. Procesi i magnetizimit mund të paraqitet edhe grafikisht përmes diagramit, ku në apscise është intensiteti i fushës magnetike, ndërsa në ordinatë është dendësia e momenteve magnetike, ose magnetizimi (Fig. 4.14).

Dukuria e orientimit të momenteve magnetike, gjegjësisht e magnetizimit nën ndikimin e fushës së jashtme magnetike të dobët, është reverzibile. Kur mbaron ndikimi i kësaj fushe, zhdaket tërë magnetizimi. Mirëpo, me rritjen e fushës së jashtme zhvendosja e mureve të Bloh-ut nuk është reverzibile, kështu që mostra e materialit mbetet e magnetizuar edhe pas largimit të ndikimit të fushës së jashtme magnetike. Lëvizja e momenteve magnetike dhe

4.6. MATERIALET ANTIFEROMAGNETIKE

Dukuria e antiferomangetizmit siç është thënë, paraqitet në rastin kur gjatë formimit të strukturës kristalore energjia e ndryshimit ka shenjë negative. Momentet magnetike fqinjë kanë orientime të kundërtë, kështu që rrjeti kristalor i antiferomagnetikëve mund të paraqitet si syperponim i dy nënrrjetave, ku secila nga to përmban vetëm momente magnetike të orientuara në një drejtim. Këto tregojnë magnetizim spontan, i cili vërehet edhe te domenet e Vajsit në materialet feromagnetike, por të orientuara në drejtime të kundërtë. Për këtë arsy, materialet antiferomagnetike përmungesë të ndikimit të fushës së jashtme magnetike, nuk tregojnë magnetizim spontan. Shpërndarja e momenteve magnetike është treguar në Fig. 4.15.

Duke i vendosur materialet antiferomagnetike nën ndikimin e fushës së jashtme magnetike, ngjan rrötullimi i dobët reverzibil i të gjitha momenteve magnetike. Si pasojë e kësaj i tërë kristali tregon magnetizim të dobët (Fig. 4.15b). Susceptibiliteti i këtij materiali është pozitiv, por nuk është fort më i madh se te materialet paramagnetike (rreth 10^{-2}).

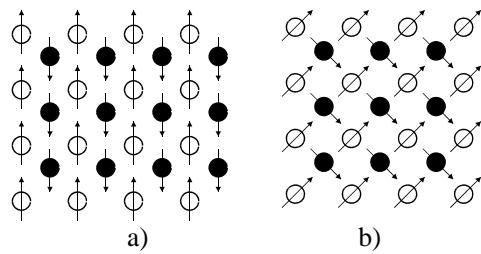


Fig. 4.15. Mënyra e shpërndarjes së momenteve magnetike te materialet antiferomagnetike:

- a) në mungesë të ndikimit të fushës së jashtme magnetike dhe
- b) nën ndikimin e fushës së jashtme magnetike.

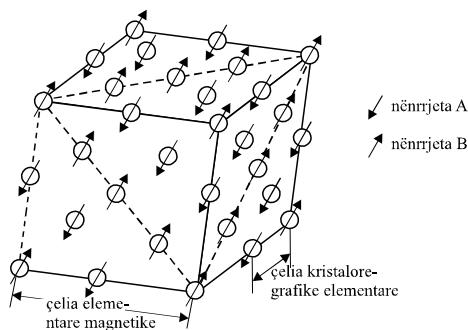


Fig.4.16. Shpërndarja e rregulluar e spineve në oksidin e manganit (MgO)

Shpërndarja e momenteve magnetike të antiferomagnetikët mund të shihet te oksidi i manganit (MgO), kristali i të cilit është treguar në Fig. 4.16 dhe në të cilën nuk shihen atomet e oksigenit, sepse oksigjeni është paramagnetik. Momentet magnetike të atomeve A (nénrrjeta A) janë të orientuar në një kahje, kurse të atomeve B (nénrrjeta B) në kahje të kundërt.

Edhe veçoritë e materialeve antiferomagnetike tregojnë varësi të caktuar prej temperaturës: në zeron absolute, antiparalelizmi është i plotë, prandaj susceptibiliteti është i barabartë me zero. Me shtimin e temperaturës, lëvizja termike mundëson që një numër i momenteve magnetike të lëshojë pozitën e tyre, numri i tyre rritet me rritjen e temperaturës. Pra edhe antiferomagnetikët nëse i nënshtrohen ndikimit të fushës së jashtme, tregojnë një magnetizëm të caktuar. Mirëpo, struktura antiparalele e kritaleve të rregulluara mund të ekzistojë vetëm deri në një temperaturë të caktuar që edhe quhet pika Kiri e antiferomagnetike ose pika e Nil-it. Duke e kaluar këte pikë, bëhet zhdukja e radhitjes antiparalele.

Kështu, materiali bëhet paramagnetik me varësi tipike të susceptibilitetit nga temperatura si te paramagnetikët. Varësia e susceptibilitetit magnetik prej temperaturës është dhënë në Fig. 4.17.

Te materialet antimagnetizmi është më i përhapur se feromagnetizmi. Këtë veçori e kanë si materialet e pastërtë (mangani, kromi) ashtu edhe bashkëdysimet (oksidet, sulfidet, etj.) edhe legurat që në vete përbajnjë manganin. Përkundër numrit të madh të materialeve që i kanë këto veçori, antimagnetikët nuk kanë ndonjë përdorim të theksuar në praktikë.

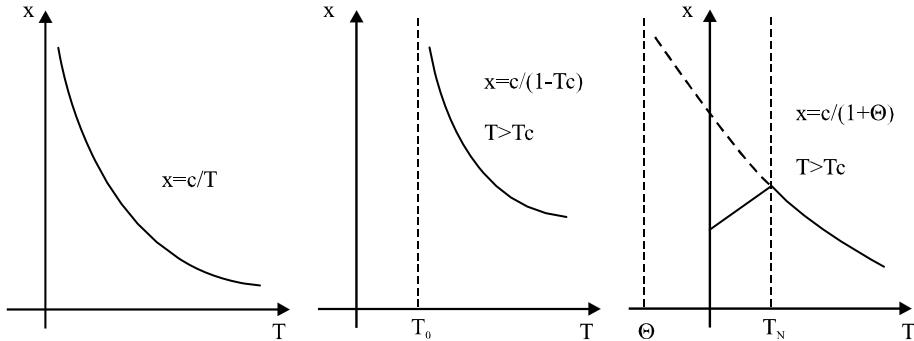


Fig.4.17. Varësia e susceptibilitetit magnetik prej temperaturës,
a) për materiale paramagnetike,
b) për materiale feromagnetike dhe
c) për materiale antiferomagnetike.

4.7. MATERIALET FERIMAGNETIKE

Ferimagnetikët, ose si quhen feritet, karakterizohen si antiferomagnetikët me shpërndarje antiparalele të momenteve magnetike. Mirëpo, përderisa te antiferomagnetikët momenti magnetik i nënrrjetave ishte i njëjtë dhe me orientim të kundërt, për shkak të cilët bëhet kompensimi i plotë i tyre, te ferimagnetikët ka

ndryshim në vet madhësitë e tyre. Prandaj, te këto materiale ekziston kompensimi i plotë, ndonëse momentet magnetike janë antiparalele. Nënrrjetat me momente magnetike të ndryshme paraqiten në elementet që kanë atome të

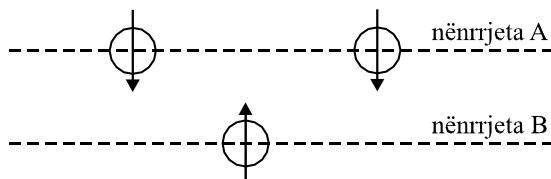


Fig. 4.18. Shpjegimi skematik i nënrrjetës së feriteve

ndryshme, ose numri i atomeve në nënrrjeta nuk është i njëjtë. Në mënyrë skematike, feritet tregohen si dy nënrrjeta (A dhe B), ku momentet janë antiparalele dhe me intensitete të ndryshme (Fig. 4.18). Si rrjedhim i kompensimit jo të plotë të momenteve magnetike, të nënrrjetave, është lidhja e domeneve në magnetizim spontan, ngjashëm si edhe te feromagnetikët.

Ferimagnetikët kanë shumë veti të ngjashme me feromagnetikët dhe në disa raste sillen gati njësoj. Megjithate, ekzistojnë disa ndryshime në mes këtyre materialeve. Varësia e magnetizimit te këto materiaile nga temperatura është më e theksuar se te antiferomagnetikët. Në Fig. 4.19) është treguar varësia tipike e vlerës

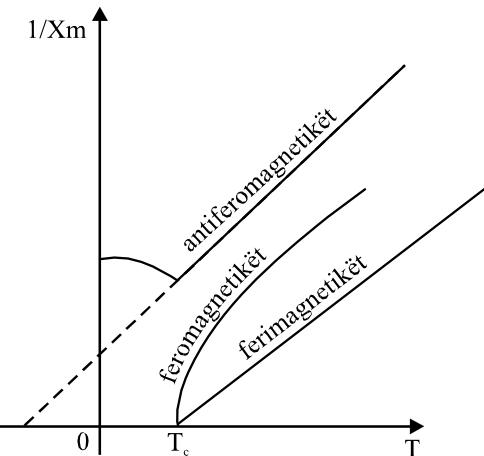


Fig.4.19. Ndryshimi i vlerës reciproke të susceptibilitetit magnetik me tempperaturën

reciproke e susceptibilitetit magnetik nga temperatura. Veçori e posaçme e ferimagnetikëve është vlera e madhe e rezistencës specifike elekrike ($10^2 - 10^9 \Omega$ m), gjë që përnga vlera i tejkalon edhe metalet për $10^5 - 10^{15}$ herë.

Vlera e madhe e rezistencës specifike elekrike ka bërë që ferimagnetikët të përdoren shumë në teknikën e frekuencave të larta, sepse humbjet, për shkak të rrymave shtjellore, janë në përpjestim të zhdrojtë me rezistencën specifike elekrike të materialeve.

4.8. CIKLI I HISTEREZËS

Procesin e magnetizimit mund ta përcjellim mirë nëse në sistemin e koordinatave paraqesin induksionin magnetik në funksion të fushës magnetike. Lakorja e magnetizimit është e ngajshme me lakoren e treguar në Fig. 4.14. Duke e rritur fushën magnetike deri në vlerën H_m , bëhet rritja e induksionit magnetik sipas një ligji të caktuar. Rritja e mëtejshme e fushës nuk e bën rritjen e induksionit, prandaj edhe nuk është e arsyeshme, dhe gjendjen e arritur e njohim si ngopje magnetike. Në Fig. 4.20 është paraqitur ciklusi i histerezës për gjendje të ndryshme magnetike.

Me zvoglimin e fushës magnetike, prej vlerës H_m , fillon të zvogëlohet edhe induksion magnetik. Por ky zvoglim është më i ngadalshëm në krahasim me lakoren e magnetizimit të parë, si rezultat i joreverzibilitetit të zhvendosjes së mureve të Bllohu-t në material. Madje, edhe kur intensiteti i fushës magnetike bie në zero, induksioni magnetik do të ketë një vlerë të mbetur. Kjo vlerë e induksionit quhet induksioni remanent ose i mbetjes, të cilin e shënojmë me B_r , dhe është vlerë

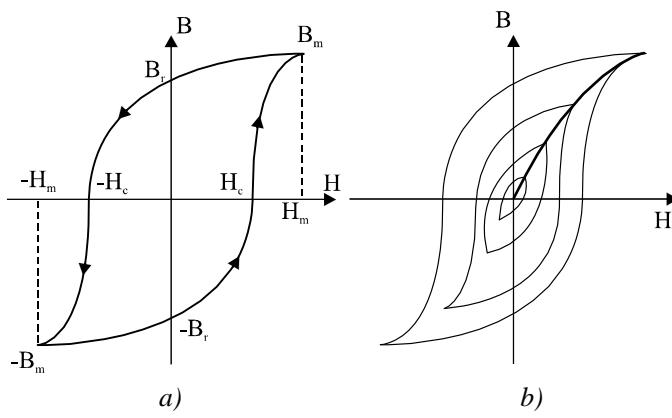


Fig. 4.20. Cikli i histerezës te materialet feromagnetike

- a) me rastin e arritjes së gjendjes së ngopjes dhe
- b) për vlera të ndryshme të intensitetit të fushës magnetike H_m .

karakteristike për çdo material. Me rritjen e fushës magnetike në drejtim të kundërt bëhet zvoglimi i mëtejshëm i induksionit për vlerën e fushës magnetike H_c , e cila quhet fusha koercitive (induksioni merr vlerën zero). Duke e rritur mëtej fushën magnetike deri në vlerën $-H_m$, induksioni magnetik do të arrijë vlerën e vet maksimale negative. Me ndryshimin e fushës magnetike prej vlerës $-H_m$ deri në vlerën H_m , induksioni magnetik do të ndryshojë sipas lakores $-B_m$, $-B_r$, H_c , B_m , duke u mbyllur ciklusi i parë i magnetizimit. Ciklusi i histerezës nuk mbyllitet

krejtësisht me cikluset e para të magnetizimit, por pas përsëritjeve më të shumta. Lakorja e myllur simetrike quhet ciklusi i histerezës (Fig. 4.20a).

Forma e ciklusit të histerezës, varet shumë nga vlera e fushës magnetike maksimale H_m , e cila arrihet me rastin e magnetizimit. Duke e ndryshuar vlerën e H_m , përfitohen cikluse të ndryshme të histerezës (Fig. 4.20b), ndërsa me bashkimin e majeve të këtyre lakoreve arrihet deri te lakorja themelore e magnetizimit të parë.

Nëse për ndonjë arsy, gjatë magnetizimit ngjan zvoglimi i fushës, induksioni magnetik do të ndryshojë sipas një ligji tjetër, edhe pse fusha magnetike kthehet në vlerën e vet të parë. Kështu, lakorja e ndryshimit të induksionit do të jetë nëpër lakoren 1 - 1' - 1'' (Fig. 4.21), dhe do të myllitet nëse fusha magnetike fillon të rritet. Këto lakore të myllura quhen cikluset e histerezës së vogël ose të brendshme.

Forma dhe madhësia e ciklit të histerezës varet nga lloji i materialit magnetik, që është njëherit edhe karakteristik themelore, e cila e përcakton shumicën e veçorive themelore të materialeve.

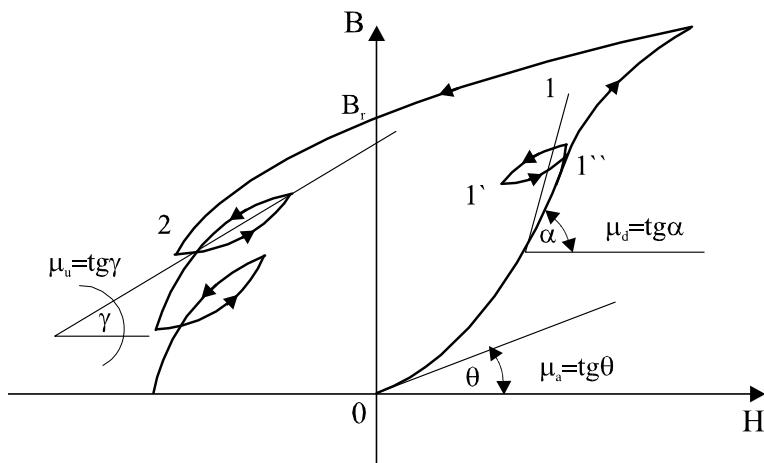


Fig.4.21. Forma e cikleve të brendshme të histerezës

Nga elektroteknika teorike dijmë se arrijmë një magnetizim të caktuar, duke shpenzuar energji me dendësi:

$$\frac{dW_m}{dV} = \oint H dB \quad (4.30)$$

Vlera e saj mund të llogaritet duke u bazuar në lakoren e magnetizimit. Te materialet te të cilat ekziston lidhja e njëvlefshme në mes të \mathbf{H} dhe \mathbf{B} , procesi i magnetizimit është i këthyeshëm dhe e tërë energjia e shpenzuar me rastin e magnetizimit i këthehet sistemit kur ta largojmë fushën e jashtme magnetike. Mirëpo, te materialet ku magnetizimi është i shprehur përmes ciklit të histerezës,

nuk ka proces reverzibil, por një pjesë e energjisë së shpenzuar humbet në procesin e magnetizimit.

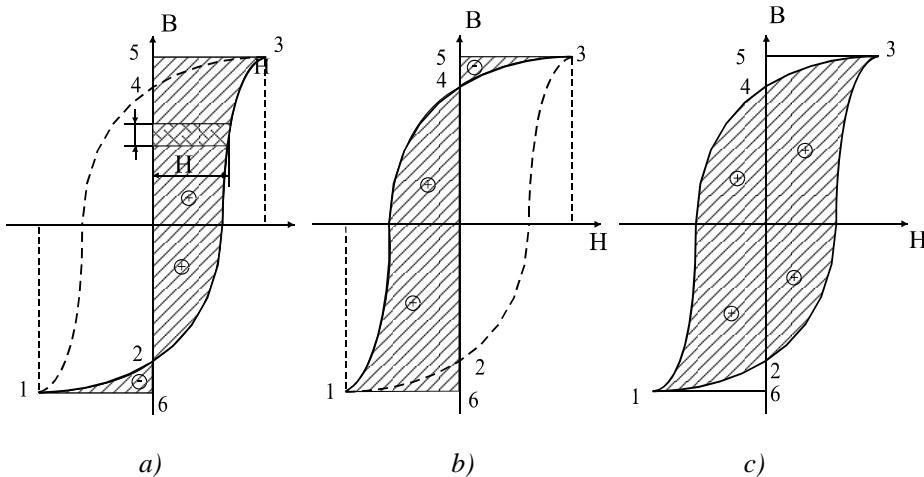


Fig.4.22. Paraqitura e bilansit energetik për cikël të plotë të histerezës

- a) për ndryshim të fushës prej $-H_m$ deri në H_m
- b) për ndryshim të fushës prej H_m në $-H_m$
- c) për ciklus të plotë të histerezës.

Leht mund të tregohet se te materialet ku është fjala për ciklusin e mbyllur, energjia e humbur gjatë procesit të magnetizimit është proporcionale me sipërfaqen e ciklit. Në Fig. 4.22. është paraqitur bilansi energjetik.

Dendësia e energjisë së shpenzuar për ciklusin e histerezës jipet me relacionin:

$$\frac{dW_m}{dV} = \oint H dB \quad (4.31)$$

Energjia e shpenzuar gjatë ciklit të histerezës është proporcionale me sipërfaqen e ciklit dhe paraqet humbje, që e quajmë humbje për shkak të ciklit të histerezës. Kjo humbje shndërrrohet në nxehësi, dhe kështu e rritë temperaturën e materialit magnetik, veçanërisht kur ndryshimet e fushës magnetike janë të shpeshta, si p.sh. te fushat e ndryshme magnetike.

4.9. MAGNETOSTRIKCIIONI

Orientimin e momenteve magnetike te materialet feromagnetike, nën veprimin e fushës së jashtme magnetike, e përcjellin edhe ndryshime të konsiderueshme të dimensioneve të trupit. Dukuria është e ngjashme me efektin e piezoelektricitetit të

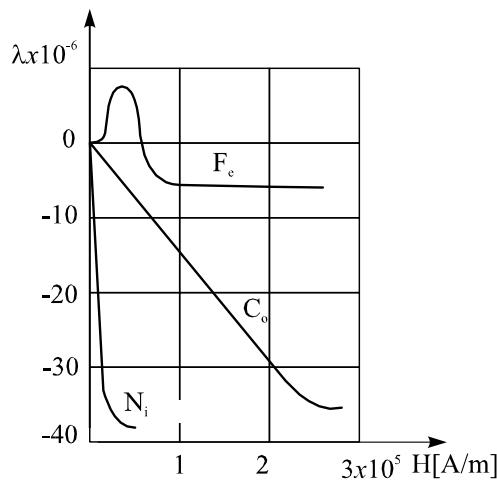


Fig.4.23. Varësia e koeficientit të bymimit nga intensiteti i fushës magnetike

materialet dielektrike. Te materialet feromagnetike ky fenomen quhet magnetostriкцион. Është i mundshëm edhe procesi i kundërt: që gjendja magnetike e materialeve të ndryshojë me rastin e deformimit të tij. Ky fenomen quhet efekti magnetoelastik.

Është me rëndësi të posaçme të përmendet që deformimi i materialeve feromagnetike me rastin e magnetizimit mund të mos ketë gjithmonë parashenjë të njëjtë, siç shihet edhe nga Fig. 4.23. Përveç kësaj, koeficienti linear i bymimit të materialit për shkak të magnetostriksionit, varet edhe prej kahjes së fushës magnetike në krahasim me boshtet e magnetizimit të kristaleve. Deformimi është më i madh për rastin e drejtit të magnetizimit të lehtë të kristaleve, ndërsa për drejtime tjera është më i vogël, e mund të ketë edhe parashenjë të kundërt. Sa për ilustrim, do të japim rastin për hekur, që është paraqitur në Fig. 4.24.

Për rastin e fushës magnetike të ndryshueshme, dimensionet e trupit do të ndryshojnë në harmoni dhe rriten përreth dy herë më shumë seç është frekuanca e fushës.

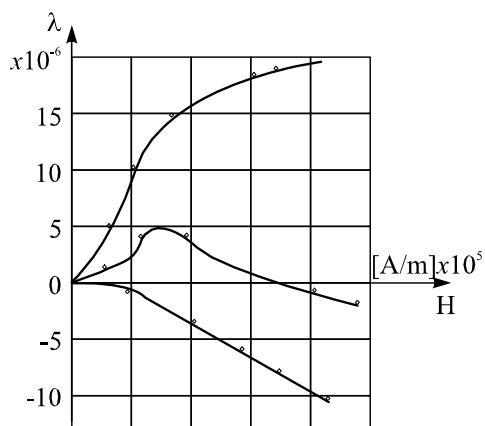


Fig.4.24. Varësia e koef. linear të bymimit nga intensiteti i fushës magn.për drejtime të ndryshme të magnetizimit të kristaleve të hekurit.

4.10. LLOJET E MATERIALEVE MAGNETIKE

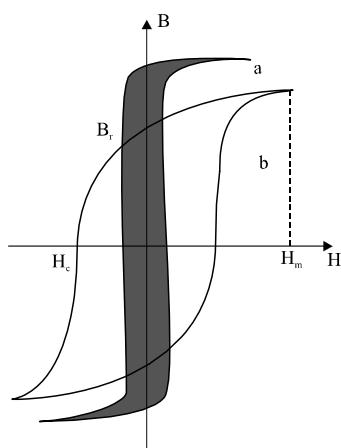


Fig. 4.25. Cikli i histerezës për materiale magnetike:
 a) materialet e buta magnetike
 b) materialet e forta magnetike

Në bazë të proceseve, të cilat zhvillohen në materiale që vendosen në fushën magnetike, mund të konstatojmë se efekte të dobishme praktike kemi te materialet feromagnetike. Duke i vendosur materialet paramagnetike, diamagne-tike dhe antiferomagnetike në fushë të jashtme magnetike, pothuajse nuk ndodhë kurrrfarë ndryshimi në kra-hasim me gjendjen, që është kara-kteristike për ambientin jomaterial. Pikërisht për këtë kur flitet për materiale magnetike, kemi para-sysh vetëm materialet feromagnetike dhe ferimagnetike.

