

# 0 Opracowanie cz 1 z 2

## Zagadnienia

### Love kiss

1. Przewodnictwo elektryczne przewodników, półprzewodników i dielektryków. Wyjaśnić charakter przewodnictwa elektrycznego w dielektrykach.
2. Udowodnić, że rezystywność jest stałą materiałową.
3. Rezystancja skrośna, rezystancja powierzchniowa, rezystywność skrośna, rezystywność powierzchniowa. Definicje, jednostki, metody pomiarów.
4. Porównać i przedyskutować pomiar rezystancji skrośnej i powierzchniowej w układach dwu- i trójelektrodowym. Rola pierścienia ochronnego w badaniach rezystancji.
5. Przedstawić i objaśnić zależność prądu płynącego przez dielektryk od czasu.
6. Wpływ czynników zewnętrznych na wyniki pomiarów rezystancji.
7. Przenikalność elektryczna względna: definicja. Istota pomiaru pojemności kondensatora z dielektrykiem w układzie 2-elektrodowym i 3-elektrodowym. Przeanalizować wpływ konfiguracji elektrod na pomiar pojemności.
8. Mechanizmy polaryzacji dielektryków. Przedstawić zależność przenikalności elektrycznej względnej od częstotliwości i temperatury. Uzasadnić przebiegi charakterystyk.
9. Układy zastępcze dielektryku stratnego. Wyprowadzić zależność na  $tg(\delta)$ . Charakterystyki  $tg(\delta) = f(freq)$ .
10. Straty energii w dielektryku. Rodzaje strat, zależność od częstotliwości i temperatury. Straty w dielektrykach polarnych i niepolarnych. Straty w dielektrykach rzeczywistych.
11. Wpływ sposobu nakładania elektrod na pomiar pojemności. Przedstaw zasadę pomiaru C i  $tg(\delta)$  metodą mostkową.
12. Wytrzymałość elektryczna. Wpływ czynników zewnętrznych. Sześćciofluorek siarki, właściwości, zastosowania.
13. Co to jest elektret, metody wytwarzania, charakterystyczne parametry, zastosowania.
14. Właściwości magnetyczne ciał stałych. Krzywa magnesowania, przedstawić graficznie charakterystyczne punkty. Materiały magnetycznie miękkie i twarde, porównać. Przykłady.
15. Zjawisko Halla. Podać warunki jakie należy spełnić, aby to zjawisko wystąpiło. Jakie parametry materiałowe można wyznaczyć znając stałą Halla?
16. Właściwości mechaniczne ciał stałych i analiza cieplna materiałów.

## Opracowanie

### Love kiss

#### **Przewodnictwo elektryczne przewodników, półprzewodników i dielektryków. Wyjaśnić charakter przewodnictwa elektrycznego w dielektrykach.**

Przewodnictwo elektryczne- ruch ładunków elektrycznych w materiale pod wpływem pola elektrycznego.

Nośniki ładunku są w stałym losowym ruchu. Po wprowadzeniu materiału w pole elektryczne, ruch staje się uporządkowany i rozpoczyna się przepływ prądu - prądu przewodnictwa, w dielektrykach zwanym prądem upływu (skrośnym lub powierzchniowym).

W przewodnikach nośnikami ładunku są uwolnione od jąder elektrony w paśmie przewodnictwa.

W półprzewodnikach i dielektrykach pomiędzy pasmem walencyjnym a pasmem przewodnictwa występuje istotna przerwa wzbroniona. Energia elektronów, potrzebna do przejścia elektronu do pasma przewodnictwa zależy od temperatury. W temperaturze pokojowej nie może występować przewodnictwo elektronowe w półprzewodnikach i dielektrykach.

W dielektryku w zasadzie nie ma swobodnych elektronów. Przewodzenie jest więc zawsze związane z ruchem jonów - **charakter przewodnictwa jest jonowy**. Przewodnictwo jest zależne od:

- liczby jonów w jednostce objętości

- ich ruchliwość
- struktury materiału

wielkości te z kolei są zależne od warunków zewnętrznych:

- natężenie pola elektrycznego
- czynników dysocjujących
- czasu działania pola elektrycznego
- liczby i rodzaju zanieczyszczeń

Ogólnie możemy powiedzieć, że przewodnictwo rzeczywistych izolatorów wiąże się z przewodnictwem typu jonowego, zawartością zanieczyszczeń oraz z nieregularnościami struktury krystalicznej.

## Udowodnić, że rezystywność jest stałą materiałową.

Współczynniki materiałowe - liczby charakteryzujące materiał niezależnie od wielkości i kształtu próbki. Rezystywność jest właściwością odniesioną do jednostkowych wymiarów materiału więc nie zależy od jego wielkości.

Bardziej en.funky dowód:

Rezystywność, z racji bycia odwrotnością konduktywności, zależy wyłącznie od koncentracji nośników ładunków, wartości ładunków oraz ruchliwości nośników. Wszystkie te wartości nie zależą od wielkości czy kształtu próbki, a więc odwrotność ich iloczynu również od nich nie zależy.  $\rho = \frac{1}{\sum n_i q_i u_i}$ . Zaniedbano obecność prądu polaryzacyjnego.

## Rezystancja skrośna, rezystancja powierzchniowa, rezystywność skrośna, rezystywność powierzchniowa. Definicje, jednostki, metody pomiarów.

- Rezystancja skrośna -  $R_v$  - stosunek napięcia stałego doprowadzonego do próbki za pomocą elektrod do ustalonej wartości natężenia prądu płynącego między elektrodami na wskroś próbki bez uwzględnienia prądów powierzchniowych. Wyrażana jest w Omach  $[\Omega]$
- Rezystancja powierzchniowa -  $R_s$  - stosunek napięcia stałego doprowadzonego do próbki za pomocą elektrod do natężenia prądu płynącego między elektrodami na powierzchni próbki bez uwzględnienia prądów skrośnych. Wyrażana jest w Omach  $[\Omega]$
- Rezystywność skrośna -  $\rho_v$  - [brzydka definicja] rezystancja skrośna odniesiona do wymiarów jednostkowych; [ładna definicja] stosunek natężenia stałego pola elektrycznego do gęstości ustalonego prądu płynącego między elektrodami na wskroś próbki bez uwzględnienia gęstości prądów powierzchniowych. Wyrażana jest w omach razy metr  $\frac{V/m}{A/m^2} = \Omega m$
- Rezystywność powierzchniowa -  $\rho_s$  - [brzydka definicja] rezystancja powierzchniowa odniesiona do wymiarów jednostkowych; [ładna definicja] iloraz natężenia stałego pola elektrycznego i gęstości liniowego prądu w wierzchniej warstwie materiału,  $\rho_s = \frac{\rho_v}{d}, \rho_s = R_s \cdot \