Klasifikimi i materialeve magnetike bëhet në bazë të ciklit të histerezës. Materialet që e kanë të ngushtë ciklusin e histerezës (force të vogël koercitive), quhen materiale të buta

magnetike, ndërsa materialet që kanë ciklus të gjerë të histerezës (forcë të madhe koercitive), quhen materiale të forta magnetike. Kufiri i saktë në mes këtyre materialeve është shumë vështirë të gjendet. Konsiderohet se materialet e buta magnetike kanë fushë koercitive më të vogël se 600 A/m , ndërsa materialet e forta magnetike kanë H_c më të madhe se 600 A/m . Megjithatë, te materialet bashkëkohore magnetike vlera e fushës koercitive për materiale të buta është më e vogël se 1 A/m , përderi sa për të fortat arrin vlera deri 100000 A/m dhe më e madhe.

Përveç formës së ciklit të histerezës, përkatësisht vlerës së fushës koercitive, materialet e buta dhe të forta magnetike dallohen edhe në pikëpamje të energjisë së nevojshme përfitimin e një gjendje të caktuar të magnetizimit, përkatësisht në bazë të humbjeve të energjisë që paraqiten përfitimin e ciklusit të plotë të histerezës (Fig. 4.25). Te materialet e buta magnetike, energjia e nevojshme përfitimin e gjendje të magnetizimit është minimale ndërsa për materialet e forta magnetike shpenzohet energji shumë më e madhe. Rasti është i njëjtë edhe me energjinë e mbetjes së akumuluar në material, me rastin e largimit të fushës së jashtme magnetike.

Të dhënët e mëparshme për materiale magnetike mundësojnë dhe përcaktojnë përdorimin e materialeve të buta dhe të forta magnetike.

Materialet e buta magnetike përdoren në të gjitha rastet, kur është e duhur që me energji minimale të përfitohet induksion maksimal magnetik i nevojshëm përkryerjen e proceseve elektromagnetike.

Fusha magnetike lind si rezultat i vendosjes së rrymës elektrike nëpër një mbështjellës, që është rasti më i shpesht praktik. Ky caktohet me ligjin e qarkullimit të vektorit \mathbf{H} :

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = NI \quad (4.32)$$

ku: me N - është shënuar numri i dredhave të përfshira. Prej barazisë (4.32), me zëvendësimë të përshtatshme arrijmë deri te shprehja përfshira fluksin magnetik Φ :

$$\Phi = \frac{NI}{\oint \frac{1}{\mu} \frac{dl}{S}} \quad (4.33)$$

Kjo shprehje paraqet ligjin themelor të qarkut magnetik, ngashëm me ligjin e Omit për qarkun rrymor. Në këtë relacion S paraqet prerjen tërthore - seksionin e qarkut magnetik, ndërsa l - gjatësinë e tij. Në bazë të kësaj analogjie me qarkun elektrik, madhësia në emëruesh duhet të paraqet rezistencën e qarkut magnetik, e cila ka vlerë të vogël sa ma i madh të jetë permeabiliteti magnetik i materialit që është përdorë përfitimin e qarkut magnetik.

$$R_m = \oint \frac{1}{\mu} \frac{dl}{S} \quad (4.34)$$

Siç shihet nga (4.8), madhësia e përmeabilititetit magnetik është veçori e materialevë magnetike me lakore të pjerrtë të magnetizimit, përkatësisht te materialet e buta magnetike dhe për këtë edhe përdoren materialet për formimin e qarqeve të mbyllura magnetike.

Përdorimi i materialevë magnetike me cikël të ngusht të histerezës, veçanërisht është i arsyeshëm kur është fjala përfushë magnetike të ndryshueshme, pasi që humbjet në këtë rast mblidhen prej një cikli në tjetrin dhe mund të jenë të konsiderueshme.

Materialet e forta magnetike përdoren në raste kur materiali duhet të akumulojë sasi të mëdha të energjisë edhe në rastin e ndërprerjes së ndikimit të fushës së jashtme magnetike, si dhe nën ndikimin e konsiderueshëm të faktorëve të jashtëm. Si rezultat i kësaj, del se materialet e forta magnetike përdoren përmagnetët permanentë. Qarku magnetik i magneteve permanentë formohet prej materialit magnetik dhe prerjes ajrore, e cila gjendet në mes të skajeve të materialit përkatës magnetik. Në Fig. 4.26 është treguar një qark i tillë magnetik, ndërsa në Fig. 4.27 është treguar pjesa përkatëse e ciklusit të histerezës. Sikur të mos ishte prerja-hapësira ajrore, pjesa e induksionit të mbetur do të ishte baras me vlerën e induksionit remanent B_r . Por prerja hapësira-ajrore e zgjedhon vlerën e tij, duke e zhvendosur pikën P, që tregon gjendjen e magnetizimit, në anën e majtë të lakores së demagnetizimit. Pozita e kësaj pike përcakton vlerën e arritur të \mathbf{B} dhe \mathbf{H} dhe masat gjeometrike të qarkut magnetik. Duke e abstrakuar dispersionin, mund ta barazojmë vlerën e fluksit magnetik në magnet dhe në ajër, nga do të kemi:

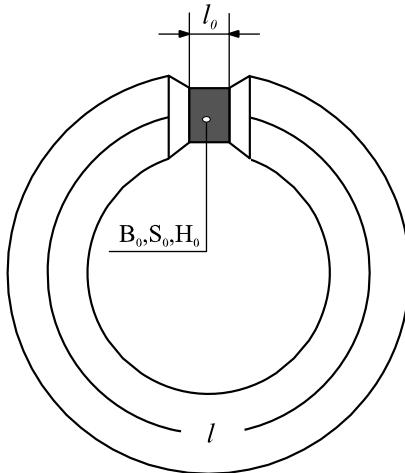


Fig.4.26. Qarku magnetik i magneteve permanent

$$BS = B_0 S_0 \quad (4.35)$$

ku me indeksin “ 0 ”, shënohen madhësitë në hapësirën ajrore. Meqenëse te magnetet permanentë qarkullimi i vektorit \mathbf{H} është i barabartë me zero:

$$\oint \mathbf{H} d\mathbf{l} = Hl + H_0 l_0 \quad (4.36)$$

me zëvendësimë të përshtatëshme gjemë vlerën e intensitetit të fushës magnetike në magnet:

$$H = -\frac{l_0 S_0}{l S} \frac{B}{\mu_0} \quad (4.37)$$

që është si pasojë e hapësirës ajrore me gjatësi l_0 . Nga kjo shihet se induksioni magnetik dhe intensiteti i fushës magnetike kanë kahje të kundërtë në magnet. Meqenëse madhësitë \mathbf{B} dhe \mathbf{H}

duhet ta kënaqin relacionin $\mathbf{B}=f(\mathbf{H})$ të paraqitur në ciklusin e histerezës, pika e punës P te magnetët permanentë do të përcaktohet me prerjen e drejtëzës së dhënë përmes relacionit (4.37) dhe lakoresh së histerezës (Fig. 4.25).

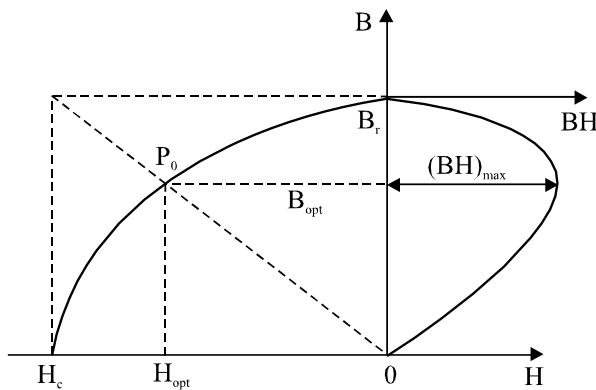


Fig.4.27. Përcaktimi i pikës së punës të magnetit permanent (të përhershëm)

Për të arritur vlerë më të madhe të induksionit magnetik të mbetjes remanent (vlera më e madhe e mundshme është B_r), duhet që gjatësia e magnetit të tentojë në pakufi $l \rightarrow \infty$, gjë që nuk mund të arrihet. Realisht mund të kërkohet:

- induksioni magnetik të madh në hapësirën ajrore me shpenzim minimal të materialit magnetik ose
- me sasi të caktuar të materialit magnetik.

Për analizën e këtyre kushteve do të analizojmë relacionet:

$$\frac{V}{V_0} = \frac{1}{\mu_0} \frac{B_0^2}{B \cdot |H|} \quad (4.38)$$

$$B_0 = \sqrt{\frac{V}{V_0} \mu_0 B \cdot |H|} \quad (4.39)$$

të cilat leht mund të vërtetohen ($V=l \cdot S$ është vëllimi i magnetit, kurse $V_0=l_0 \cdot S_0$ vëllimi i hapësirës ajrore). Nëse dimensionet e hapësirës ajrore dhe induksioni magnetik në ajër janë madhësi të dhëna, nga barazia (4.38), mund të konkludojmë se shpenzimi i materialit magnetik do të jetë më i vogël për pikën e punës, në të cilën produksi $B \cdot |H|$ ka vlerën maksimale. Në rastin e kundërt, kur janë të njohura dimensionet e magnetit, në të njëjtin rezultat shpie edhe barazia (4.39). Në të vërtetë, induksioni maksimal do të jetë në hapësirën ajrore, nëse prodhimi $B \cdot |H|$ do të ketë vlerë maksimale të mundshme. Nga kjo që u cekë më sipër mund të

konstatojmë se prodhimi $(B \cdot |H|)_{max}$ luan rol të rëndësishëm dhe është karakteristik e veçantë për materialet e forta magnetike. Ky prodhim, shpeshherë, quhet prodhimi energjetik i materialeve të forta magnetike. Vlera e këtij prodhimi rritet krahas rritjes së induksionit remanent B_r dhe forcës koercitive, siç është treguar në Fig. 4.25.

Materialet magnetike mund të klasifikohen në shumë mënyra. Mirëpo, na do të përdorim klasifikimin e lidhur me strukturën e materialit. Gjatë kësaj, veçmas do të shqyrtohen materialet e forta dhe të buta magnetike.

Nga ajo që u tha më parë, për materiale magnetike mund të konstatohet se veçoritë e tyre varen nga përbërja kimike dhe pastërtia e lëndës së parë të materialeve përkatëse. Megjithatë, kjo varësi nuk do të ishte e plotë sikur të mos përmendet edhe përpunimi teknologjik i materialeve. Me përpunim termik dhe mekanik, shumëcka mund të ndryshohet në strukturën e materialit. Varësisht nga lëndët e para dhe teknologjia e përpunimit, materialet magnetike mund të klasifikohen në:

- materiale monolite metalike,
- materiale magnetike prej pluhurit të metaleve dhe
- materialet okside

Ky klasifikim vlen për materiale të buta dhe të forta magnetike.

Grupin e materialeve monolite metalike e përbëjnë disa metale dhe legura. Metali bazik është hekuri, i cili mund të formojmë lidhje metalike me karbonin, siliciumin, bakrin, kromin, aluminin, molibdenin, manganin etj., në sasi më të vogla, ndërsa nikeli dhe kobalti mund të përfaqsohen në legurë në sasi më të mëdha.

Grupin e dytë të materialeve e përbëjnë, në përgjithësi metalet në formë pluhuri, të cilat me mjete të përshtatshme iu jipet forma e duhur, duke formuar elemente të ngurta magnetike. Këto lloje të materialeve magnetike quhen magnetodielektrikët.

Grupin e tretë të materialeve e përbëjnë, në të shumtën e rasteve, oksidet e ndryshme që quhen me një emër të përbashkët ferite. Për të gjitha këto materiale do të bëhet fjalë në kaptinën e ardhshme.

4.11. VEÇORITË THEMELORE TË MATERIALEVE MAGNETIKE

Përkruarja e veçorive të materialeve përcuese dhe e shumicës së materialeve dielektrike është bërë duke u bazuar në vlerat numerike të përfituar eksperimentalisht me metoda të ndryshme matëse. Mirëpo, për materialet

magnetike përshkrimi i veçorive është më i komplikuar, sepse marrëdhëniet e madhësive janë të shumëvlefshme dhe jolineare, si p.sh., marrëdhënia e induksionit magnetik dhe intensitetit të fushës magnetike. Për këtë arsyе gjatë përshkrimit të veçorive magnetike përdorim lakore të ndryshme, të cilat shpjegojmë ndryshimin e veçorive magnetike prej një madhësie themelore. Të dhëna më të shumta për material të caktuar magnetik mund të përfitohen prej ciklusit të histerezës. Këto të dhëna duhet të plotësohen edhe me vlera të madhësive tjera që mundësojnë dhënien e një përkufizimi më të saktë për material magnetik.

Të dhënat themelore nga cikli i histerezës

Nga cikli i histerezës mund të përcaktohen shumë madhësi të rëndësishme të materialeve magnetike. Gjatë kësaj ciklusi i histerezës duhet të fitohet me intensitet të fushës së tillë që ato të bëjnë ngopjen magnetike. Madhësitë që përcaktohen nga cikli janë:

- induksioni i ngopjes B ,
- intensiteti i fushës magnetike i ngopjes H_{ng} ,
- induksioni remanent B_r dhe
- fusha koercitive H_c .

Këto madhësi në ciklin e histerezës janë paraqitur në Fig. 4.20.

Induksioni i ngopjes paraqet vlerën maksimale të induksionit magnetik që mund të mbërrihet në një material. Është e leverdishme që induksioni magnetik maksimal të jetë sa më i madh, sepse prej tij në shumicën e rasteve varen proceset elektromagnetike të aparateve elektrike. Vlera maksimale e mundshme e induksionit magnetik është përafërsisht 2,5T.

Vlera e fushës magnetike të ngopjes shtrihet në një diapazon të gjërë dhe varet nga lloji i materialit magnetik. Te materialet e buta magnetike është e levërdishme që kjo madhësi të ketë vlerë sa më të vogël, sepse më leht përfitohet vlera e dëshiruar e induksionit magnetik, ndërsa humbjet janë të vogla. Kjo vlerë e vogël e fushës mundëson përfitimini e ciklit të histerezës të formës katërkëndëshe ngase kjo formë ka rëndësi për përdorimin e materialeve magnetike.

Induksioni remanent është madhësi e rëndësishme, si për materiale të buta dhe të forta magnetike. Mirëpo, për vlerën e forcës koercitive rasti nuk është i njëjtë. Te materialet e buta magnetike tentohet që forca koercitive të jetë sa më e vogël, sepse në këtë mënyrë zvoglohen humbjet përgjatë ciklit të histerezës dhe, në përgjithësi, më leht përfitohet vlera e dëshiruar e induksionit magnetik. Te materialet e forta magnetike duke rritur forcën koercitive, sigurohet prodhimi më i madh energjetik. Rritja e forcës koercitive e zvoglon ndjeshmërinë e magneteve permanente ndaj

ndikimit të faktorëve të jashtëm. Është vërtetuar se me rritjen e forcës koercitive, cikli i histerezës zgjerohet dhe rriten humbjet e përgjithshme magnetike.

Permeabiliteti magnetik

Permeabiliteti magnetik përcaktohet me shprehjen (4.8), përmes induksionit magnetik dhe intensitetit të fushës. Për shkak të jolinearitetit magnetik vlera e μ_r ndron me ndryshimin e intensitetit të fushës magnetike. Shumëvlefshmëria e funksionit të përmendur mundëson që edhe permeabilitetit magnetik të ketë vlera të ndryshme. Raporti:

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (4.40)$$

përmes të cilët definohet permeabiliteti magnetik, është i përcaktuar prej lakores së magnetizimit dhe jep permeabilitetin normal magnetik të materialeve feromagnetike. Kjo madhësi është funksion i intensitetit të fushës magnetike dhe mund të paraqitet grafikisht, (Fig. 4.28). Vlera maksimale e permeabilitetit normal magnetik përfitohet në pikën ku tangenta e têrhequr prej fillimit të sistemit koordinativ e prek lakoren themelore të magnetizimit. Duke rritur fushën magnetike mbi vlerën ku permeabiliteti magnetik arrin vlerën maksimale normale, e njëjtë fillon të bie, dhe për vlera shumë të larta të intensitetit të fushës magnetike fillon të i afrohet vlerës μ_0 .

Përveç vlerës së permeabilitetit normal magnetik, përdoret edhe i ashtuquajturi permeabiliteti magnetik diferencial, i definuar si herës diferencial i induksionit magnetik dhe fushës në një pikë të ciklit të histerezës ose të lakores së magnetizimit. Permeabiliteti magnetik diferencial maksimal për lakoren e parë të magnetizimit ka vlerë maksimale në pikën e lakinit të saj (pika A në Fig. 4.28), që është vlera maksimale e permeabilitetit normal magnetik.

$$\mu_0 = \frac{dB}{dH} \quad (4.41)$$

Permeabiliteti fillestar magnetik μ_0 quhet vlera diferencale e permeabilitetit magnetik për lakoren e parë të magnetizimit në fillim të sistemit koordinativ.

Me rastin e ndryshimit të intensitetit të fushës magnetike për t'u formuar ciklin e brendshëm të histerezës del kuptimi i permeabilitetit magnetik, reverzibil që është definuar me hersin:

$$\mu_r = \frac{\Delta B}{\Delta H} \quad (4.42)$$

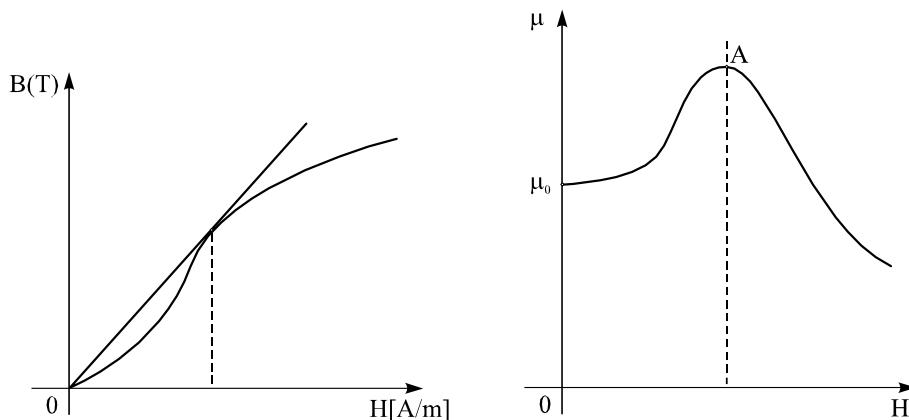


Fig. 4.28. Permeabiliteti normal magnetik

ku: me ΔH shënohet ndryshimi i intensitetit të fushës magnetike që ka shkaktuar ciklin e brendshëm të histerezës, ndërsa ΔB është vlera përkatëse e induksionit magnetik (Fig. 4.21). Për vlera të vogla të ΔH mund të pranohet se ndryshimi i induksionit magnetik përcaktohet me drejtzën që kalon nëpër kulmet e ciklit të brendshëm të histerezës. Koefficienti i drejimit të kësaj drejtëze paraqet vlerën e permeabilititetit magnetik reverzibil. Vlera e permeabilititetit reverzibil magnetik, me ndryshim nga vlerat tjera, ndryshon në kufij relativisht të vegjël dhe përafërsisht merret e barabartë me tangenten e tërhequr në pikën B_r ($H=0$). Vlera reverzibile e permeabilititetit magnetik është madhësi karakteristike për materiale të forta magnetike.

Kur jipen të dhënat për ndonjë vlerë të permeabilititetit magnetik, rëndom ato janë vlera relative të kësaj madhësie, si hersi i vlerës absolute të saj me permeabilitet magnetik në vakuum. Permeabilitetit magnetik në qarqet magnetike ka rol të njëjtë sikurse edhe përqueshmëria elektrike specifike në qarqet elektrike, me ndryshim që permeabilitetit magnetik ndryshon në kufij të gjerë, me ndryshimin e intensitetit të fushës magnetike.

Humjet e energjisë te materialet magnetike

Është thënë edhe më parë se procesi joreverzibil i magnetizimit të materialeve ka si rrjedhim paraqitjen e humbjeve për shkak të ciklit të histerezës.

Vlera e këtyre humbjeve varet prej gjerësisë së ciklit të histerezës. Në rastin e fushës së jashtme magnetike të ndryshueshme, humjet për shkak të ciklit të

histerezës në një material mund të shprehen me relacionin empirik, të cilin e ka propozuar Shtojneci:

$$P_H = \eta f m B_m^2 \quad (4.43)$$

ku:

η - koeficienti i Shtojnecit që varet prej ciklusit të histerezës,

f - frekuenca e fushës magnetike të ndryshueshme,

B_m - induksioni maksimal magnetik (vlera maksimale) dhe

m - shënojmë masën e qarkut përkatës magnetik.

Humbjet magnetike për njësi të masës së materialeve janë:

$$\Gamma_H = \eta f B_m^2 \quad (4.44)$$

Humbjet për shkak të histerezës nuk janë humbjet të vetme magnetike kur në to vepron fusha e ndryshueshme magnetike, por paraqiten edhe humbje tjera. Nën veprimin e fushës së ndryshueshme magnetike indukohet forcë e caktuar elektrmotore, që është shkaktare e paraqitjes së rrymave shtjelllore bredhëse (rrymat e Fukos) në materiale, pasi që shumica e materialeve magnetike janë edhe përques të mirë të rrymës elektrike. Këto humbje i quajmë kështu për shkak të rrymave shtjelllore bredhëse. Në praktikë, ndërprerja e rrymave bëhet me formimin e qarqeve magnetike llamarinash të vendosura normal ndaj vendosjes së rrymës, ku në mes të llamarinave është një shtresë e hollë e materialit izolues.

Vlera e humbjeve për shkak të rrymave shtjelllore bredhëse llogaritet në bazë të relacionit empirik:

$$P_{sht} = \sigma f^2 m B_m^2 \quad (4.45)$$

Me ndryshim prej barazisë së mëparshme të humbjeve, këtu paraqitet koeficienti σ i cili e karakterizon materialin magnetik në pikëpamje elektrike. Vlera e këtij koeficienti llogaritet me ndihmën e relacionit:

$$\sigma = k \frac{a^2}{\rho} \quad (4.46)$$

ku:

a - trashësina e llamarinës,

ρ - rezistencën specifike elektrike,

k - konstantë që është karakteristike për çdo material magnetik.

Rritja e frekuencës së fushës të ndryshueshme magnetike, ka si rrjetësim i rritjen e humbjeve për shkak të rrymave shtjelllore përsë duhet pasur kujdes të posaçëm me rastin e përdorimit të materialit magnetik në teknikën e frekuencave të larta. Rritja e humbjeve të rrymave shtjelllore bredhëse është më e shpejtë se rritja e humbjeve të histerezës, sepse varen me katorrin e frekuencës.

Varësia e humbjeve të rrymave shtjelllore bredhëse prej rezistencës specifike elektrike bënë që edhe ajo të paraqet një madhësi karakteristike. Pikërisht për këtë,

te materialet magnetike që përdoren në teknikën e frekuencave të larta, kërkohet të kenë vlerë sa më të madhe të rezistencës specifike elektrike, në mënyrë që këto humbje të zvoglohen në minimum.

Përveç humbjeve të përmendura, në materiale magnetike ka mundësi të paraqiten edhe humbje tjera. Por, në krahasim me këto që u përmenden, ato janë të pakonsiderueshme. Humbjet e përgjithshme magnetike shprehen si shumë e atyre të ciklit të histerezës dhe rrymave shtjellore bredhëse:

$$P = P_H + P_{sht} = \eta f m B_m^2 + \sigma f^2 m B_m^2 \quad (4.47)$$

ndërsa humbjet njësi magnetike shprehen me relacionin:

$$\Gamma = \frac{P_H + P_{sht}}{m} = (\eta f + \sigma f^2) B_m^2 \quad (4.48)$$

Kur jepen të dhënat për humbje njësi, duhet thënë se për çfarë frekuence janë dhe çfarë vlere të induksionit magnetik i përkasin ato.

Temperatura Kiri e materialeve feromagnetike

Materialet magnetike tregojnë veçori magnetike vetëm nën vlerën e temperaturës kritike ose të ashtuquajturës, temperaturë Kiri. Për vlera më të larta se temperatura kritike, materialet feromagnetike tregojnë veçori të materialeve paramagnetike. Mirëpo, kalimi prej një gjendje në tjetrën nuk është me kërcime të theksuara, dobësimi i magnetizimit fillon prej zeros absolute. Megjithatë, për materiale të mira magnetike, humbja e veçorive magnetike në funksion të temperaturës është me e ngadalëshme. Te llogaritjet e sakta duhet gjithsesi të merret në konsiderim humbja e veçorive magnetike me temperaturën. Për këtë shkak, duhet që, përveç temperaturës kritike të materialeve, të jipen të dhëna edhe për ndryshimin e madhësive tjera me temperaturën, si p.sh., varësia $\mu=f(T)$ etj.

4.12. MATERIALET E BUTA MAGNETIKE

Përdorimi i materialeve të buta magnetike në përgjithësi është i orientuar në aparate të rrymës alternative të frekuencave të ndryshme. Kërkosë e përgjithshme është që të magnetizohen me sa më pak energji, që forca koercitive të jetë e vogël. Materialet e buta feromagnetike më së shumti përdoren:

- a) në aparatet elektroenergetike (para së gjithash te transformatorët, maqinat rrotulluese, bobinat harkhuase),
- b) në aparate matëse,
- c) në transformatorët për telekomunikacion,
- d) në bobina me bërtama të hekurit në teknikën e frekuencave të larta,

-
- e) në ekranizime magnetike,
 - f) në maqina llogaritëse për memorie magnetike, etj.

Te aparatet elektroenergetike, prej materialeve magnetike kërkohet që në mënyrë sa më racionale të arrihet fluksi sa më i madhe magnetik. Kjo do të thotë, se induksioni magnetik duhet të jetë i madh, fusha koercitive sa më e vogël dhe humbjet sa më të vogla. Meqenëse te aparatet shpenzohet një sasi bukur e madhe e materialit magnetik, çmimi i materialit luan rol të rëndësishëm.

Prej materialeve magnetike, që përdoren për aparate matëse, kërkohet që lakuja e magnetizimit të jetë sa më lineare dhe me humbje minimale magnetike për t'iu shmangur deformimeve dhe të ketë sa më pak gabimet që mund të paraqiten me rastin e kalimit të sinjalit nëpër qark me bërthamë magnetike.

Zakonisht, për aparate matëse nuk kërkohet vlerë e madhe e flusit magnetik, dhe pika e punës ndodhet diku në fillim të lakoresh së magnetizimit. Në këtë rast, edhe permeabiliteti magnetik fillestar mund të luajë rol të madh. Pikërisht vlera e madhe e përmeabilititetit magnetik bën që lakuja e magnetizimit në fillim të jetë sa më tepër lineare.

Materialet magnetike, të cilat përdoren për transformatorë në telekomunikim dhe për bobina, janë nën ndikim të fushave të dobëta magnetike. Për këtë shkak, gjatë magnetizimit të tyre, shfrytëzohet vetëm pjesa fillestare e lakoresh. Është e nevojshme, si në rastin e mëparshëm, që kjo pjesë e lakoresh së magnetizimit të jetë lineare, përkatësisht që permeabiliteti fillestar magnetik të jetë sa më i madh. Me rëndësi është që edhe humbjet magnetike, për shkak të ciklit të histerezës, të janë të vogla. Kërkosat prej materialeve magnetike që përdoren për rele janë tjera, sepse edhe kushtet e punës dallohen për to. Për sigurimin e forcës të ndryshueshme tërheqëse, është e nevojshme që në hapësirën ajrore të jetë induksioni i mjaftueshëm magnetik. Mirëpo, te qarqet magnetike me hapësirë ajrore, kjo më shumë varet prej konstruksionit të pjesëve se nga materiali magnetik që përdoret. Megjithatë, insistohet që në shumicën e rasteve materiali magnetik të ketë vlerë të madhe të permeabilititetit magnetik dhe cikël të ngusht të histerezës.

Bobinat e ndryshme dhe mbështjellat luajnë rol bukur të madh në teknikën e frekuencave të larta. Që të arrihet vlera e dëshiruar e induktivitetit me dimensione sa më të vogla të bobinës, ajo ndërtohet me bërthamë magnetike. Për shkak të humbjeve të mëdha në bërthamat prej materialit monolit, ajo nuk përdoret në teknikën e frekuencave të larta. Zbatim të madh në teknikën e frekuencave të larta kanë materialet magnetike që kanë humbje të vogla prej rrymave shtjellore bredhëse, përkatësisht materialet që kanë rezistencë të madhe specifike elektrike. Përdorimi i tyre është i arsyeshëm edhe pse permeabiliteti magnetik dhe veçoritë tjera magnetike janë më të dobëta se te materialet monolite magnetike. Veçori të tillë shfaqin magnetodielektrikët dhe materialet e buta ferimagnetike.

Te memorjet magnetike, të cilat përdoren në maqinat llogaritëse përdoren materialet magnetike me veçori dhe karakteristika të veçanta. Po i përmendim më të rëndësishmet:

- vlera e madhe e induksionit të ngopjes B_{ng} e cila përfitohet me intensitet të vogël të fushës magnetike,
- vlera e vogël e fushës koercitive,
- induksioni remanent duhet të jetë sa më afër vlerës së induksionit magnetik të ngopjes (sa më afër formës katërkëndëshe të ciklit të histerezës),
- koha e magnetizimit të jetë sa më e shkurtër, ashtu që memorja të reagojë sa më shpejt në çdo ndryshim dhe
- vlerë sa më të madhe të rezistencës specifike elektrike.

Në Fig. 4.29 skematikisht është treguar tendenca e zhvillimit të materialeve magnetike. Këtu është fjala për përmirësimin e veçorive të rëndësishme për përdorimin konkret.

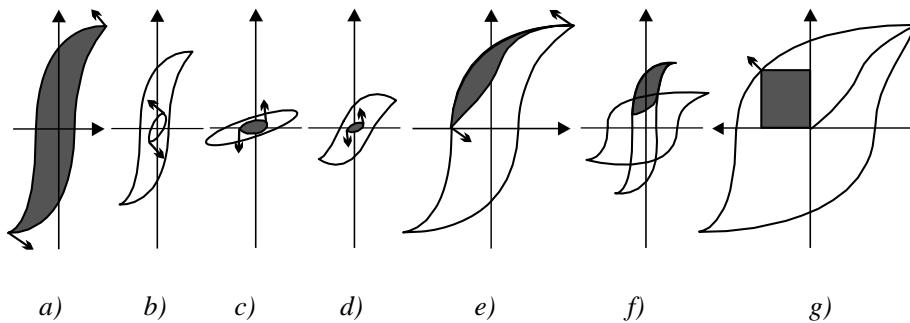


Fig. 4.29. Paraqitura skematike e veçorive themelore të materialeve magnetike dhe tendenca e zhvillimit të tyre:

- llamarina për transformatorë dhe maqina elektrike,
- bërrhama për telekomunikim,
- materiali i sinteruar,
- feritet,
- materialet për reale,
- bobinat dhe amplifikatorët
- magnete permanet.

4.13. MATERIALET E FORTA MAGNETIKE

Te materialet e forta magnetike prodhimi energetik luan rolin kryesor. Natyrisht, kanë rëndësi edhe induksioni magnetik dhe fusha koercitive, pasi që vlera e njëjtë e prodhimit energetik $B \cdot H$ mund të arrihet me kombinime të ndryshme të këtyre madhësive, të cilat i caktojnë edhe dimensionet e magnetit permanent. Kjo do të thotë se me rastin e përcaktimit të dimensioneve optimale të magnetit permanent kur dimensionet e hapësirës ajrore janë të caktuara më parë, duhet të merren në konsiderim të tri madhësitë. Për dimensionet optimale të magnetit permanent duhet që pika e punës në lakoren e demagnetizimit të përputhet me pikën ku prodhimi energetik ka vlerë maksimale.

Pasi që në rastin e magnetit permanent qarkullimi i vektorit \mathbf{H} është baras me zero:

$$\oint \mathbf{H} d\mathbf{l} = Hl + H_0 l_0 = 0 \quad (4.49)$$

do të kemi:

$$H = -H_0 \frac{l_0}{l} \quad (4.50)$$

Dhe duke pasur parasysh se:

$$B_0 = \mu_0 H_0 = \frac{S}{S_0} B \quad (4.51)$$

do të kemi:

$$H = -\frac{l_0 S}{l S_0} \frac{B}{\mu_0} \quad (4.52)$$

Shprehja (4.52) paraqet drejtëzën që kalon nëpër fillimin e sistemit koordinativ B - H me koeficientin e drejtimit:

$$\operatorname{tg} \alpha = -\mu_0 \frac{l S_0}{l_0 S} \quad (4.53)$$

Për të qenë vlera maksimale e prodhimit energetik ($B |H|$), koeficienti i drejtimit duhet të jetë:

$$\operatorname{tg} \alpha = -\frac{B_r}{H_c} \quad (4.54)$$

Me barazinë e tyre, del:

$$\mu_0 \frac{l S_0}{10 S} = \frac{B_r}{H_c} \quad (4.55)$$

Nga ana tjeter, në bazë të barazimit:

$$\mu_0 \frac{l S_0}{l_0 S} = \frac{B_0^2}{(B|H|)_{\max}} \quad (4.56)$$

Pastaj duke e kombinuar me shprehjen e mëparëshme, fitojmë:

$$\frac{l}{l_0} = \frac{B_0}{\mu_0} \sqrt{\frac{B_r}{H_c(B|H)_{\max}}} \quad (4.57)$$

dhe

$$\frac{S}{S_0} = B_0 \sqrt{\frac{H_c}{B_r(B|H)_{\max}}} \quad (4.58)$$

Duke u bazuar në relacionet e mëparshme, shihet se kur janë të njohur: dimensionet e hapësirës ajrore, vlerat e induksionit remanent dhe forcat koercitive, mund t'i caktojmë dimensionet e magnetit permanent. Nga ana tjeter, mund të konstatojmë se materiali magnetik që ka velrë të caktuar të prodhimit energjetik, me vlerë të vogël të induksionit remanent, do të kërkojë magnet me gjatësi të vogël, por me prerje tërthore të madhe dhe se, rritja e gjatësisë e zvoglon prerjen tërthore. Ndikimi i forcës koercitive është i kundërt. Me rritjen e forcës koercitive të magnetit, ai bëhet më i shkurtër por trashet.

Duke e zvogluar forcën koercitive, magneti zgjatet dhe tëhollohet. Në varësi nga qëllimi i përdorimit të magnetit, bëhet edhe zgjedhja e kombinimeve të dimensioneve.

Përcaktimi i dimensioneve optimale të magnetit permanent nuk është kërkesë e vetme e që shqyrtohet, me rastin e zgjedhjes së materialit. Poashtu kërkohet që magnetët permanentë të mos ndryshojnë në veprimin e fushave të jashtme magnetike. Kjo mund të arrihet te magnetët që kanë forcë koercitive të madhe dhe lakore të demagnetizimit, e cila i përgjigjet ciklit katërkëndësh të histerezës.

Për materiale të forta magnetike mund të jetë e rëndësishme temperatura Kiri. Por në anën tjeter, më me rëndësi është shkalla e varësisë së magnetizimit të tyre me frekuencën. Dobësimi i veçorive magnetike me rritjen e temperaturës duhet të jetë sa më i vogël, në mënyrë që të mos ndodhë ndryshimi i regjimit të punës te aparatet, në të cilat përdoren magnetët permanentë.

4.14. MATERIALET E BUTA MONOLITE MAGNETIKE

Ky është një grup i madh materialesh dhe legurash me veçori të mira feromagnetike. Përdorimi kryesor i tyre është në mbarimin e qarqeve magnetike që kanë përdorim të gjerë.

Hekuri i pastër dhe çeliku

Hekuri teknikisht i pastër quhet legura e hekurit, e cila ka në vete më së shumti 0,1% karbon dhe përbërje minimale të shtesave tjera, siç është Si, Ma, fosfori,

sulfuri etj. Në bazë të veçorive magnetike dhe mundësisë së formimit të legurave të ndryshme me veçori të mira magnetike, hekuri paraqet materialin më të rëndësishëm magnetik. Hekuri në lidhje metalike me metale tjera formon legura, të cilat përvèç veçorive të mira magnetike, veçohen edhe me veçori të mira mekanike. Përveç këtyre, hekuri ka çmim relativist të ulët, për ç'arsye edhe ka përdorim të gjërë. Pasi që me shtimin e sasirave të vogla të komponenteve të ndryshme, përmirësohen në mënyrë të konsiderueshme veçoritë, në kohën e fundit rregullisht janë në përdorim legurat e hekurit.

Matjet e ndryshme tregojnë se në vlerën e forcës koercitive, në përbërjen e Fe ndikon sasia e karbonit, oksigjeni, fosfori dhe sulfuri. Megjithatë prezenca e karbonit në hekur është më e rëndësishme për vlerën e forcës koercitive magnetike se sasia e tij. Grafiti ka ndikim më të vogël se karboni, i cili paraqitet në formë të karbitit. Me shtimin e siliciumit, shpejtohet procesi i zhdukjes së karbitit dhe formohet grafiti, i cili ndikon në zvoglimin e forcës koercitive. Përveç kësaj, karboni ndikon në zvoglimin e domeneve kristalike që formohen.

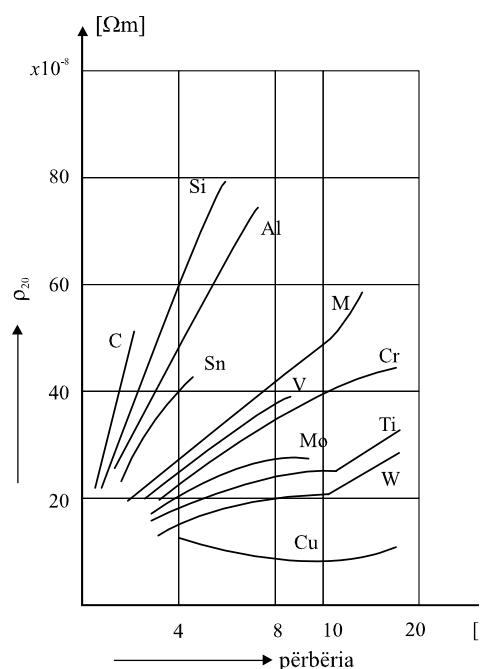


Fig. 4.30. Ndikimi i përbërsve të ndryshëm në vlerën e rezistencës specifike elektrike

Prezenca e siliciumit negativisht ndikon në veçoritë magnetike të hekurit, sidomos kur hekuri është tepër e pastër. Mirëpo, siliciumi e lidh oksigjenin, që është shumë më e dëmshme se siliciumi në hekur; mandej ndihmon formimin e domeneve më të mëdha dhe e rrit rezistencën specifike elektrike të hekurit. Si rezultat i përgjithshëm i veprimit të siliciumit, del se prania e tij në përbërjen e hekurit ka ndikim pozitiv për përmirësimin e veçorive magnetike. Në vlerën e rezistencës specifike elektrike të hekurit, ka ndikim edhe prania e elementeve tjera, të cilët paraqiten në hekur gjatë lidhjeve metalike ose ndodhen rastësishët në te. Ky ndikim i elementeve në veçoritë e hekurit është treguar në Fig. 4.30.

Vlera e madhe e papastërtive në hekur ndikon edhe në induksionin magnetik të ngopjes. Vetëm prania e

koballtit në hekur ia rrit induksionin magnetik të ngopjes të tij, ndërsa përbërsit tjerë, në një masë më të madhe ose më të vogël, ndikojnë në zvoglimin e induksionit, (Fig. 4.31).

Madhësia e kokërrzës së kristalit më së tepërmi ndikon në vlerën e forcës koercitive, nga se, me zvoglimin e saj rritet vlera e fushës koercitive. Shkaku që

qëndron në varësinë e strukturës së domeneve dhe lëvizshmërisë së mureve të Bllohu prej madhësisë së kokërrzave të kristaleve. Kjo varësi mund të paraqitet edhe me anën e shprehjes empirike:

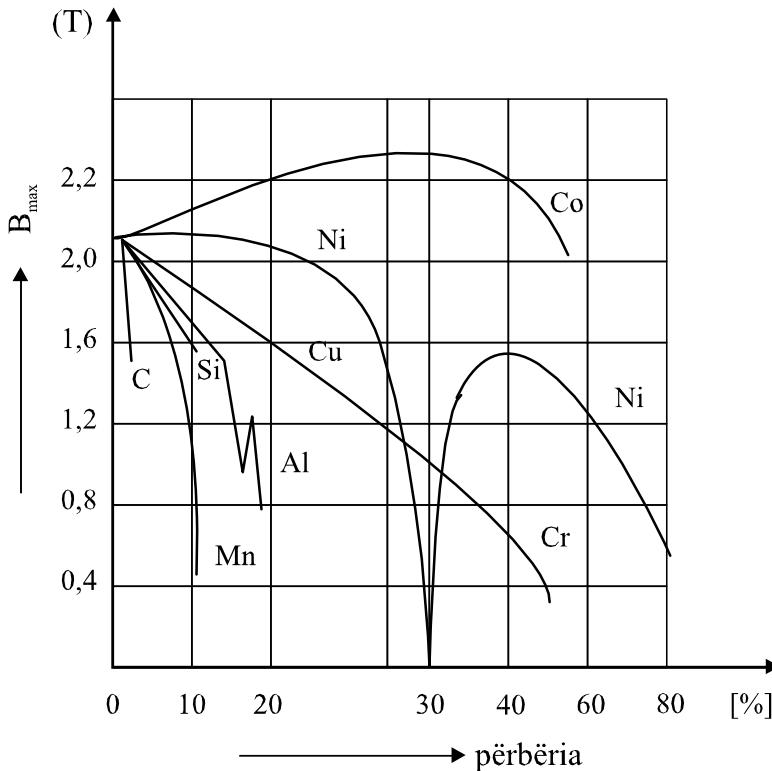


Fig. 4.31. Ndikimi i përbërsve tjerë në Fe në vlerën e B_{max} të tij.

$$H_c = \frac{A}{d} + B \quad (4.59)$$

ku: d - është diametri i kokërrzës së kristalit në (m), ndërsa A dhe B janë konstante, varen prej sasisë së përbërsve dhe kanë vlerë:

- për hekur shumë të pastër $A=0,0016A$, $B=0$

- për hekur elektrolitik $A=0,0032A, B=32 \text{ Am}^{-1}$
- për çelik me sasi të vogël të karbonit $A=0,0032A, B=44 \text{ Am}^{-1}$
- për çelik prej konvertorit të Tomosit
me sasi të vogla të karbonit $A=0,0032A, B=64 \text{ Am}^{-1}$

Me përpunim termik (zharritje) të hekurit për një kohë më të gjatë në atmosferën e hidrogenit në temperaturë rreth 1480°C , shumë mund të përmirësohen veçoritë magnetike. Në këtë rast, pas ftohjes së hekurit, ai nxehet në temperaturën 880°C dhe në atë temperaturë mbahet për 20 orë.

Me rastin e përpunimit në të ftohtë, veçoritë magnetike të hekurit prishen. Një gjendje e tillë është treguar në Fig. 4.32. Për t’iu shmang deformimeve që paraqiten duke e përpunuar hekurin (cilindrim, farkim, tërheqje), hekurin duhet ta nxejmë në temperaturën $750 - 900^{\circ}\text{C}$ dhe gradualisht të ftohet deri në 200°C . Roli i zharritjes është i madh, sidomos për ato materiale te të cilat nuk kërkohet vlerë e madhe e induksionit magnetik. Mirëpo, për rastin kur induksioni magnetik i afrohet vlerës së ngopjes, ky përpunim i hekurit nuk luen rol të konsiderueshëm, sepse kjo varet nga sasia e përbërsve tjerë në hekur.

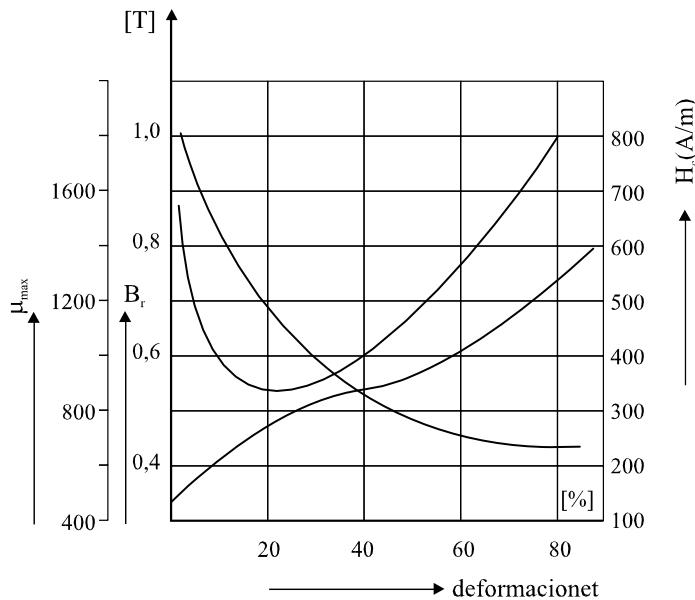


Fig. 4.32. Varësia e permeabilitetit magnetik, B dhe H_c prej sasisë së deformimeve dhe të përpunimit të hekurit.

Përdorimi i hekurit të pastër është i kufizuar për disa aparate të rrymës së njëkahshme, ku shfrytëzohet për përfitimin e qarqeve magnetike, elektromagnetëve dhe releve, membrana në telefoni etj. Veçoritë themelore magnetike të hekurit të pastër janë dhënë në tabelen 4.3.

Si material i butë magnetik mund të përdoret edhe çeliku ku ka pak karbon (rreth 0,3%). Ky material magnetizohet shumë leht, ndërsa me largimin e ndikimit të fushës së jashtme magnetike, e humb tërë magnetizimin. Përbërsit, në çelikun e butë si edhe te Fe i pastër, ndikojnë mbi veçoritë e tij magnetike. Përmirësimi i veçorive magnetike të çelikut të butë është i ngajshme me hekurin e pastër.

Përdorimi i çelikut të butë është i kufizuar në disa aparate të rrymës njëkahore. Pjesët prej këtij materiali mund të përfitohen me derdhje, farkim dhe përpunime tjera. Procedura e derdhjes është e lirë. Mirëpo, me farkimin e çelikut përfitohen materiale me veçori më të mira magnetike dhe mekanike, prandaj këto materiale përdoren në ato vende ku duhet qëndruar sforcimeve të mëdha mekanike.

Tab. 4.3. Veçoritë themelore magnetike të hekurit të pastër

Materialet	Dendësia [kgm ⁻³]	Temp. T[°C]	Re. sp. el. $\rho[\Omega\text{m}]$	Humbjet $\Gamma_{1,0}[\text{Wkg}^{-1}]$	$\Gamma_{1,5}[\text{Wkg}^{-1}]$	B_{ng} [T]	H_c [Am ⁻¹]	μ_r	μ_{max}
Hekuri arniko	7800	768	$12 \cdot 10^{-8}$	-	-	2,15	70-100	~300	~5000
Hekuri i shkriË	7250	~760	$5 \cdot 10^{-8}$	-	-	1,7	320-650	50-100	~500
Çeliku i shkriË	-	~760	$11 \cdot 10^{-8}$	-	-	2,15	40	~300	~4300
Llamarina normale	7800	~760	$20 \cdot 10^{-8}$	3,6	8,6	2,1	72	150	~5000
Llamarina e lidhjes së dobët metalike	7750	760	$35 \cdot 10^{-8}$	3,0	7,2	2,0	65	180	4000-6000
Llamarina e lidhjes metalike mesatare	7600 7650	760	$40 \cdot 50 \cdot 10^{-8}$	2-2,6	4,9-6,3	1,95	52-60	~300	5500-6000
Llamarina e lidhjes metalike e lartë	7550 7600	-	$50 \cdot 55 \cdot 10^{-8}$	1,0-1,7	2,5-4,0	1,9	20-45	400-600	7000-9500
Llamari. e cilindruar në të ftohtë	7600	740	$47 \cdot 10^{-8}$	0,5	1,3	2,0	12	~550	40000-60000
Llamarina me testurë kubike	7650	-	$80 \cdot 10^{-8}$	0,7	1,4	2,0	12	~550	~60000

Nikeli dhe kobalti

Nikeli dhe kobalti janë elemente kimike, që përvëç hekurit, kanë rëndësi praktike si materiale feromagnetike. Edhe përkundër faktit se veçoritë e tyre magnetike nuk janë të mira si të hekurit, nikelin dhe kobaltit janë komponente të pashmangshme për përfitimin e legurave të materialeve magnetike.

Nikeli karakterizohet me vlerë të vogël të permeabilititetit magnetik, induksion të vogël të ngopjes dhe vlerë të madhe të fushës koercitive në krahasim me materialet e buta magnetike. Duke e magnetizuar nikelin nën ndikimin e fushës magnetike prej 12000Am^{-1} , përfitohet materiali me induksion rrëth $0,62\text{T}$, permeabilitet magnetik prej 1100 dhe fushë koercitive $200(\text{Am}^{-1})$. Veçoritë

magnetike të nikelin varen mjaft prej përpunimit mekanik dhe termik të tij. Duke zharitur nikelin përfitohet materiali magnetik i ngajshëm me çelikun e butë, kurse me deformimet e brendshme, në masë të konsiderueshme i zgjedhur induksioni i ngopjes dhe i rritet vlera e fushës koercitive.

Nikeli nuk përdoret si material magnetik, kur është në gjendje të pastër.

Veçoritë magnetike të kobaltit janë më të theksuara se te nikeli, por janë më të dobëta se te hekuri. Kobalti, praktikisht nuk iu përket materialeve të buta magnetike, sepse te ai mund të arrihen këto vlera të madhësive magnetike:

- intensiteti i fushës magnetike	12600 (A/m)
- induksioni magnetik	0,93 (T)
- induksioni remanent	0,31 (T)
- fusha koercitive	1490 (A/m)
- permeabiliteti magnetik	175

Edhe te kobalti, përpunimi termik luan rol të konsiderueshëm për ndryshimin e veçorive të tij magnetike. Si material magnetik, në gjendje të pastër nuk ka ndonjë përdorim praktik.

Legurat e hekurit dhe të siliciumit

Legurat e hekurit me silicium paraqesin materiale themelore magnetike në elektroenergjetikë për ndërtimin e bërrthamave të transformatorëve dhe maqinave rrotulluese të rrymës alternative. Legurimi i hekurit me silicium duhet të përmbarë më pak se 0,1% karbon, ndërsa sasia e siliciumit në hekur shtrihet në kufijt prej 0,5 deri në 4,5%Si. Sasia më e madhe e siliciumit në hekur ia prish veçoritë mekanike të tij, sepse hekuri me këtë përbërje të siliciumit bëhet më i thyeshëm dhe është i papërshtatshëm për përpunim mekanik. Sasia e siliciumit në hekur rrreth 7%, hekurin e bënë të papërpunueshëm mekanikisht. Sasia e siliciumit në hekur ka efekt pozitiv dhe negativ. Por ndikimi pozitiv është më i theksuar. Efekti pozitiv arrihet ngase i zgjedhur në masë të madhe humbjet për shkak të rrymave shtjelllore bredhëse, kurse përbërja e siliciumit në kufijt prej 4,5% e rrit rezistencën specifike elektrike për gjashtë herë. Fortësia mekanike gjithashtu rritet, kurse induksioni magnetik i hekurit me përbërje 4,0% Si ka vlerën 2T. Kjo vlerë është për 0,2T më e vogël se te hekuri i pastër.

Meqenëse legurat e hekurit dhe të siliciumit përdoren më tepër për aparate të fushave të ndryshme magnetike, që kanë formën e llamarinave për të zgjedhur rrymat shtjelllore bredhëse. Trashësia e rëndomt e këtyre pllakave është 0,1-0,5, 0,35mm. Supozohet se kjo trashësi është optimale për karakteristikat e materialeve, teknologjinë dhe shpenzimet e materialeve të prodhimit.

Cilindrimi i llamarinave mund të bëhet në gjendje të ftohtë dhe të ngrohtë.

Llamarinat që përfitohen me anë të cilindrimit të ngrohtë, kanë veçori izotrope, sepse materiali nxehet në temperaturë deri në 750°C , duke bërë të mundur që pas përpunimit të rikristalizohet. Cilindrimi i llamarinave në gjendje të ngrohtë është më i lehtë, materiali është më i butë dhe pa sforcime të brendshme. Në përgjithësi prej legurave të hekurit dhe siliciumit, prodhohen katër lloje të llamarinave me cilindrim të ngrohtë:

- llamarinat normale me përbërje të siliciumit	0,5-0,7% Si
- llamarinat me lidhje metalike (legurim) të dobët	1,2-1,4% Si
- llamarinat me legurim të mesëm	1,7-2,6% Si
- llamarinat me legurim të lartë	3,4-4,5% Si

Vlera e humbjeve të llamarinave me cilindrim të ngrohtë, në radhë të parë varen nga sasia e siliciumit në legurë. Kështu, te llamarinat normale, humbjet do të jenë më të mëdha, ndërsa humbje më të vogla kanë llamarinat me legurim të lartë. Në të vërtetë, për induksion prej 1T dhe frekuencë prej 50Hz, humbjet sillen në kufij $3,6\text{-}0,8[\text{Wkg}^{-1}]$ për llamarina më trashësi 0,35mm. Nëse trashësia e llamarinave është më e madhe se 0,35mm, do të rriten humbjet.

Te llamarinat e cilindrimit të ftohtë bëhet orientimi i kristaleve në dreimt të cilindrimit, që ndikon në ngushtimin e ciklit të histerezës. Pikërisht, me ngushtimin e ciklit të histerezës, zgoglohen humbjet e saj. Për cilindrimin e ftohtë të llamarinave, sasia e siliciumit në legurë nuk bën të jetë më e madhe se 3,5%. Struktura e këtyre llamarinave nuk është izotrope, sepse kristalet janë të orientuara dhe se vlerat e madhësive magnetike varen nga drejtimi i fushës magnetike. Rezultat më i mirë arrihet, kur fusha vepron në drejtim të cilindrimit të llamarinave. Humbjet e përgjithshme në këtë rast janë gjithsej $0,5(\text{Wkg}^{-1})$ për induksion prej 1T, frekuencë 50Hz dhe trashësi të llamarinave 0,35mm.

Prej drejtimit të fushës magnetike, varen edhe veçoritë tjera magnetike të llamarinave të cilindruara në gjendje të ftohtë. Për këtë shkak, me rastin e formimit të qarqeve magnetike duhet shtuar kujdes të posaçëm drejtimit të prerjes së pllakave dhe radhitjes së tyre. Me përpunim të ftohtë, sipërfaqet e materialeve bëhen më të lëmuta, pllakat përputhen më mirë dhe kështu arrihet koeficient më i mirë i plotësimit të qarkut magnetik. Pos kësaj, llamarinave me sipërfaqe të lëmuta, më lehtë iu vëhet shtresa e hollë e materialit izolues. Mirëpo, prerja e llamarinave të ftohta e ndryshon shtrukturën e materialit, gjë që ndikon negativisht në veçoritë magnetike. Me nxemjen e materialit dhe përpunimin e tij në temperaturë $800\text{-}900^{\circ}\text{C}$ dhe atmosferë neutrale, përsëri mund të kthehen veçoritë magnetike të mëparshme.

Përmirsimi i veçorive magnetike te legurat e siliciumit dhe hekurit bëhet duke shtuar alumin në sasi të vogla. Përbërja optimale e kësaj legure është 9,5%Si, 5,6Al dhe pjesa tjetër hekur. Kjo legurë njihet me emrin alsifer. Veçoritë themelore të alsifierit janë:

- induksioni i ngopjes është	1T
- fusha koercitive	1,6 (Am^{-1})
- permeabiliteti magnetik fillestar	1000-35000
- permeabiliteti magnetik maksimal deri	110000
- rezistenza specifike elektrike	800 m.

Sasia e madhe e siliciumit në legurë e bën këtë të papërshtatshëm për cilindrim; prandaj, në shumicën e rasteve pjesët e ndryshme përfitohen me derdhje. Zakonisht, legurat e Si dhe Fe përdoren për ndërtimin e pjesëve të instrumenteve matëse, releve etj., por më tepër për rrymë të njëkahshme.

Izolimi i llamarinave përfitohet qëndruar humbjet përfitohet qëndruar mund të bëhet në shumë mënyra. Mirëpo, prej të gjitha llojeve të izolimit kërkohet:

- të jetë e qëndrueshme ndaj veprimit të temperave të larta,
- që shtresa e izolimit të jetë sa më e hollë,
- që mekanikisht të jetë rezistente,
- të jetë e qëndrueshme ndaj veprimit të vajrave minerale,
- të ketë si veçori të mira izoluese,
- që të jetë përcues i mirë i nxehtësisë.

Në Fig. 4.33 është treguar mënyra e vendosjes së llamarinave magnetike, gjatë formimit të qarqeve magnetike të cilindrueshme.

Më heret, si material izolues është përdor letra, ndërsa në kohët e fundit më së shumti përdoren llaknat izoluese, rrëshirat, që ngjiten leht në sipërfaqe të llamarinave duke krijuar shtresë të hollë izoluese. Si shtresë izoluese mund të shërbejë edhe pjesa oksiduese që formohet në sipërfaqe të materialit përkatës. Mirëpo, kjo shtresë e ka anën e keqe, sepse nuk është elastike dhe fare leht plasaritet ku mbi të veprojnë forcat mekanike në lakim dhe tërheqje. Rezultate të mira izoluese janë arritur duke fosfatizuar sipërfaqet e llamarinave. Në këtë rast përfitohet shtresa shumë e hollë izoluese, e cila i bën rezistencë edhe procesit të zharritjes së llamarinave.

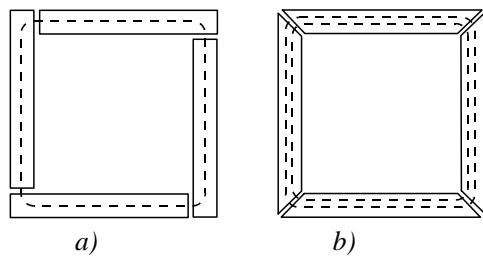


Fig.4.33. Mënyra e vendosjes së llamarinave magnetike gjatë formimit të qarqeve magnetike a) cilindrimi i ngrohtë dhe b) cilindrimi i ftohtë

Legurat e hekurit dhe të nikelit

Ndonëse nikeli nuk ka veçori të mira magnetike, ai në lidhje metalike me hekurin formon legura të buta magnetike që kanë veçori shumë të mira. Ndikimi i nikelit në veçoritë magnetike të hekurit është i shumëfishtë. Kur shtohet nikeli në hekur rritet

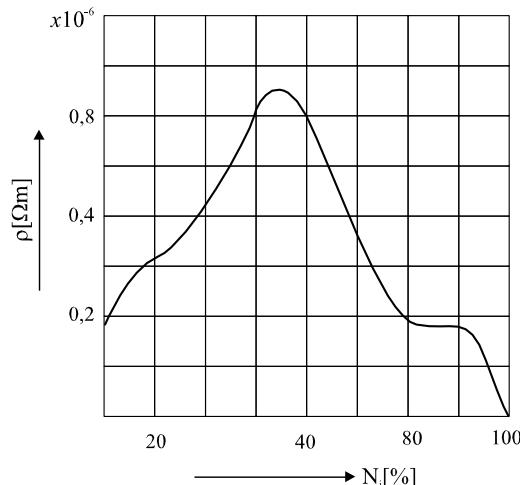


Fig. 4.34. Varësia e rezistencës specifike e legurës së hekurit me nikël nga sasia e Ni

rezistenca specifike elektrike. Kjo rritje hetohet gjer në vlerën 36% Ni në legurë, ku rezistenca specifike elektrike arrin vlerën maksimale. Rritja e mëtejme e sasisë së Ni në legurë e zvoglon vlerën e rezistencës specifike elektrike. Kjo varësi e rezistencës në funksion të sasisë së nikelit në legurë është dhënë në Fig. 4.34.

Sasia e nikelit ndikon edhe në vlerën e induksionit magnetik të ngopjes. Kjo varësi është e komplikuar. Në fillim, vlera e induksionit magnetik bie, dhe për vlerën 30% Ni në legurë, kjo bëhet material paramagnetik (induksioni bëhet zero).

Rritja e mëtejshme e nikelit në legurë e mundëson rritjen e induksionit dhe për vlerën 50% te Ni në legurë induksioni magnetik arrin vlerën maksimale (vlera e dytë maksimale). Mirëpo, rritja e mëtejshme e sasisë së Ni e zvoglon induksionin, por induksioni nuk e arrin vlerën zero asnjëherë. Kjo varësi e induksionit të ngopjes nga sasia e nikelit në legurë është dhënë në Fig. 4.35.

Duke e shtuar sasinë e nikelit në legurë, forca koercitive bie në mënyrë monotone, në krahasim me madhësitë paraprake magnetike Si rezultat i shtimit të sasisë së nikelit, legura bëhet më e butë. Për vlera të caktuara të sasisë së nikelit në legurë, arrihen vlera të caktuara të forcës koercitive:

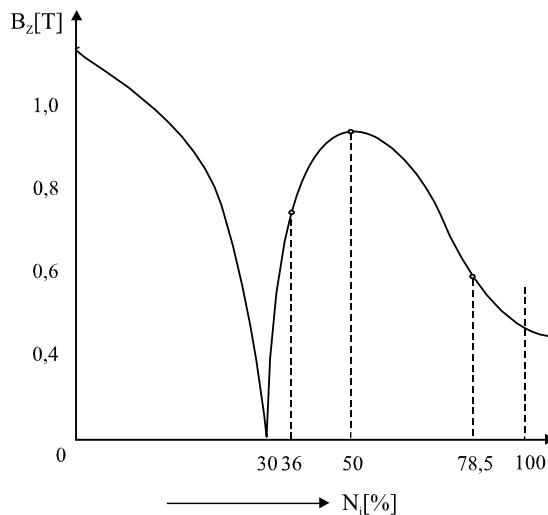


Fig. 4.35. Varësia e induksionit të ngopjes nga sasia e niklit në legurën e Fe+Ni

- për 36% Ni fusha koercitive është $H_c \sim 30 \text{ (Am}^{-1}\text{)}$
- për 50% Ni fusha koercitive është $H_c \sim 20 \text{ (Am}^{-1}\text{)}$
- për 78,5% Ni fusha koercitive është $H_c \sim 4 \text{ (Am}^{-1}\text{)}$

Si rezultat i zvoglimit të fushës koercitive në legurën e Ni + Fe, duke shtuar nikelin në legurë, është edhe zvoglimi i humbjeve të histerezës.

Varësia e rezistencës specifike elektrike, e induksionit të ngopjes magnetik dhe permeabilitetit, nga sasia e nikelit në legurë, është dhënë në Fig. 3.34, Fig. 3.35 dhe Fig. 3.36, ku shihet se ka mundësi të përfitohen tri lloj legurash, me përbërje të Ni+Fe si:

1. legura me sasi të vogël të nikelit ($\sim 36\%$), e cila karakterizohet me rezistencë të madhe specifike elektrike,
2. legura me sasi të mesme të nikelit ($\sim 50\%$), e cila karakterizohet me induksion të ngopjes maksimale,
3. legura me sasi të mëdha të nikelit ($\sim 78,5\%$), e cila karakterizohet me vlerë të madhe të permeabilitetit magnetik.

Varësisht nga kërkeshat e ndryshme, përdorim në praktikë kanë legurat me përbërje të ndryshme të nikelit në hekur.

Me përpunim termik në fushën e përheshme magnetike mund të përmirësohen veçoritë magnetike të legurave të Fe+Ni. Së pari, legura nxehet në atmosferë të hidrogenit deri mbi temperaturën Kiri, e mandej ftohet nën ndikim të përheshëm të fushës së jashtme magnetike. Efekti më i mirë arrihet, nëse temperatura Kiri është më e madhe se temperatura e rikristalizimit, ndërsa energjia e interaksionit në kristale është mjaft e vogël, në mënyrë që momentet magnetike mos t'i këthej në pozitë kristalografike.

Temperatura feromagnetike Kiri për legurat e hekurit dhe nikelite është më e ulët se për hekurin. Kjo temperaturë në disa raste paraqet pengesë për përdorimin e legurës përkatëse dhe pengon realizimin e kushteve optimale për të rritur efekte të dëshiruara, me rastin e përpunimit termik nën ndikimin e fushës së jashtme magnetike.

Prej legurave që kanë përbërje rrith 36%Ni, më të njohura janë: rometal, anhisteri A dhe B. Këto legura kanë vlerë relativisht të vogël të permeabilititetit magnetik dhe induksionit të ngopjes, por vlera e rezistencës specifike elektrike është mjaft e madhe. Legurat mbarohen në formë telash të hollë, shiritash dhe llamarinash, me trashësi deri në 0,35 mm. Përdoren për mbarimin e transformatorëve frekuencash të ulta dhe të larta, bobinash harkshuese, gjeneratorësh rrotullues të frekuencave të larta etj.

Legurat më të rëndësishme, që kanë rrith 50% Ni, janë: radiometali, anhisteri C, anhisteri D, metali A, permanormi, hiperniku etj. Rezistenca specifike elektrike e këtyre legurave është e vogël në krahasim me ato ku përbërja e nikelite është 36%. Por këto kanë permeabilitet magnetik dhe induksion të ngopjes më të madh. Edhe vlera e humbjeve është e vogël sepse janë zvogluar me humbjet e histerezës. Përpunohen në formë të telave të hollë, shiritave dhe llamarinave. Përdoren për mbarimin e transformatorëve tonfrekuente, releve që telefoni dhe telegrafi, bobinave të ndryshme, ekianeve magnetike, instrumenteve matëse me induksion të madh të punës, përfocuesve magnetikë etj.

Legurat e nikelite dhe hekurit që kanë 78,5% Ni, janë të njohura me emërat μ - metal, permalloj, supermalloj etj. Te këto legura arrihet vlera më e madhe e permeabilititetit magnetik dhe humbje mjaft të vogla magnetike. Përdoren për ndërtimin e relevës në aparatet të frekuencave të larta, transformatorëve në radioteknikë, transformatorëve matës, ekaneve magnetike etj.

Për të përmirësuar disa nga veçoritë magnetike të legurave të nikelite dhe hekurit, dhe për të zvogluar ndikimin e shpejtësisë së ftohjes, shpesherë këtyre legurave u shtohet edhe komponenta e tretë (më së shpeshti Cu, Cr, Mo, Mg, etj.).

Edhe permeabiliteti magnetik varet shumë nga sasia e Ni në legurë. Është vërejtur se vlera maksimale e tij arrihet për sasi të nikelite rrith 78,8%Ni. Lakorja e kësaj varësie për gjendje të ndryshme nën veprimin e fushës magnetike është dhënë në Fig. 4.36.

Është konstatuar se me shtimin e bakrit në llogari të sasisë së nikelite në legurë, në masë të konsiderueshme rritet permeabiliteti magnetik, por zvoglohet induksioni magnetik i ngopjes.

Me legurimin e hekurit ose të legurës së Fe+Ni me kobalt, përfitohet materiali, që karakterizohet me induksion magnetik të ngopjes më të madh se te hekuri i butë. Sasia e kobaltit në këto legura është deri në 50%. Këto legura janë të thyeshme dhe nuk mund të përpunohen. Me shtimin e vanadiumit rrerh 2%, kjo e metë eliminohet, kështu që bën të përfitohen llamarina me trashësi 0,25mm. Përfaqësuesi më i njohur i kësaj legure është Permenduri - V, i cili ka induksion magnetik, të ngopjes rrerh 2,4T.

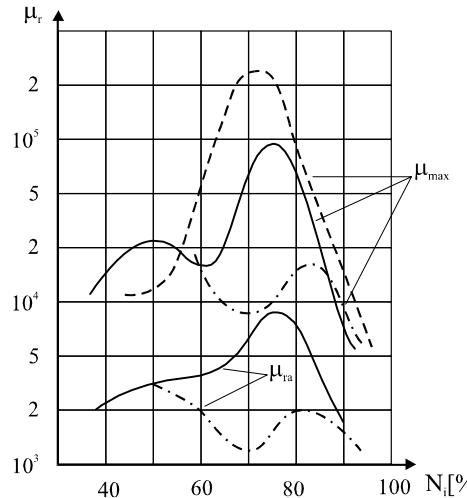


Fig. 4.36. Ndryshimi i vlerës fillestare dhe asaj maksimale të permeabilititetit magnetik të legurat e Fe+Ni në funksion të rritjes së sasisë së nikelite në legurë.

1. pa ftohje dhe pa fushë magnetike,
2. me ftohje të ngadalshme pa fushë magnetike
3. me ftohje të ngadalshme në fushë magnetike

Me shtimin e kobaltit në legurat e hekurit dhe nikelite, përfitohet materiali magnetik me permeabilitet konstant. Legurat më të njohura janë: perminvari, i cili përmban rrerh 30%Fe, 45%Ni dhe 25%Co, ndërsa permeabiliteti magnetik i tij është (~ 300), i cili ndryshon vetëm 1% në funksion të intensitetit të fushës magnetike prej 400 (Am^{-1}).

Për t'u rritur këto veçori, kërkohet një tretman i posaçëm termik. Perminvari, së pari zharritet në temperaturë 450°C brenda 24 orësh, mandej temperatura rritet në 1100°C e pastaj ftohet ngadalë.

Disa veçori themelore të gurave të nikelit dhe hekurit janë dhënë në tabelën 4.4. Këto materiale janë grapi më kualitativ i materialeve të buta magnetike, te të cilat arrihen vlera më të mëdha të karakteristikave magnetike. Pra, mund të arrihet vlera më e madhe e induksionit të ngopjes magnetike dhe permeabiliteti magnetik, vlerë të fushës koercitive nën $1[\text{Am}^{-1}]$, permeabilitet maksimal magnetik relativ rrëth 10^6 dhe humbje ($\Gamma_{1,0}$) rrëth $0,1 (\text{Wkg}^{-1})$. Përsa i përket diapazonit të frekuencave, këto materiale pothuajse mund të përdoren për të gjitha vlerat. Përdoren për ndërtimin e aparateve elektroenergetike dhe të telekomunikacionit. Megjithatë, ekzistojnë disa kufizime për përdorimin praktik të tyre. Para së gjithash, këto materiale kushtojnë mjaft shtrenjtë, dhe çmimi i tyre rritet me rritjen e sasisë së nikelit në legurë.

Tab. 4.4. Veçoritë themelore magnetike të disa legurave

Materialet	Dend.	Temp.	ρ	$\Gamma_{0,5}$	$\Gamma_{1,0}$	B_{ng}	H_c	μ_r	μ_{max}
	kgm^{-3}	$^\circ\text{C}$	Ωm	Wkg^{-1}	Wkg^{-1}	T	Am^{-1}	-	-
Rometali	8100	-	$95 \cdot 10^{-8}$	0,33	-	1,20	23	25-1000	120-8000
Hypern 36	8150	250	$65 \cdot 10^{-8}$	0,18	0,6	1,30	25	5000	35000
Radiometali	8300	-	$55 \cdot 10^{-8}$	0,22	-	1,60	12	2200	22000
Hiperniku	8200	500	$46 \cdot 10^{-8}$	0,17	-	1,50	4	3000	70000-167000
μ -metali	8600	430	$55 \cdot 10^{-8}$	0,12	-	0,65-0,9	0,8-5	10000-20000	$(5-10) \cdot 10^4$
Permalloj	8600	430	$55 \cdot 10^{-8}$	0,04	-	0,9	3,5	6000	80000
Permendur	8200	950	$16-40 \cdot 10^{-8}$	-	-	2,35	160	800	6000
Perminvar	8600	725	$19 \cdot 10^{-8}$	-	-	1,55	4	5000	150000
M_0 -perminvar	8660	540	$80 \cdot 10^{-8}$	-	-	1,03	52	550	3700
Supermalloj	8770	400	$65 \cdot 10^{-8}$	-	-	0,8	0,7-1,5	10^5	10^5-10^6

4.5. MAGENTODIELEKTRIKËT

Është thënë se humbjet, për shkak të rrymave shtjellore, rriten me katorin e frekuencës. Si rezultat i paraqitjes së humbjeve të mëdha, kufizohet përdorimi i materialeve magnetike në teknikën e frekuencave të larta. As materialet më të mira magnetike dëshmojnë më të holla të këtyre materialeve, në tërësi nuk mund t'i përmblidhet kërkuesat e materialeve që duhet të përdoren në teknikën e frekuencave të larta. Pikërisht, me qëllim të eliminimit të humbjeve magnetike, kanë zënë të përdoren materialet magentike pluhur, grimcat e të cilave lidhen mekanikisht dhe elektrikisht izolohen me llakna ose rrëshira izoluese. Përfitimi i materialeve magnetike në këtë mënyrë, më së shumti i eliminon, ose i zvoglon në minimum humbjet magnetike, të cilat paraqiten si rezultat i veprimit të rrymave shtjellore.

Madhësia e këtyre grimcave është $2-50 \mu\text{m}$, ndërsa trashësia e shtrresës izoluese $(0,2-1,0) \mu\text{m}$.

Meqenëse ndërmjet grimcash të materialeve magnetike ka hapësira bukur të mëdha që mbushen me material izolues, bëhet zvoglimi i konsiderueshëm i permeabilitetit magnetik. Në krashtë me permeabilitetin magnetik të materialeve monolite magnetike, prej të cilave është përfituar edhe vetë pluhuri metalik, μ_r është shumë i vogël. Përveç këtë, përmendur magnetodielektrikë definohet vlera efektive e permeabilitetit magnetik, dhe kjo madhësi ka vlerë aq të vogël sa më e madhe të jetë sasia e materialit lidhës (izolues). Kjo varësi është treguar në Fig. 4.37.

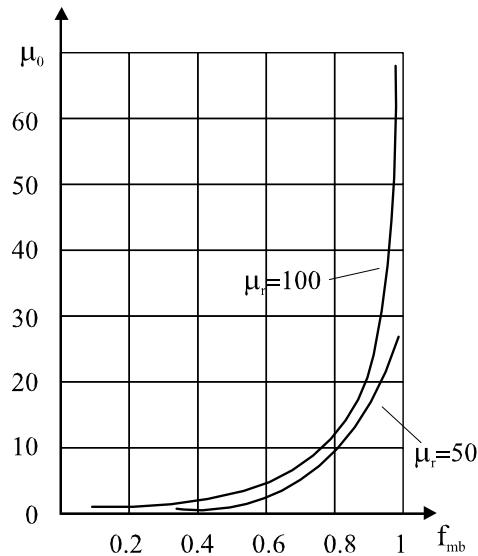


Fig. 4.37. Varësia e permeabilitetit efektiv të magnetodielektrikët në funksion të koeficientit të mbushjes.

Përmendur përfitimin e magnetodielektrikëve përdoret pluhuri i hekurit elektrolitik ose pluhuri i hekurit të karbonizuar, i cili ka veçori të mira magnetike dhe është një prej materialeve më të lira magnetike.

Matematikisht mund të paraqitet varësia e permeabilitetit magnetik (vlerës së tij efektive) në funksion të koeficientit të mbushjes së bërtamës magnetike f_{mb} :

$$\mu_0 = \frac{1}{\frac{1}{\mu} + \frac{f_{mb}}{3}}; \quad \mu \gg 1; \quad f_{mb} \ll 1 \quad (4.60)$$

Ku: me f_{mb} - është shënuar koeficienti i mbushjes së bërtamës magnetike, ndërsa me μ - permeabiliteti i materialit monolit magnetik, f_{mb} - ka vlerë 0,02. Edhe nga barazia e përafërt, dhe prej diagramit, shihet se permeabiliteti efektiv magnetik nuk

mund të ketë vlera të mëdha edhe sikur tërë materiali magnetik të ndërtohej prej materialit monolit magnetik me permeabilitet shumë të madh. Është evident edhe ndikimi i koeficientit të mbushjes në vlerën e permeabilitetit efektiv.

Për përfitimin e materialeve magnetodielektrike të mira duhet marrë në konsiderim të gjithë faktorët që ndikojnë në ndryshimin e madhësive magnetike. Ka mënyra të ndryshme të përfitimit të këtyre materialeve, por si mënyrë bazike merret përfitimi i magnetodielektrikëve me shtypje. Gjatë përfitimit të pluhurit të hekurit duhet pasur parasysh se hekuri në pluhur oksidohet shumë shpejt. Për shkaqe të këtilla duhet të ndërmerren masa të nevojshme mbrojtëse, siç është vendosja e pluhurit në vaj ose rrëshirë. Materiali izolues lidhës duhet t'i plotësojë disa kushte: të mos ndryshojë me ndryshimin e temperaturës së jashtme, kimikisht të jetë neutral, të mos i thithë ujin dhe të ketë koeficient sa më të vogël të bymimit termik. Ndryshim i temperaturës për 10°C nuk guzon ta ndryshoj vlerën e permeabilitetit efektiv magnetik më shumë se 0,06% të vlerës paraprake.

Pluhuri metalik përzihet me materialin izolues lidhës, vendoset në arkëza të posaçme, i jipet forma e dëshiruar nën veprimin e shtypjes prej 10-20(t/cm²). Materiali i shtypur ngrohet në temperaturë 120 deri 180°C.

Përsa i përket përcaktimit të kualitetit të magnetodielektrikëve, të cilët përdoren në teknikën e frekuencave të larta, përdoren mënyra të njëjta si me rastin e materialeve dielektrike. Kualiteti i materialeve përcaktohet përmes tangensit të këndit, me ndihmën e të cilit përcaktohen humbjet e materialeve magnetodielektrike dhe i cili definohet për qarkun ekuivalent të bobinës me bërthamë të hekurit, si raport:

$$\operatorname{tg} \delta_m = \frac{R}{\omega L} \quad (4.61)$$

Ku: me R - shënohet vlera e përgjithshme e rezistencës së mbështjellave dhe rezistencës ekuivalente të bërthamës, ndërsa L - është induktiviteti i bobinës harkëshuese, kurse me ω - shënojmë frekuencën e rrymës. Në disa raste përdoret edhe vlera reciproke e tangensit të këndit. Kjo vlerë quhet faktori i kursimit të bobinës. Për bobina harkëshuese te frekuencave të larta kërkohet që ky faktor të ketë vlerë sa më të madhe. Mirëpo, për frekuencë shumë të larta, zgjodhet faktori i kursimit. Ndonëse ka mundësi të eliminohet pluhuri më i imët, ose të pengohet zgjegjimi i këtij faktori, me ç'rast bie edhe vlera e permeabilitetit efektiv magnetik. Pra nuk preferohet që magnetodielektrikët të përdoren për frekuencë mbi 1-2MHz. Pika të shkurtë do t'i përshkruajmë veçoritë e magnetodielektrikëve.

Materialet magnetodielektrike në bazë të hekurit karbonil

Karakteristikat e materialeve magnetodielektrike në bazë të hekurit karbonil janë:

- Hubjet e vogla për shkak të ciklit të histerezës dhe rrymave shtjelllore. Vlen të veçohet se humbjet për shkak të rrymave shtjelllore bredhëse te këta magnetodielektrikë, janë më të vogla se te materialet tjera magnetodielektrike. Eksperimentalisht mund të caktohen vetëm me metoda speciale.
- Vlera e vogël e permeabilitetit magnetik. Edhe permeabiliteti magnetik i magnetodielektrikëve, në bazë të hekurit karbonil, është më i vogël se te magnetodielektrikët tjerë. Vlera e permeabilitetit fillestar magnetik e këtyre materialeve është 5-15''. Ka raste që prodhohen materiale magnetodielektrike në bazë të hekurit karbonil, që kanë permeabilitet fillestar magnetik prej 20-70''. Mirëpo, këto materiale karakterizohen me humbje të mëdha, prandaj përdoren shumë rrallë.
- Koeficienti termik pozitiv i permeabilitetit magnetik. Vlera e këtij koeficienti për këto materiale është rreth $50-100 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/\text{K}$.
- Parametrat e këtyre materialeve ndryshojnë fare pak me kohën. Ndryshimi i permeabilitetit fillestar magnetik për këto materiale është më i vogël se 0,2% gjatë një viti.
- Materialet magnetodielektrike, në bazë të hekurit karbonil, kanë përdorim të gjërë. Mirëpo, ngase e thithin ujin, këto materiale vendosen nëpër enë të mbyllura hermetikisht.

Materialet magnetodielektrike në bazë të alsiferit

Për përfitimin e materialeve magnetodielektrike në bazë të alsiferit përdoren legurat me përbërje: 81,5-83,3%Fe; 7,5%Al dhe 9-11%Si.

Disa karakteristika themelore të magnetodielektrikëve në bazë të alsiferit janë dhënë në tabelën 4.5, ndërsa në Fig. 4.38 janë treguar pjesë të ciklit të histerezës dhe varësia e permeabilitetit relativ magnetik nga intensiteti i fushës magnetike.

Tab. 4.5. Karakteristikat e materialeve magnetodielektrike në bazë të alsiferit

Shenja e materialit	μ_{fill}	$B(T)$, $H_{max}=8000\text{A/m}$	$B_r(\text{T})$	$H_c(\text{A/m})$
1	62	0,42	0,050	400
2	30	0,27	0,025	400
3	20	0,19	0,015	500

Përmeabiliteti fillestar magnetik i materialeve magnetodielektrike në bazë të alsiferit është prej 20-90. Mirëpo, magnetodielektrikët me $\mu_{fill}=90$ karakterizohen me humbje mjaft të mëdha për shkak të rrymave shtjelllore bredhëse. Pikërisht për

këte, janë pothuaj të papërdorshme. Materialet magnetodielektrike me $\mu_{\text{fill}} < 20$ nuk përdoren ngase kanë veçori shumë të dobëta magnetike.

Varësia e faktorit relativ të humbjeve nga frekuenca për disa materiale magnetodielektrike në bazë të alsiferit është paraqitur në tabelën 4.6. Është dhënë edhe varësia e këtij faktori prej amplitudës së fushës magnetike.

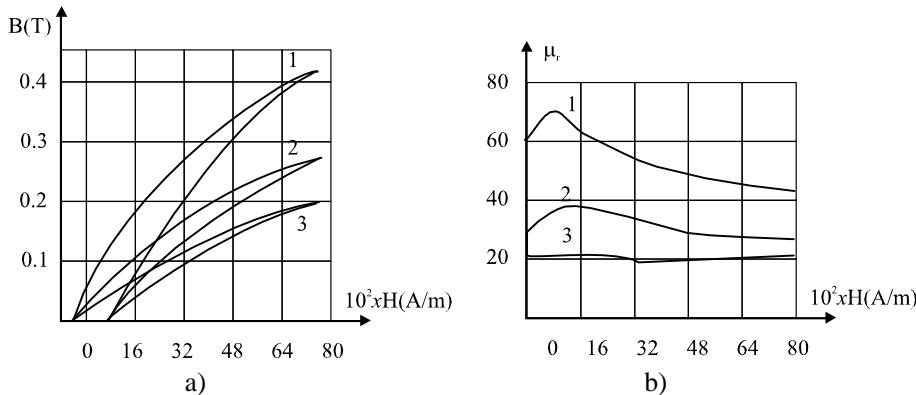


Fig.4.38. a) Pjesë të ciklit të histerezës dhe b) varësia e permeabilitetit relativ magnetik nga intensiteti i fushës magnetike për materiale magnetodielektrike në bazë të alsiferit.

Vlera e permeabilitetit fillestar magnetik e materialeve magnetodielektrike në bazë të alsiferit është funksion jolinear varësisht nga temperatura. Kjo varësi është treguar në Fig. 4.39, nga shihet se permeabiliteti fillestar magnetik për materiale magnetodielektrike në bazë të alsiferit, mund të ketë vlerë negative dhe pozitive.

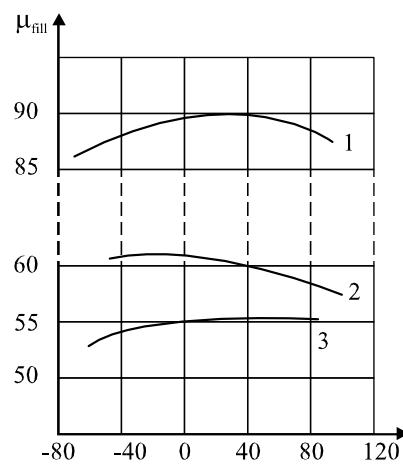


Fig. 4.39. Varësia e permeabilitetit fillestar magnetik nga temperatura për materiale magnetodielektrike në bazë të alsiferit.

Tab.4.6. Faktori relativ i humbjeve te materialet magnetodielektrike në bazë të alsiferit për vlera të ndryshme të amplitudës së fushës magnetike dhe frekuencave

μ_{fill}	$f(\text{kHz})$	$\text{tg}\delta \cdot 10^6$	$\text{tg}\delta \cdot 10^6$
		μ_{fill} për $H=1,6\text{A/m}$	μ_{fill} për $H_m=40\text{A/m}$
82-94	60	785	813
55-62	60	327	355
50-55	60	360	390
30-34	100	337	356
20-24	100	132	150

Materialet magnetodielektrike në bazë të legurave të hekurit, nikelit dhe molibdenit

Për përfitimin e materialeve magnetodielektrike, në bazë të legurave të hekurit, nikelit dhe molibdenit, përdoren legurat me përbërje: 80-82% Mo, mbetja është hekur. Këto legura njihen me emrin Mo-permalloji, ndërsa prej vitit 1928 përdoren për përfitimin e materialeve magnetodielektrike. Në kahasim me materialet magnetodielektrike në bazë të alsiferit, këto materiale kanë vlerë më të madhe të permeabilitetit fillestar magnetik dhe humbje më të vogla për shkak të rrymave shtjellore bredhëse dhe ciklit të histerezës.

Në përgjithësi, prej të gjitha materialeve magnetodielektrike, materialet magnetodielektrike në bazë të Mo-permallojit e kanë vlerën më të madhe të permeabilitetit fillestar magnetik. Vlera fillestare e permeabilitetit relativ magnetik për këto materiale mund të jetë deri në 250.

Disa veçori karakteristike të materialeve magnetodielektrike në bazë të Mo-permallojit, janë dhënë në tabelën 4.7. Për këto materiale në Fig. 4.40 është dhënë varësia e permeabilitetit magnetik relativ nga intensiteti i fushës magnetike dhe disa pjesë të ciklit të histerezës.

Tab. 4.7. Karakteristikat e disa materialeve magnetodielektrike në bazë të Mo-permallojit

Shenja e materialeve	μ_{fill}	$B(\text{T})$	$B_r(\text{T})$ $H_{max}=800\text{A/m}$	$H_c(\text{A/m})$
1	210	0,76	0,025	100
2	135	0,72	0,020	100
3	90	0,67	0,007	100
4	55	0,52	0,005	100

Në Fig. 4.41 është dhënë varësia e $\operatorname{tg}\delta$ prej amplitudës së fushës magnetike dhe frekuencave të ndryshme për materiale magnetodielektrike në bazë të Mo-permallojit.

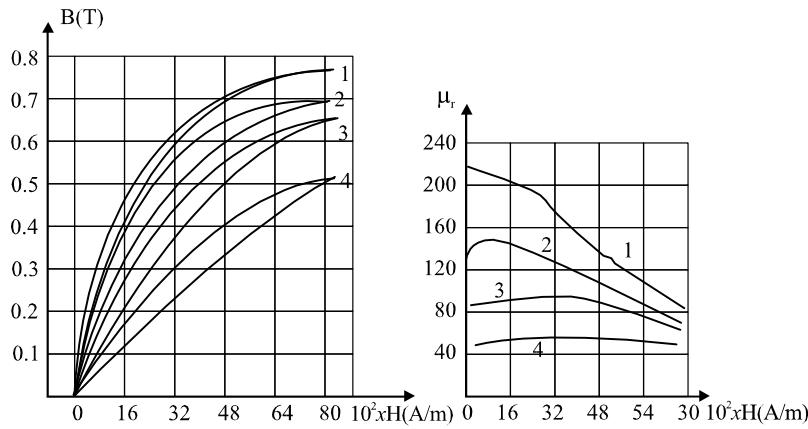


Fig. 4.40. a) Pjesë të ciklit të histerezës dhe b) Varësia e permeabilitetit relativ magnetik nga intensiteti i fushës magnetike përmes materialave magnetodielektrike në bazë të Mo-permallojit.

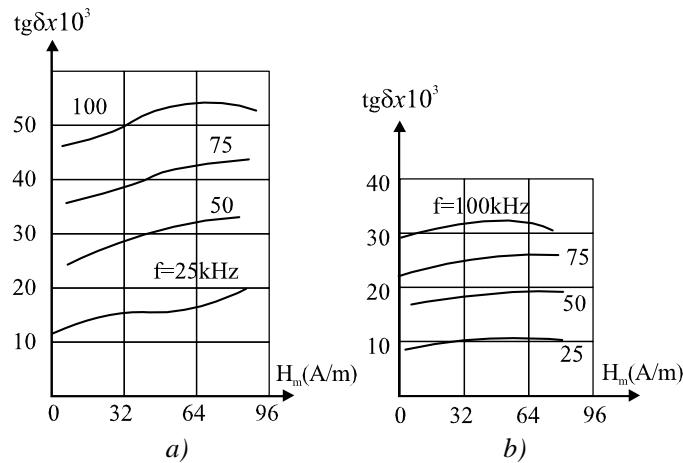


Fig. 4.41. Varësia e $\operatorname{tg}\delta$ nga amplituda e fushës magnetike dhe frekuencia të ndryshme përmes materialave magnetodielektrike në bazë të Mo-permallojit te të cilat a) $\mu_{fin}=200$ dhe b) $\mu_{fin}=13,5$

Varësia e permeabilitetit nga temperatura, te materialet në bazë të Mo-permallojit, është shumë e dobët. Kjo veçori është arritur me shtimin e Mo-permallojit. Këto legura kanë koeficient të temperaturës negative të permeabilitetit magnetik. Materiali shtesë quhet “termokompenzator”. Si material termokompensues përdoren përzierjet e legurave të hekurit, nikelit dhe molibdenit me përbërje të Mo prej 12-14%. Temperatura Kiri e këtyre legurave nuk është më e madhe se 80°C.

Materialet magnetodielektrike në bazë të Mo-permallojit përdoren për temperaturat prej -60% e deri në +80°C.

Në atmosferë të lagësht, këtyre materialeve iu zvoglohet permeabiliteti. Pikërisht për këte, këto materiale vendosen në enë speciale ku nuk bie në kontakt me lagështinë.

4.16. MATERIALET FERIMAGNETIKE

Përdorimi i materialeve të buta magnetike në teknikën e frekuencave të larta është i kufizuar, sepse:

- a) niveli i humbjeve magnetike te magnetodielektrikët është i pranueshëm për frekuenca deri në 1MHz, dhe se
- b) zvoglimi i humbjeve është bërë në llogari të zvoglimit të permeabilitetit magnetik. Ky zvoglim ndikon në kufizimin e përdorimit të materialeve magnetike, ku rol të rëndësishëm luan vlera e amdhe e permeabilitetit fillestar magnetik.

Mirëpo, me përdorimin e materialeve ferimagnetike është bërë një zgjedhje fatlume, e cila karakterizohet me veçori të mira magnetike. Materialet e buta magnetike quhen ferite.

Klasifikimi dhe veçoritë e feriteve

Ngjajshmëri me materialet feromagnetike, feritet, në bazë të formës së ciklit të histerezës dhe madhësisë së fushës koercitive, ndahen në:

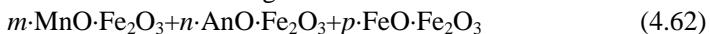
- a) ferite të buta dhe
- b) ferite të forta.

Përsa i përket përdorimit të feriteve të buta, më të rëndësishmet janë:

- feritet mangan-zink, të cilat paraqesin tretje të forta të feriteve mangane ($\text{MnO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$), feritet e zinkut ($\text{ZnO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) dhe magnetitit ($\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$),
- feritet e nikel-zinkut, të cilat paraqesin tretje të forta të nikel feriteve ($\text{NiO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$), feritet e: zinkut ($\text{ZnO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) dhe magnetitit ($\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$),
- feritet e litium-zinkut, të cilat paraqesin tretje të forta të feriteve të litumit ($\text{Li}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$),
- feritet e magneziumit ($\text{MgO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$).

Për të përmirësuar disa veçori elektrike dhe magnetike të këtyre tretjeve të forta, nganjëherë iu shtohet Co, Li, Ti, Ca, etj.

Formula e përbashkët e feriteve të mangan-zinkut është:



ku: koeficientët m , n dhe p përcaktojnë sasinë e marrëdhënieve të komponenteve në mes veçori. Formula të ngjashme mund të shkruhen edhe për grupe tjera të feriteve të buta. Përbërja e feriteve, që përdoren për frekuencë më të larta, është më i komplikuar.

Feritet e forta janë:

- feriti i bariumit ($\text{BaO}\cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$),
- feriti i kobaltit që paraqet tretje të forta të feriteve të kobaltit ($\text{CoO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) dhe magentitit ($\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$),
- feriti i stronciumit ($\text{SrO}\cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$), dhe
- feriti i plumbit ($\text{PbO}\cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$).

Feritet e buta kanë strukturë të ngjashme me të spinelit. Spineli është xehe me përbërje $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, i cili gjendet në natyrë.

Struktura normale të spinelit e kanë $\text{ZnO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ dhe $\text{CdO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$. Mirëpo këto dy legura, edhe pse e kanë formulën e feriteve, nuk kanë veçori të theksuara ferimagnetike. Për të pasur veçori të feriteve ndonjë legurë me përbërje kimike $\text{MeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$, duhet të ketë strukturë inverze të spinelit.

Feritet e forta kanë rrjet kristalik heksagonal. Struktura e këtyre feriteve është e ngjashme me strukturën e magnetoplumbtitit që ka përbërje kimike $\text{BaO}\cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$. Gjysma e çelisë elementare të këtij feriti është treguar në Fig. 4.42. Pjesa e dytë e çelisë elementare $\text{BaO}\cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ përfitohet si pamje në shikimin horizontal të vendosur në bazën e sipërme ose të poshtme të çelisë elementare të paraqitur në Fig. 4.42. Vlen të ceket se vetëm feriti i kobaltit nga të gjitha feritet tjerë të fortë, nuk ka rrjet kristalik heksagonal për kubik. Edhe përkundër kësaj, ky material ka veçori të feriteve të forta.

Kemi thënë edhe më parë, se veçori e përbashkët e feriteve është vlera e madhe e rezistencës specifike elektrike. Rezistenca specifike elektrike e feriteve në temperaturën e dhomës është $10^6\text{-}10^{13}$ herë më e madhe se rezistenca specifike elektrike e hekurit dhe e materialeve tjera feromagnetike. Rezistenca specifike elektrike e disa feriteve është $10\text{M}\Omega\text{m}$. Në bazë të rezistencës elektrike dhe varësisë së saj prej temperaturës, feritet grupohen në materiale gjysmëpërçuese. Te shumica e feriteve, rezistenca specifike elektrike zvoglohet me rritjen e temperaturës. Varësia termike e rezistencës specifike elektrike te feritet është e përcaktuar me përbërjen kimike dhe kushtet e përfitimit (temperaturës së pjekjes, kohës së pjekjes, atmosferës në të cilën bëhet pjekja, shpejtësisë së ftohjes së materialit pas pjekjes etj.).

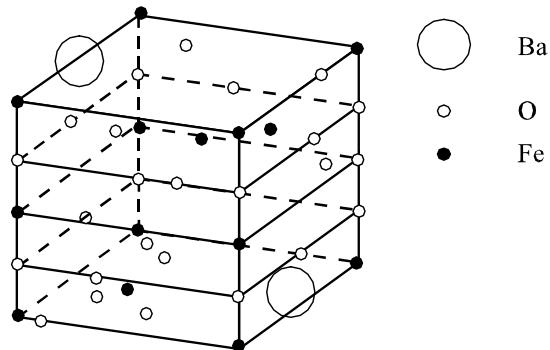


Fig. 4.42. Gjysma e çelisë elementare të $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$

Sa i përket bartësve të ngarkesave, te feritet dallohen dy tipe bartësish: elektronet dhe zbrazësitë. Mu për këtë, edhe feritet klasifikohen në ferite të tipit n dhe p , varësish se cili nga bartësit mbizotron. Se çfarë do të jenë feritet, të tipit n ose p , varet nga përbërja dhe kushtet e përfitimit të tyre.

Veçoritë e feriteve të buta

Për t'i kuptuar më leht varësitë e veçorive të feriteve të buta nga përpunimet teknologjike, në pikë të shkurtëra po e përshkruajmë përfitimin e një detaji prej feritit. Përfitimi i një detaji të feritit të butë fillon me përgatitjen e pluhurit të tij. Pluhuri i feritit përfitohet duke i bluar oksidet e metaleve përkatëse dhe përzirjen e tyre. Pluhurit të feritit i shtohet plastifikatori. Plastifikator është shpiritusi i polivinilit ose parafina. Masa e përfituar shtypet duke krijuar forma të dëshiruara detajeve të ndryshme. Shtypja bëhet nën ndikimin e presionit prej $100\text{-}300\text{Mpa}$. Pas procesit të presimit, detajet piqen në temperaturë 1100°C deri 1400°C . Procesi

i pjekjes së këtyre detajeve mund të ndahet në tri etape: Etapa e parë është nxemja e materialit deri në temperaturën e pjekjes. Gjatë kësaj kohe, nga materiali largohet sasia e lagështisë, gazrat dhe shtesat tjera që e lehtësojnë shtypjen e materialit. Etapa e dytë përfshinë kohën e pjekjes, e cila bëhet për kohë dhe temperaturë të caktuar. Përgjatë pjekjes së masës, bëhet formimi i tretjes së fortë. Etapa e tretë, përfshin procesin e ftohjes se detajit të feritit të butë, prej temperaturës së pjekjes deri në temperaturën e dhomës. Çdo etapë të sipërmendur, duhet t'i përgjigjet atmosfera e furrës. Ndikim më të madh në veçoritë e feriteve luan prezencia e oksigjenit gjatë procesit të ftohjes. Edhe shpejtësia e ftohjes luan rol të konsiderueshëm në karakteristikat e feriteve. Zakonisht, ftohja e feriteve zgjatë disa orë. Gjatë procesit të pjekjes, detaji nga feriti i butë e ndryshon vëllimin për 10-20%. Ndërrimi i vëllimit të detajit ndikon negativisht në rastin kur duam të përfitojmë detaj të feriteve me dimensione të caktuara. Gjithashtu për përfitimin e detajit nga feriti, me dimensione dhe formë të caktuar, pengon edhe vet materiali, i cili pas procesit të pjekjes shumë, vështirë përpunohet mekanikisht. Detajet nga feritet janë shumë të thyeshëm dhe përpunohen vetëm me shpime ose polirim.

Meqenëse feritet e buta përdoren në teknikën e frekuencave të larta, për to duhet të definohen disa parametra që nuk i kemi hasur gjatë shpjegimit të veçorive të materialeve feromagnetike. Këtu do të definohen dy parametra: permeabiliteti magentik “kompleks” μ dhe faktori i humbjeve $\tg\delta$. Nëpër disa katalogje të prodhuesve të aparateve që përdorin feritet e buta, shpeshherë jipen varësitë e pjesës reale, përkatësisht të asaj imaginare të permeabilitit magnetik dhe $\tg\delta$ në funksion të intensitetit të fushës magnetike, frekuencës, temperaturës, përbërjes së feriteve etj.

Nëse feritet gjenden nën veprimin e fushës thjesht periodike:

$$H = H_m \sin \omega t \quad (4.63)$$

përgjatë amplitudave të vogla H_m induksionin në ferite mund ta paraqesim përafërsisht përmes shprehjes:

$$B = B_m \sin(\omega t + \delta) \quad (4.64)$$

Meqenëse barazitë (4.63) dhe (4.64) paraqesin relacionet parametrike të elipsës, atëherë përgjatë fushave të dobëta, cikli i histerezës për ferite është elipse.

Nga barazia (4.64) del se:

$$B = B_m \cdot \sin \omega t \cdot \cos \delta + B_m \cdot \cos \omega t \cdot \sin \delta \quad (4.65)$$

Duke i marrë se:

$$B_m \cdot \cos \delta = B_{m1} \quad \text{dhe} \quad B_m \cdot \sin \delta = B_{m2} \quad (4.66)$$

permeabiliteti i feriteve mund të definohet si:

$$\mu' = \frac{B_{m1}}{H_m} = \frac{B_m \cdot \cos \delta}{H_m} \quad \text{dhe} \quad \mu'' = \frac{B_{m2}}{H_m} = \frac{B_m \cdot \sin \delta}{H_m} \quad (4.67)$$

Nga barazitë e mëparëshme, mund të shkruhet se:

$$\sqrt{\mu' + \mu''} = \frac{B_m}{H_m} = \mu \quad (4.68)$$

Kjo madhësi quhet permeabiliteti amplitudë magnetik sepse paraqet herësin e amplitudave të induksionit magnetik dhe intensitetit të fushës magnetike. Permeabiliteti amplitudë magentik, në literaturë shënohet me $\mu\sim$.

Nga barazia (4.67) për μ' dhe μ'' , mund të shkruhet:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{\mu''}{\mu'} \quad (4.69)$$

Deri te barazia për $\mu\sim$ dhe $\operatorname{tg}\delta$ mund të arrihet edhe nëse $\mu\sim$ e paraqesim në formën komplekse:

$$\mu = \mu' + j\mu'' \quad (4.70)$$

dhe duke i zëvendësuar zgjedhjet e fituara nga relacioni (4.67) për μ' dhe μ'' .

Shpeshherë si karakteristikë e feriteve merret vlera reciproke e $\operatorname{tg}\delta$. Kjo karakteristike quhet faktori i dobisë dhe shënohet Q ($Q=1/\operatorname{tg}\delta$).

Meqenëse humbjet e energjisë për njësi vëllimore te feritet janë proporcionale me $\operatorname{tg}\delta/\mu_r$, përkatësisht përgjatë fushave të dobëta $\operatorname{tg}\delta/\mu_{fill}$ është i varur nga frekuanca, temperatura etj. Madhësia e $\operatorname{tg}\delta/\mu_{fill}$ quhet faktori relativ i humbjeve.

Feritet e mangan-zinkut

Feritet e mangan-zinkut përdoren përfitimin e aparatave, të cilat punojnë në fushat periodike magnetike me frekuencë deri në 1MHz. Edhe pse permeabiliteti magnetik relativ i feriteve të Mn-Zn nuk është më i madh se 10000, këto ferite bëjnë pjesë në grupin e materialeve ferimagnetike me permeabilitet më të madh magnetik.

Karakteristikat e feriteve Mn-Zn që përdoren për bërtama të bobinave dhe transformatorëve të prodhit të jashtëm, janë dhënë në tabelën 4.8.

Ndërsa karakteristikat e feriteve Mn-Zn, prodhohen në fabrikën e feriteve, janë dhënë në tabelën 4.9.

Lëmi kur përdoren feritet e Mn-Zn, është dhënë në tabelën 4.10.

Për frekuencë më të larta, permeabiliteti fillestar magnetik i feriteve të Mn-Zn zvoglohet (Fig. 4.43). Për feritet Mn-Zn që kanë permeabilitet fillestar 1000, frekuencia kufitare është 5MHz. Varësia e induksionit të ngopjes nga frekuencia për feritet e Mn-Zn është treguar në Fig. 4.44. Siç shihet, induksioni i ngopjes është më i madh, nëse është më e madhe sasia e Fe_2O_3 në MnO. Nga figura shihet se induksioni i ngopjes te këto ferite është më i vogël se te materialet feromagnetike.

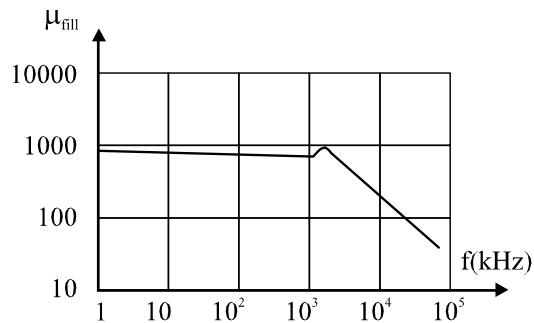


Fig. 4.43. Varësia e permeabilitetit fillestar magnetik të feriteve nga frekuencia

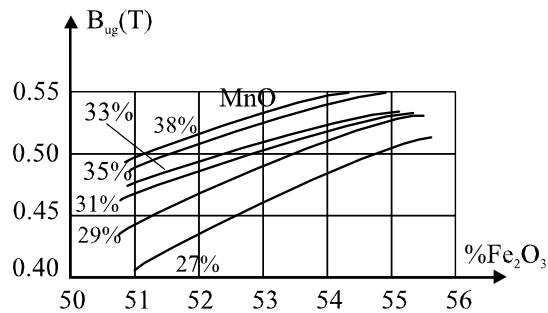


Fig. 4.44. Varësia e induksionit të ngopjes së feriteve Mn-Zn nga sasia dhe përbërja e tyre

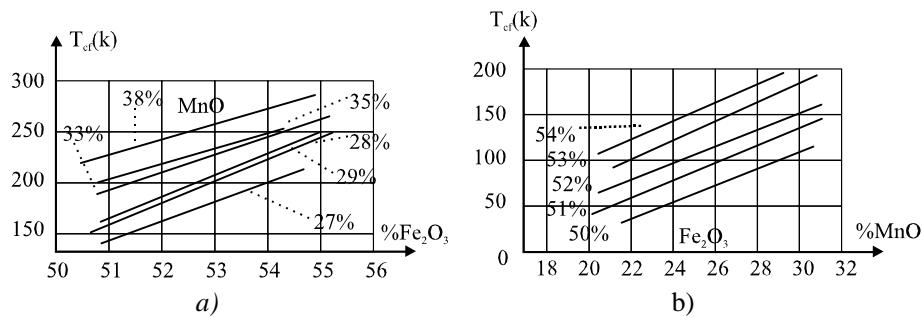


Fig. 4.45. Varësia e temperaturës Kiri nga feritet Mn-Zn prej përbërjes së tyre. Përpunimi teknologjik në të dy rastet është i njëjtë

Tab. 4.8. Karakteristikat orientuese të feriteve Mn-Zn për bërthama të bobinave dhe transformatorëve. Feritet janë të prodhimit të jashtëm.

Emërtimi i fabrikës për materiale	μ_{fill}	Γ_{cf} (°C)	B për (T)	H (A/m)	H_c (A/m)	$10^6 \operatorname{tg} \delta / \mu_{fill}$	f (kHz)	ρ (Ωm)
Feroskubi	900	150	0,34	800	-	-	-	0,2
	900	150	0,34	800	-	18	100	0,8
	900	150	0,34	800	-	27	250	0,12
	1400	150	0,34	800	-	10	100	0,2
	2300	150	-	-	-	5	100	1
	2300	150	-	-	-	5	100	1
	1100	150	0,33	800	-	-	-	0,8
	600	150	0,34	800	-	8	100	2
	2700	150	0,25	800	-	20	100	0,3
Hiperoksi	1100	180	0,40	800	28	10	50	1
	1000	180	0,35	800	24	8	50	1,2
	2000	170	0,43	800	16	8	50	0,3
	3500	175	0,48	800	16	10	50	0,5
	2400	170	0,43	800	12	3	50	1,5
	2200	210	0,45	800	12	3	50	1,2
	2000	160	0,41	800	12	4	50	1,6
Karapermi	2000	175	0,43	800	14	6,7	50	0,2
	1400	105	0,27	800	10	24	50	0,2
	1200	145	0,39	800	24	8,4	50	1,0
Siferiti	1300	145	0,38	3000	30	20	200	1
	1500	115	0,30	3000	20	-	-	100
	2000	115	0,30	3000	15	-	-	100
	2000	150	0,39	3000	20	-	-	1
	1900	180	0,43	3000	20	-	-	1
	2000	150	0,39	3000	20	5	5000	1
Stanferiti	1500	180	0,43	800	32	6,5	250	0,25
	2500	150	0,42	800	32	10	250	0,25
Fermaliti	1400	160	0,38	800	8	10	300	2
	1500	140	0,35	800	8	7,7	100	2
	1000	170	0,38	800	16	12	500	4
	2500	150	0,35	800	8	9	100	0,5
	4000	150	0,35	800	8	-	-	0,25
	1800	220	0,43	800	16	-	-	2
Ferinoksi	2500	180	0,45	4000	16	-	-	-
	1700	180	0,45	4000	28	-	-	-
	1700	190	0,45	4000	36	-	-	-
	1300	220	0,49	4000	-	-	-	-
Naferiti	2000	180	0,42	800	24	1,5	100	7
	2000	180	0,42	800	24	1,5	100	7

Në Fig. 4.45 është dhënë varësia e temperaturës Kiri te feritet Mn-Zn nga përbërja e tyre. Temperatura Kiri e feriteve të Mn-Zn është më e vogël se te materialet feromagentike. Kjo e dhënë ka rëndësi të posaçme për të zgjedhur feritet Mn-Zn për përdorim në praktikë.

Tab.4.9. Karakteristika e feriteve të Mn-Zn të prodhua në vend.

Emërtimi i materialeve sipas fabrikës	M31	M32	M42	M46	M51	M56	M58
μ_{fill}	600+20%	900+20%	150+20%	1400+20%	2700+20%	2200+20%	2200+20%
Tcf (°C)	200	150	150	190	125	155	155
B [T] për: H=800A/m H=1600A/m H=300A/m		0,35			0,35		0,39
H_c (A/m)	0,4		0,38			0,39	
Zona e punës së frekuencave: f_{min} (kHz) f_{max} (kHz)	100	-	30	-	-	20	20
$20^6 \operatorname{tg} \delta \mu_{fill}$ gjatë: f_{min} f_{max}	200 1000		4 200	-	4 500	4 200	4 100
ρ (Ωm)	12 30	0,1	2,5 20	-	2,5 90	5,5 25	1,5 5

Tab.4.10. Lëmi i përdorimit të feriteve Mn-Zn në industrinë e vendit.

Përdorimi	Zona e punës së frekuent (Mhz)	Em. i mater. sipas fabrikës	Prodhimi prej feriteve
Bobinat në vleftë modu të Q për qarqe osciluese dhe filtra	deri 0,1 0,3 (0,2-1,6)	M 58 M 42 M 31	Bërthama vargore me kanale
Bobinat në Q të madhe për qarqe osciluese dhe filtra	prej deri 0,2 1,6	M 42	Bërthama të myllura
Transformator me μ constante	deri 0,3	M 56 M 51	bërthama E dhe bërthama vargore
Transformatorët me zonë të gjerë	deri deri 0,3 5	M 51 M 56 M 56	bërthamat vargore bërthamat në formë torusi bërth. vargore dhe bërthamat E

Në karakteristikat e feriteve të Mn-Zn ndikon edhe përpunimi teknologjik. Varësia e permeabilitetit fillestar magnetik nga temperatura e pjekjes, është treguar në Fig. 4.46.

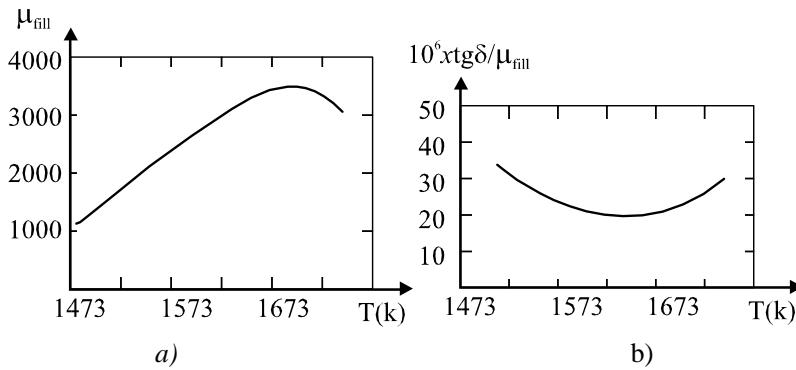


Fig.4.46. a) Varësia e permeabilitetit relativ fillestar magnetik nga temperatura e pjekjes dhe b) varësia e faktorit relativ të humbjeve nga temperatura e pjekjes së feritit Mn-Zn me përbërje 51,8% Fe_2O_3 24% MnO dhe 24% ZnO

Kur faktori relativ i humbjeve është më i vogël përgjatë temperaturës së pjekjes së feritit, atëherë permeabiliteti fillestar magentik është më i madh. Kjo shihet edhe nga Fig. 4.46. Në karakteristikat e feriteve të Mn-Zn ndikon edhe shpejtësia e ftohjes. Ulja e rrëpijshme e temperaturës ndikon shumë në induksionin remanent, të ngopjes, fushën koercitive dhe në permeabilitetin relativ fillestar magnetik. Këto varësi janë treguar në Fig. 4.47.

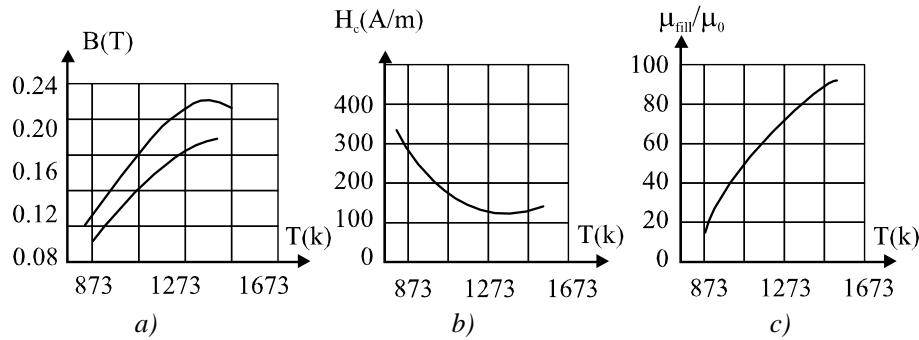


Fig.4.47. Varësitë a) induksionit remanent (2) induksionit të ngopjes (1); b) fushës koercitive dhe c) permeabilitetit relativ fillestar magentik të feritit të Mn-Zn te të cilit i zgjodhet temperatura rrëpinshëm nga temperatura e pjekjes.

Karakteristikat e feriteve të Mn-Zn varen edhe nga temperatura e punës. Kjo varësi është shumë më e theksuar se te feromagnetikët.

Humbjet për shkak të ciklit të histerezës dhe rrymave shtjellore bredhëse të feriteve të buta, varen nga përbërja e tyre dhe kushtet e përfitimit. Me rritjen e temperaturës së pjekjes të feriteve Mn-Zn, shtohen humbjet për shkak të ciklit të histerezës. Këto humbje varen edhe prej madhësisë së grimcave të kristaleve të feriteve. Sa më të mëdha të jenë grimcat në përbërjen e feriteve, do të paraqiten pore, të cilat i rrisin humbjet e histerezës. Në Fig. 4.48 janë treguar varësitë e permeabilititetit relativ fillestare kompleks magnetik nga temperatura te feritet e Mn-Zn.

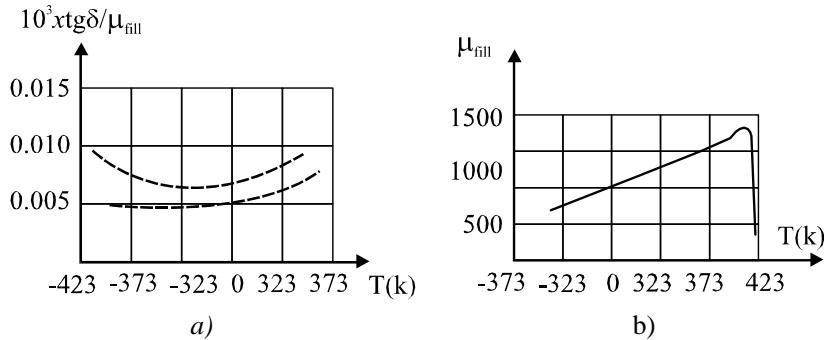


Fig. 4.48. Varësitë: a) e faktorit relativ të humbjeve prej temperaturës të feritetit të Mn-Zn përgjatë $f=20\text{kHz}$ dhe $2-f=100\text{kHz}$ dhe
b) e permeabilititetit magnetik relativ fillestare prej temperaturës.

Feritet e nikel-zinkut

Në krahasin me feritet e Mn-Zn, feritet e Ni-Zn përfitohen shumë më lehtë, sepse veçoritë e tyre shumë më pak varen prej atmosferës gjatë procesit të pjekjes. Zharritura e këtyre feriteve bëhet në ajër pa kurrfarë masash mbrojtëse.

Feritet e Ni-Zn ndahen në katër grupe. Në grupin e parë bëjnë pjesë ato ferite te të cilat permeabiliteti fillestare magnetik sillet rreth 10000. Këto ferite përdoren për frekuencat e larta të MHz-së. Përdorimi i tyre kufizohet me temperaturën e ulët Kiri. Në grupin e dytë bëjnë pjesë feritet e Ni-Zn me permeabilitet fillestare magnetik prej 2000-6000. Këto ferite përdoren për frekuencat e ulëta të kHz-së. Për shkak të sasisë pak më të madhe në feritet e Ni-Zn, këto kanë temperaturë më të lartë Kiri se feritet e grupit të parë. Grupin e tretë te feriteve të Ni-Zn e përbëjnë ato, te të cilat permeabiliteti fillestare magnetik është 1000-2000. Temperatura Kiri e këtyre feriteve është 400°C , ndërsa përdorimi i tyre është i kufizuar në disa

dhjetra MHz. Në grupin e katërt të feriteve të Ni-Zn, te të cilat permeabiliteti fillestar magnetik është 100-500, ndërsa përdoren për frekuencë rreth 200 MHz.

Karakteristikat orientuese për të gjitha grupet e sipërmendura të feriteve, janë dhënë në tabelën 4.11.

Përdorimi i feriteve të nikel-zinkut është i kufizuar me varësinë e disa karakteristikave prej frekuencës. Në Fig. 4.49 është treguar varësia e permeabilitit relativ fillestar magnetik prej frekuencës.

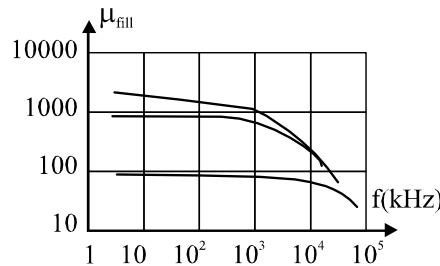


Fig. 4.49. Varësia e permeabilitit relativ fillestar magnetik të feriteve Ni-Zn prej frekuencës.

Siç shihet nga Fig. 4.49 për frekuencë të ulta, permeabiliteti fillestar magnetik nuk varet nga frekuenca, ndërsa për frekuencë të larta, permeabiliteti fillon të bie.

Karakteristikat orientuese të feriteve të prodhimit të jashtëm, janë dhënë në tabelën 4.12.

Karakteristikat e feriteve të Ni-Zn të produara në vend, janë treguar në tabelën 4.13.

Lëmi i përdorimit të feriteve të nikel-zinkut është dhënë në tabelën 4.14.

Varësia e induksionit të ngopjes së feriteve të nikel-zinkut prej sasisë së NiO në material, është treguar në Fig. 4.50.

Tab. 4.11. Karakteristikat orientuese të disa grupeve të feriteve Ni-Zn që prodhohen në botë

Materiali	B_r (T)	H_c (A/m)	T_{cf} (°C)	ρ (Ωm)
Grupi i I	0,06-0,15	13,6-34,5	70-100	$10-10^2$
Grupi i II	0,087-0,25	67-96	120-200	10^3-10^6
Grupi i III	0,14-0,20	49,5-3000	300-400	10^4
Grupi i IV	0,02-0,18	114-1600	-	$10^4-5 \cdot 10^6$

Nga figurat e mëparshme mund të konstatojmë se induksioni i ngopjes së feriteve nikel-zink është më i vogël se te feritet e manga-zinkut. Ndërsa në Fig. 4.51 është paraqitur varësia e fushës koercitive të feriteve nikel-zinku nga përbërja e tyre.

Tab.4.12. Karakteristikat orientuese të feriteve Ni-Zn për bërthama të bobinave dhe transformatorëve. Feritet janë të prodhimit të jashtëm

Emërtimi i fabrikës përmateriale	μ_{fill}	Tcf (°C)	B (T)	H (A/m)	Hc (A/m)	$10^6 \text{ tg}\delta_{\mu_{fill}}$	f (MHz)	ρ (Ωm)
Feroksubi	250	250	0,33	1,6	-	90	1,5	10^3
	125	350	0,28	2,4	-	160	3	10^3
	15	500	0,19	6,4	-	300	20	10^3
Hiperoksi	400	350	0,45	1	160	20-30	0,2	10^3
	150	400	0,43	4	320	80-100	0,5	10^3
	30	600	0,23	1	800	400-600	10	10^4
Kerapermi	300	150	0,29	4	1000	42	1,5	10^3
	150	350	0,375	4	2500	35	5	10^5
	20	300	0,14	4	5600	210	10	10^4
	20	300	-	-	-	175	20	10^4
	7	400	-	-	-	750	100	10^6
Neozidi	250	250	-	-	-	40	1	$1-10$
	140	250	-	-	-	90	5	10^6-10^7
	125	250	-	-	-	120	10	$10-10^2$
	40	-	-	-	-	130	20	-
	25	420	-	-	-	300	40	10^4-10^5
	12	450	-	-	-	500	100	10^5-10^6
	6	450	-	-	-	1200	250	10^6
Siferiti	250	200	0,34	3	150	50	2	10^3
	80	350	0,36	3	500	130	10	10^4
	24	400	0,145	3	1200	600	40	10^5
	10	560	-	-	1500	1700	220	10^5
	9	250	0,11	3	1000	9500	350	10^5
	7,5	500	0,10	3	2000	3000	120	10^5
Fermaliti	800	100	0,35	3	24	50	0,8	10^3
	250	300	0,42	3	100	60	5	10^3
	100	380	0,39	3	320	90	10	10^3
	30	480	0,35	3	480	150	30	10^3
	15	580	0,25	3	1200	300	100	10^3
Ferinoksi	220	360	-	-	-	-	-	-
	70	480	-	-	-	300	30	-
	30	500	-	-	-	500	60	-
	10	600	-	-	-	-	-	-
Stanferiti	15	580	0,23	6,4	2000	930	50	10^4
	30	680	0,27	4,8	1200	260	20	10^4
	100	380	0,35	2,4	400	130	5	10^4

Feritet Ni-Zn që përbëjnë përafërsisht 35% ZnO dhe 15% NiO, kanë vlerë më të vogël të forcës foercitice. Është vërtetuar eksperimentalisht se këto ferite kanë vlerë më të madhe te permeabilitetit fillestar magnetik.

Tab.4.13. Karakteristikat e feriteve Ni-Zn të vendit

Emërtimi i fabrikës së materialeve	N 21	N 22	N 23	N 31	N 32	N 33
μ_{fill}	15+20%	25-20%	80-20%	250+20%	600-20%	500+20%
T_c (°C)	500	400	350	250	125	125
B (T) për H=800 A/m H=1600 A/m H=3000 A/m H=4000 A/m H=5000 A/m	0,175	0,24 0,25	0,35	0,325	0,225	0,270
H_c (A/m)	-	-	5	-	-	-
Diap. i f të punës	f_{min} (MHz) 40	10 10	1 10	0,7 0,5	0,45 1	0,5 2
$10^6 \cdot \text{tg}\delta$ për μ_{fill}	f_{min} 360	300 300	60 95	70 140	65 150	30 70
ρ ($\Omega \cdot \text{m}$)	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}

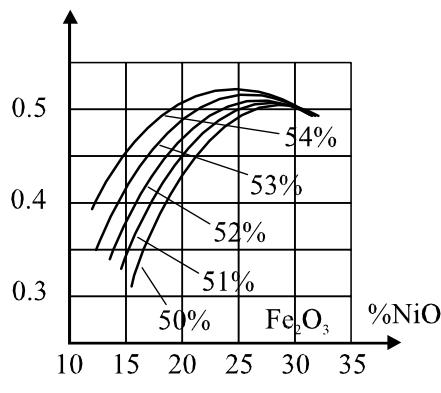


Fig. 4.50. Varësia e induksionit të ngopjes të feritit nikel-zinkut prej sasisë së NiO në temperaturën 20 °C.

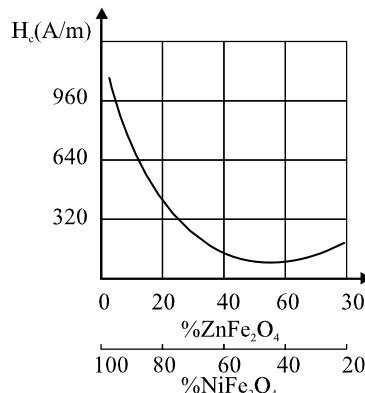


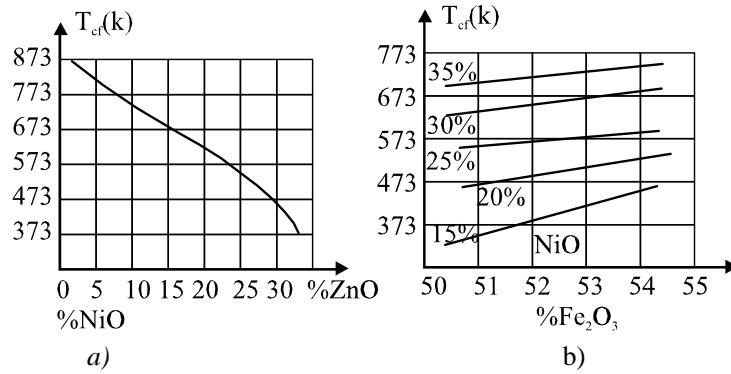
Fig. 4.51. Varësia e fushës koercitive të feriteve Ni-Zn prej përbërjes së tyre

Temperatura Kiri e feriteve Ni-Zn varet prej përbërjes së tyre. Në figurën 4.53 është dhënë kjo varësi.

Me shtimin e ZnO në legurë, ulet temperatura Kiri. Kur përbërja e ZnO është 35%, temperatura Kiri është 100°C. Për ndërtimin e bërthamave të transformatorëve dhe bobinave përdoret feriti me përbërje më të madhe se 35% ZnO, përkatësisht me përbërje më të vogël se 15% NiO.

Tab. 4.14. Lëmi i përdorimit të feriteve Ni-Zn

Përdorimi	Diapazoni i frekuencave të punës	Emërtimi i fabrikës për materiale	Prodhimet prej feriteve
Bobina me Q të madhe për qarqe osciluese dhe filtra	1,5 deri 10	N 23	Bërthama zingjirore me plasje
Bobina në faktor Q të madh për qarqe osciluese dhe filtra	0,2 deri 1,6	N 33 N 32	Bërthama të mbyllura
Bobina në faktor Q të madh për qarqe osciluese dhe filtra	0,2-1,6 0,2-2 6-10 10-220	N 32 N 31 N 22 N 21	Shkopinj feritësh Antena dhe gypa të vegjël Bërthama mbështjellës
Transformator në diapazon të gjicë	deri 250 deri 400	N 21 N 31 N 23	Gypa të hollë feritesh Bërthama në dy dalje Bërthama zingjirore
Transformator të fuqisë	deri 0,1	N 32	Shkopi feritësh
Bërthama për bobina harkuese	deri 500	N 31	Shkopi feritësh dhe gypash

**Fig. 4.52. Varësia e temperaturës Kiri nga përbërja e feriteve Ni-Zn.**

Permeabiliteti relativ fillestar magnetik i feriteve Ni-Zn mjaft varet prej përbërjes së tyre. Kjo varësi është treguar në Fig. 4.53. Nga lakoret e mëparme, mund të konstatohet se sasia e ZnO dhe e NiO në vlerën e temperaturës Kiri dhe permeabilititetit fillestar magentik është me ndikim të kundërt. Që të eliminohet ky ndikim, në praktikë, shpeshherë feriteve Ni-Zn i shtohen shtesa të ndryshme, si litumi etj.

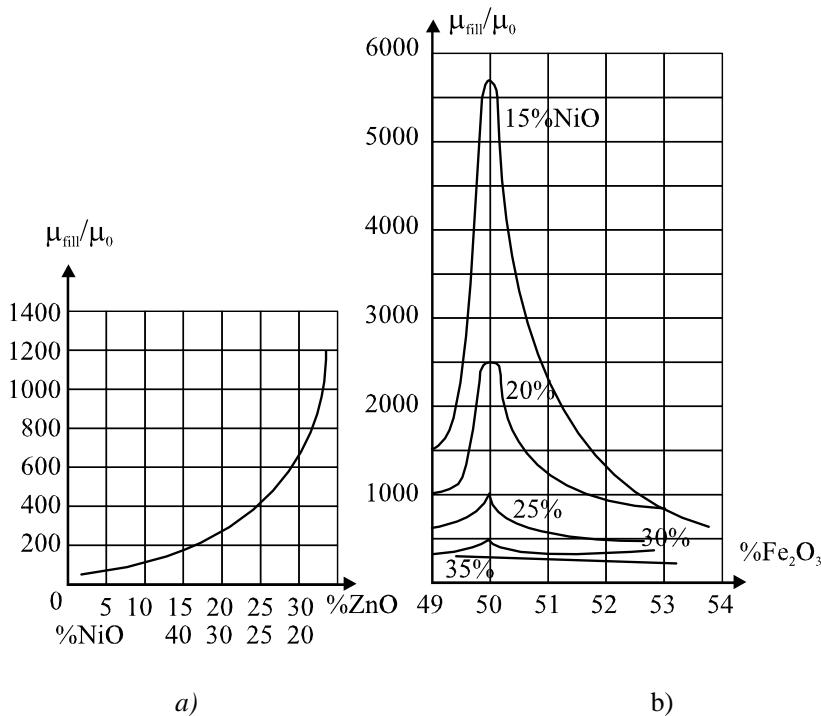


Fig. 4.53. Varësia e permeabilitetit relativ fillestar magnetik e feriteve të Ni-Zn nga përbërja e tyre.

Në vlerën e permeabilitetit fillestar mund të ndikojnë edhe temperatura e pjekjes dhe kohëzgjatja e saj. Kjo vlerë mund të ndryshojë edhe nën veprimin e temperaturës së punës. Që të pengohet ky ndikim termik, një pjesë e Fe_2O_3 zëvendësohet me Al_2O_3 . Kjo i shtohet vetëm në rastet kur dëshohet që permeabiliteti fillestar magnetik të mos varet nga temperatura, sepse me rastin e shtimit të Al_2O_3 , lëgurës i zgjohet vlera e induksionit të ngopjes, temperatura Kiri, permeabiliteti fillestar, ndërsa i rritet faktori relativ i humbjeve ($\text{tg}\delta/\mu_{\text{fill}}$).

Varësia e permeabilitetit fillestar magnetik nga temperatura, është me theksuar te feritet: Ni-Zn se sa te Mn-Zn.

Humbjet për shkak të ciklit të histerezës te feritet e nikel-zinkut varen prej sasisë së NiO dhe ZnO. Këto humbje janë më të vogla kur feriti përbëhet prej 35% ZnO, 15%NiO dhe 50% Fe_2O_3 . Këto humbje varen edhe nga temperatura e pjekjes dhe kohëzgjatjes së saj. Pikërisht për këtë, koha e pjekjes duhet të jetë sa më e shkurtër, kurse temperatura e pjekjes sa më e ulët. Një nga mënyrat për zgogrimin e

humbjeve, është edhe ajo kur legurës i shtohet një sasi e caktuar e oksidit të kobaltit.

Humbjet për shkak të rrymave shtjelllore-bredhëse varen mjaft prej kushteve të prodhimit. Këto humbje rriten krahas rritjes së temperaturës të pjekjes dhe kohëzgjatjes së saj. Edhe për këtë shkak feritet piqen në temperaturë të ulët.

4.17. MATERIALET E FORTA MONOLITE MAGNETIKE

Materialet e forta monolite, të cilat përdoren përfitimin e magneteve permanente, ndahen në dy grupe:

1. në legurat e çelikut që përbajnë shumë karbon,
2. në legurat e çelikut që përbëjnë pak karbon.

Vlen përkufizimi, se të gjitha komponentet që përdoren për legurim, me qëllim të rritjes së fortësisë mekanike, materialet i bëjnë të forta edhe në pikëpamje magnetike. Efekte të njëjtë arrihen edhe me përpunim termik, sepse kalitja e çelikut e rrit forcën koercitive të légurës. Vlen të përmendet, se përpunimi termik i bërë nën ndikimin e fushës së jashtme magnetike i përmirson edhe veçoritë tjera magnetike.

Në grupin e legurave të çelikut, me përbërje të madhe të karbonit, bëjnë pjesë: çeliku i karbonizuar dhe çeliku me lidhje metalike me: krom, kobalt, volfram dhe molibden. Sasia e karbonit në çelik është 0,8-1,5%. Për këto materiale është karakteristike vlera e lartë e induksionit të ngopjes (1,3T), dhe vlera e vogël e forcës koercitive e cila varet nga sasia e karbonit në légurë. Kjo varësi është ilustruar në Fig. 4.54.

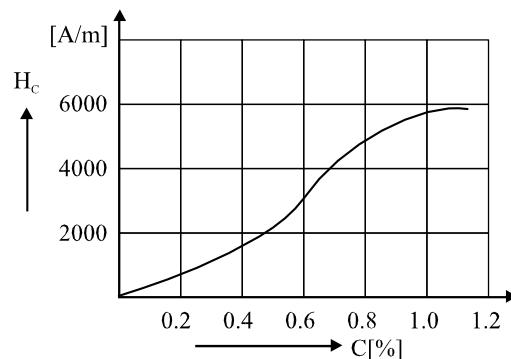


Fig.4.54. Varësia e fushës koercitive nga sasia e karbonit në legurën e çelikut të karbonizuar.

Mundësia e përfitimit të materialeve magnetike të forta bashkëkohore, gati e ka hequr nga përdorimi çelikun e karbonizuar.

Legurimi i çelikut të karbonizuar me kobalt, molibden, volfran dhe krom, ka si rrjedhim përfitimin e materialeve më të mira magnetike. Sasia e materialeve tjera në legurën e çelikut është e caktuar, në mënyrë që të arrihen efekte të dëshiruara. Kalitja e këtyre legurave, zakonisht bëhet në vaj dhe ujë, në varësinë secili element merr pjesë në farkim. P.sh., farkimi i çelikut me volfram bëhet në ujë, ndërsa ai i çelikut me krom dhe kobalt bëhet në vaj.

Edhe përkundër faktit se te këto legura nuk arrihen vlera të mëdha të madhësive magnetike, këto materiale përdoren në ato vende ku nuk kërkohen kushte speciale të punës. Vlen të përmendet se çmimi i ulët i këtyre materialeve ka mundësuar përdorim të gjerë të tyre në mbarimin e magneteve të përhershëm.

Te legurat, ku sasia e karbonit është 0,03% C, pjesëmarrja e materialeve tjera në legurë, përpos hekurit, është më e madhe se në grupin e parë të materialeve të forta magnetike monolite metalike. Përpunimi adekuat termik, mundëson që nga ky grup të përfitohen materiale shumë të mira magnetike. Temperatura e përpunimit është 1200°C. Kjo vlerë e temperaturës në procesin e ftohjes bie rrëpinshëm në vlerën 600°C dhe mandej, shkallë-shkallë zvoglohet vlera e saj deri në temperaturën e ambientit. Rezultate më të mira arrihen kur rënja e shpejtë e temperaturës bëhet nën ndikimin e fushës së jashtme magnetike (fushës së fortë njëkahore magnetike). Në këto kushte, materiali i përfituar ka natyrë anizotrope. Njëra nga legurat e para të këtij grapi materialesh është legura e aluminit dhe nikelic, e njojur me emrin ALNIKO. Efekte më të mira magnetike në këtë legurë arrihen, nëse i shtohet sasi e vogël kobalti, me ç'rast përfitohet legura ALNIKO. Sasia e kobaltit në këtë legurë është rreth (5-35)% Co. Me shtimin e kobaltit, legurës i rritet vlera e fushës koercitive që mund të marrë vlera deri në 100 (kA/m), ndërsa induksioni magnetik remanent është 1.4T. Ndikimi i përpunimit termik në veçoritë e legurës ALNIKO është treguar në Fig. 4.55. Këto legura kanë vlerë më të madhe të prodhimit energetik, i cili arrin rreth 55kJm⁻³.

Veçoritë themelore të disa materialeve magentike, me përbërje të vogël karboni janë dhënë në tab. 4.15.

Tab. 4.15. Veçoritë themelore të materialeve me përbërje karboni

Materialet	(B · H) _{max} (kJ/m ⁻³)	B _r (T)	H _c (kAm ⁻¹)
çeliku i karbonizuar me (1.0-1.2)% C	3320-3840	0.80-0.86	3.8-4.8
ALNIKO	11900	0.64	56
CUNIKO me 45%Cu, 25%Ni, 30%Co	6700	0.34	56

Në disa raste, përpunimi i këtyre materialeve paraqet vështërsi të madhe. Pikërisht për këtë shkak, janë përfituar materiale magnetike e që kanë veçori të mira magnetike dhe përpunojen leht. Te këto legura, sasia e bakrit, i cili i zbutë, është në kufi rreth 50%, ndërsa pjesa tjetër është nikel, hekur, kobalt dhe materiale

tjera që janë pjesë përbërëse e legurës. Përfaqësuesit e njohur të këtyre legurave janë: magnetofleksi, vikaljoj, koercili dhe kunate.

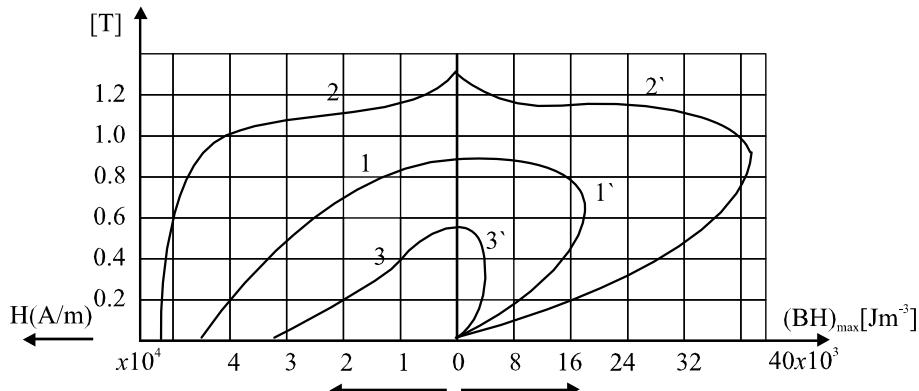


Fig. 4.55. Varësia e veçorive magnetike të legurës ALNIKO (8,5%Al, 14%Ni, 23%Co, 3%Cu, 51,5%Fe) nga përpunimi termik.

4.18. MATERIALET E FORTA MAGENTIKE TË PËRFITUARA NGA PLUHURI I METALEVE

Përpunimet e ndryshme teknologjike dhe termike ndikojnë në masë të madhe për përmirësimin e veçorive magnetike dhe mekanike të materialeve magnetike. Materialet e forta magnetike në formë të pluhurit, gjithashtu kanë dhënë rezultate të mira. Është në interes të kualitetit të materialeve që grimcat e metaleve të jenë sa më të vogla, $>1\mu\text{m}$. Materialet magnetike, të përfituara prej pluhurit, grimcat e të cilit janë shumë të imta, kanë vlerë të madhe të fushës koercitive. Metalet e pastërtë përdoren si lëndë e parë për përfitimin e tyre. Mirëpo, mund të përdoren edhe legurat e metaleve përkatëse (Fe, Co, Fe, Mn, Bi, etj.), të cilat kanë veçori të mira magentike. Në shumicën e rasteve, përzierja e metaleve bëhet pa elemente lidhëse.

Përdorimi i sinterizimit për përfitimin e materialeve magnetike, mundëson përpunim më të lehtë dhe preciz, duke shpenzuar shumë pak material. në këtë mënyrë, iu shmangemi paraqitjes së zbratzësive të brendshme, që paraqiten me rastin e përfitimit të materialit me derdhje. për të krahasuar materialet për zgjedhje më të mirë. Në tab. 4.16. janë dhënë madhësitë e tyre themelore.

Tab. 4.16. Veçoritë themelore magnetike të disa materialeve të përfituar prej pluhurit të metaleve

Materialet	Përbërja	Dendësia (kgm ⁻³)	B·H (kJm ³)	Br _{max} (T)	H _c (kAm ⁻¹)
Pluhuri prej Fe të pastër	100% Fe	4300	7,25-9,2	0,54-0,75	27-44,5
Pluhuri prej legurës së Fe dhe Co	70% Fe 30% Co	4400	11,1	0,62	50
MnBi-4	Mn, Bi	-	11,6	0,316	90
MnBi-7	Mn, Bi	-	15,5	0,340	162,0
Bizmanol	Mn, Bi	-	27,8	0,42	278,0

4.19. MATERIALET E FORTA FERIMAGNETIKE

Feritet e forta përdoren për përfitimin e magentëve permanentë. Prej të gjitha llojeve të feriteve të forta, përdorim më të madh kanë feritet e bariumit dhe kobaltit. Pikërisht për këtë do të bëhet fjalë vetëm për këto lloje feritesh të forta.

a) VEÇORITË E FERITIT TË BARIUMIT

Teknologjia e përfitimit të feritit të bariumit është e ngjashme me të feriteve të buta. Ndryshimi është se te këto ferite, pas bluarjes së dytë kur masa është e terur, bëhet edhe një bluarje e masës në gjendje të lëngët, dhe mandej, masa e sedimentuar presohet nën ndikimin e fushës magnetike të intensitetit të caktuar. Gjatë procesit të presimit, mostra demagnetizohet, duke e vendosur nën veprimin e fushës magnetike me kahje të kundërt në krahasim me rastin e magnetizimit. Për përfitimin e feriteve të bariumit ka edhe metoda tjera si p.sh., presimi i masës së thatë nën ndikimin e shtypjes së madhe pa shtimin e plastifikatorit organik.

Feritet e bariumit kanë veçori izotrope ose anizotrope. Kjo varet nga kushtet teknologjike të përfitimit.

Në tabelën 4.17 janë treguar disa karakteristika të feriteve të bariumit të prodhimit të jashtëm.

Duke shtypur materialin në fushë magentike, arrihet vlerë dyfish më e madhe e induksionit remanent e feritit të bariumit. Ferite me vlerë të madhe të induksionit remanent mund të përfitohen, duke përdorë mënyra speciale teknologjike për përfitimin e tyre. Gjithashtu, me këto metoda, përfitohen ferite me vlerë të madhe të forcës koercitive.

Tab. 4.17. Karakteristikat e magneteve, të prodhimit të jashtëm, të feriteve të bariumit

Karakteristikat	Materiali me veçori izotrope	Materiali me veçori anizotrope
B_r (T)	0,2-0,22	0,38-0,40
H_c (kA/m)	110-120	110-115
$(B H)_{max}$ (kJ/m ³)	7-8	23-30
T_{cf} (0°C)	45	450
$\alpha B_r 10^{-3}$, (°C ⁻¹)	-2	-2
$\alpha H_c 10^{-3}$, (°C ⁻¹)	+3	+3

Në Fig. 4.56. është treguar lakinja e demagnetizimit të feritit të bariumit.

Në tabelën 4.18 janë dhënë karakteristikat e feriteve të bariumit të prodhimit të vendit. Në tabelën 4.19 është dhënë lëmi i përdorimit të feriteve të bariumit, ndërsa karakteristikat e tyre në tabelën 4.18.

Feritet e bariumit e kanë forcën koercitive më të madhe, ndërsa induksioni remanent i tyre është më i vogël, në krahasim me materialet e fortë feromagnetike të përfituar me derdhje.

Për shkak të vlerës së madhe të forcës koercitive të feriteve të bariumit, magnetet e përfituar nga këto ferite, nuk i ndryshojnë karakteristikat e tyre me rastin e veprimit të fushave të jashtme magnetike, rënjeve, tundjeve etj.

Rezistenca specifike elektriqe e feriteve të bariumit është 10^6 herë më e madhe se te materialet e fortë feromagnetike. Për këtë, feritet e bariumit mund të përdoren edhe kur magnetet i nënshtrohen veprimit të fushave të ndryshueshme.

Magnetet e përfituar nga feritet e bariumit janë më të lirë se magnetet prej materialeve të fortë feromagnetike. Këtë çmim të lirë të feriteve të bariumit e mundëson procesi më i thjesht teknologjik dhe çmimi më i lirë i xeheve nga të cilat përfitohen këto ferite.

E metë kryesore e feriteve të bariumit janë veçoritë e këqija mekanike. Feritet e bariumit janë shumë të ngurtë dhe të thyeshëm. Për këtë shkak, këto materiale mund të përpunohen vetëm me shpime. Për përmirësimin e veçorive mekanike feriteve të bariumit u shtohen masa plastike ose kauçuku. Këto ferite quhen “feroellastët”. Magnetët e përfituar prej feroellastëve, përpunohen fare leht dhe përdoren për ndërtimin e bravave të ftohësve të ndryshëm.

Karakteristikat e feriteve të bariumit varen mjaft nga temperatura. Kështu p.sh., koeficienti termik i induksionit remanent është rreth dhjetë herë më i madh se te materialet feromagnetike, të përfituar me procesin e derdhjes.

Koeficienti i bymimit linear i magneteve nga feritet e bariumit është përafersisht dy herë më i vogël në krahasim me magnetët e përfituar prej materialeve të fortë feromagnetike.

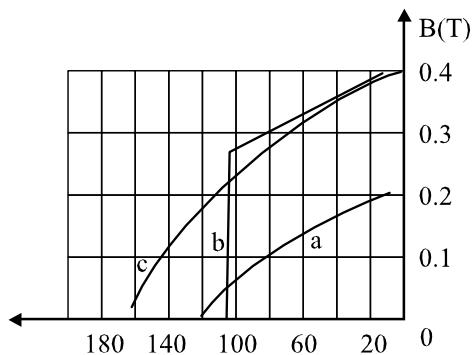


Fig. 4.56. Lakorja e demagnetizimit të feritit të barijumit

- a) feritet me veti anizotrope
- b) feritet me induksion remanent dhe
- c) feritet me veti anizotrope me forcë komutive të rritur

Për të përmirësuar karakteristikat e feriteve të bariumit, atyre iu shtohet: SiO_2 , Bi_2O_3 ose NaBiO_3 .

b) VEÇORITË E FERITEVE TË KOBALTIT

Në kahasim me karakteristikat e feriteve të bariumit përnga temperatura, feritet e kobaltit janë magnete me karakteristika më stabile.

Përfitimi i feriteve të kobaltit është i ngjashëm si te feritet e bariumit. Ndryshimi qëndron vetëm në përpunimin termik. Përpunimi termik i feriteve të kobaltit bëhet në praninë e fushës magnetike. Magneti i përfituar nga feritet e kobaltit nxehet deri në temperaturën $300\text{-}350^\circ\text{C}$ pér një ose dy orë, dhe mandej ftohet në fushë magnetike me intensitet 240KA/m pér kohën prej dy orësh.

Të metat kryesore të feriteve të kobaltit, në kahasim me feritet e bariumit, janë çmimi relativisht i lartë, i kushtëzuar me procesin më të komplikuar të përfitimit të feriteve dhe mungesa e lëndës së parë, nga e cila përfitohet feriti i kobaltit.

Tab.4.18. Karakteristikat e feriteve të bariumit.

Shenja e fabrik. për mate. karak.	BP1	BP2	BP1	BP1	BP2
B_r (T)	0,115-0,135	0,135-0,155	0,2-0,22	0,35-0,37	0,34-0,35
H_c (kA/m)	8,4-9,2	9,2-10	12-14,4	15,9-20	22,4-23,3
$(BH)_{max}$ (kJ/m ³)	2,4-3,2	3,2-4	6,4-8	24-25,6	20,8-22,4
$ H $ për pikën e punës (kA/m)	4,4-4	4,4-5,52	8	13,6	12
B për pikën e punës (T)	0,07-0,08	0,08	0,1	0,19	0,175
T_{cf} (°C)	-	450	450	450	450
$\alpha_{br} 10^{-3}$ (1/°C)	- 2	- 2	- 2	- 2	- 2
ρ (Ωm)	10^2	10^2	10^6	10^{10}	10^{10}

Tab. 4.19. Lëmi i përdorimit të feriteve të bariumit.

Lëmi i përdorimit	Emërtimi i fabrikës për mater.	Prodhimet e feriteve	Veçoritë e veçanta të feriteve
Për frigorifer	BP1	Shiriti magnetik	Vlerë e vogël e B_r dhe H_c
Për koreksion linear në televizion	BP2 BP1	Magnetet korektues shkopish pllakash	Vlerë mesatare e B_r dhe H_c
Për sistem mbyllës në televizion	BI1	Magnetet thupror	Vlera mesat. e B_r dhe H_c
Dëgjesja	BI1	Magnetet unazor	Vlera mesat. e B_r dhe H_c
Dorëza	BI1		Vlera mesat. e B_r dhe H_c
Motor	BA2 BI1	Magnetet segmen. Magnetet për rotor dhe stator	Vlerë shumë të madhe të B_r dhe të H_c Vlera mesatare e B_r dhe fushës koercitive H_c
Autoparllant	BA1	Magnetet torus	Vlerë shumë të madhe të B_r dhe fushës koercitive H_c

c) ÇELIQET JOMAGNETIKE

Në disa raste kërkohet që çeliku të mos magentizohet (materiale jomagnetike). Çeliqet jomagnetik përdoren në rastet:

- kur të bëhet mbyllja e qarkut magnetik përreth pjesëve feromagnetike,
- kur intensiteti i madh i fushës magnetike do të shkaktonte rritjen e temperaturës së materialit duke i rritur humbjet dhe
- kur duam të mos ndikojmë në fushën magnetike të tokës.

Tab. 4.20. Veçoritë magnetike dhe bashkdyzimet kimike të disa lëgurave të Fe

Materialet magnetike	Bashkëdyzimet kimike	Induksioni remanent Br , G, nominal*	Forca koercitive Hc , Oe, nominale*	Prodhimi energjetik $(BH)_{max}$, MG Oe, nominal*
3 ½ %Cr steel	3.5 Cr, 1 C, bal. Fe	10,300	60	0.3
3% Co steel	3.25 Co, 4 Cr, 1 C, bal. Fe	9700	80	0.38
17 % Co steel	18.5 Co, 3.75 Cr, 5 W, .75 C, bal. Fe	10,700	160	0.69
36 % Co steel	38 Co, 3.8 Cr, 5 W, .75 C, bal. Fe	10,400	230	0.98
<hr/>				
Alnico 1	12 Al, 21 Ni, 5 Co, 3 Cu, bal. Fe	7200	470	1.4
Alnico 2	10 Al, 19 Ni, 13 Co, 3 Cu, bal. Fe	7500	560	1.7
Alnico 3	12 Al, 25 Ni, 3 Cu, bal. Fe	7000	480	1.35
Alnico 4	12 Al, 27 Ni, 5 Co, bal. Fe	5600	720	1.35
† Alnico 5	8 Al, 14 Ni, 24 Co, 3 Cu, bal. Fe	12,800	640	5.5
† Alnico 5 DG	8 Al, 14 Ni, 24 Co, 3 Cu, bal. Fe	13,300	670	6.5
† Alnico 5 Col.	8 Al, 14 Ni, 24 Co, 3 Cu, bal. Fe	13,500	740	7.55
† Alnico 6	8 Al, 16 Ni, 24 Co, 3 Cu, 1 Ti, bal. Fe	10,500	780	3.9
† Alnico 8	7 Al, 15 Ni, 35 Co, 4 Cu, 5 Ti, bal. Fe	8200	1650	5.3
† Alnico 8 HC	8 Al, 14 Ni, 38 Co, 3 Cu, 8 Ti, bal. Fe	7200	1900	5.0
† Alnico 9	7 Al, 15 Ni, 35 Co, 4 Cu, 5 Ti, bal. Fe	10,500	1500	9.0
<hr/>				
Ceramic 1	MO·6 Fe ₂ O ₃	2300	1860/3250ç	1.05
† Ceramic 2	MO·6 Fe ₂ O ₃	2900	2400/3000ç	1.8
† Ceramic 3	MO·6 Fe ₂ O ₃	3300	2200/2400ç	2.6
† Ceramic 4	MO·6 Fe ₂ O ₃	2500	2300/3800ç	1.45
† Ceramic 5	MO·6 Fe ₂ O ₃	3800	2400ç	3.4
† Ceramic 6	MO·6 Fe ₂ O ₃	3200	2820/3300ç	2.45
† Ceramic 7	MO·6 Fe ₂ O ₃	3400	3250/4000ç	2.75
† Ceramic 8	MO·6 Fe ₂ O ₃	3850	2950/3050ç	3.5

* Vlera të nxjerrura nga disa cikle të histerezës.

† Anisotropik.

ç Intensiteti i forcës koercitive, Hci .

Është karakteristikë e këtyre materialeve se kanë një numër të madh elementesh në sasi të konsiderueshme. Për këtë asnjë, si legura jomagnetike mund të merren këto legura të hekurit:

- legura me 10-14%Mn, e cila me deformime plastike mund të shndërrohet në material feromagnetik,
- legura me 25-28%Ni (për temperaturat -50 deri në +250°C),
- legura me 10%Ni dhe 7,5%Cr ose 12%Ni dhe 12%Cr, dhe
- legura me më shumë se 80%Cr ose legurat e Ni me 6%Cr.

Legurimi i hekurit me nikel, krom, etj. e bën këtë mekanikisht të fortë dhe më të përshtatshëm për përdorim, sepse në disa vende kërkohet që materiali jomagnetik të durojë sforcime relativisht të mëdha. Si material jomagnetik mund të përdoren edhe legurat që kanë sasi të konsiderueshme të bakrit dhe aluminut. Materialet më të rëndësishme jomagnetike, çelikët jomagnetik janë: nomagi, everduri, allgheny 88, çeliku i manganit etj., të cilët kanë përqindje të caktuar të Ni, Fe, Cu, Al, Cr, Mn, C etj.

Në tabelën 4.20. janë dhënë disa veçori magnetike dhe bashkdyzimet kimike për disa lëgura të hekurit, përdorimi i të cilave ka mundësuar realizimin e qarqeve magnetike në teknikën e tensioneve të larta dhe frekuencave të larta.

4.20. PËRCAKTIMI EKSPERIMENTAL I HUMBJEVE MAGNETIKE ME NDIHMËN E PEROTESTERIT

Nëse mostra e materialit feromagnetik vendoset në fushë magnetike, që rritet gradualisht, materiali do të magnetizohet. Në ekranin e ferotesterit, i cili përbëhet prej disa qarqeve integruese dhe amplifikuese (shih Fig. 4.57), paraqitet lakorja e ciklit të histerezës.

Humbjet për shkak të ciklit të histerezës janë proporcionale me sipërfaqen e ciklit të histerezës. Humbjet e energjisë për njësi të vëllimit të ciklit të histerezës janë të barabarta me:

$$G_{h1} = \frac{W_h}{V} \quad (4.63)$$

ndërsa humbjet e fuqisë për njësi të vëllimit, që paraqiten për një cikël të caktuar të histerezës, bën të llogariten me shprehjen:

$$P_{hv} = f G_{h1} \quad (4.64)$$

Këto humbje shpeshherë jipen për njësi të peshës ose llogariten si prodhim i koeficientit të Shtajnecit η , frekuencës dhe induksionit magentik maksimal B_m :

$$P_{ng} = \frac{f G_{h1}}{\gamma} = f \eta B_m^2 \quad (4.65)$$

Ekrani i ferotesterit, në të cilin paraqitet cikli i histerezës, gjërësia e të cilët varet prej llojit të materialit magnetik, ka një letër milimetrike. Për çdo centimetër të ordinatës i përgjigjet induksioni magnetik prej 0,6T, ndërsa në apçisë i përgjigjet vlera e fushës 2000A/m, kështu humbjet e energjisë për njësi vëllimore do të janë:

$$G_{h1} [\text{J/m}] = S[\text{cm}^2] 0,6[\text{T}] 2000[\text{A/m}] \quad (4.66)$$

Për llogaritjen e koeficientit të Shtajnecit, përdoren vlerat e humbjeve të fuqisë në njësi të peshës, kur induksioni max magnetik ka vlerën $B_m=1\text{T}$.

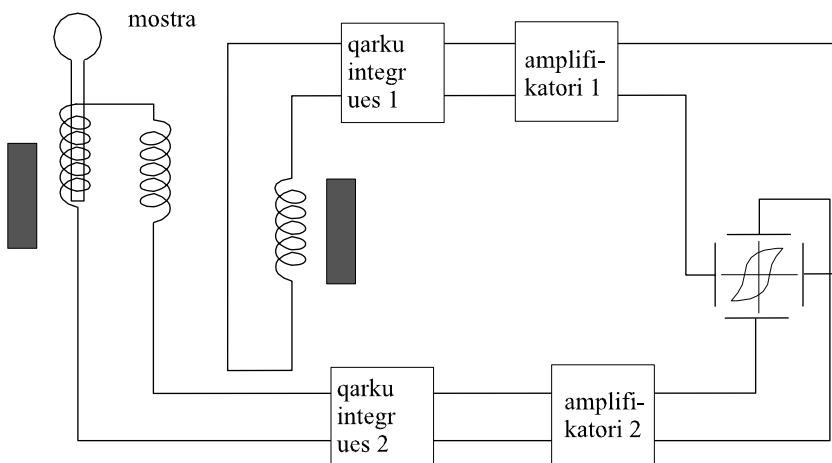


Fig.4.57. Skema principiele e ferotesterit

Kështu për materiale të ndryshme magnetike mund të llogariten humbjet e energjisë, kur sipërfaqja e ciklit të histerezës paraqet pikërisht vlerën e këtyre humbjeve.

Kështu, për materiale të ndryshme magnetike ka mundësi të llogariten humbjet e energjisë, ku sipërfaqja e ciklit përkatës të histerezës paraqet pikërisht vlerën e këtyre humbjeve.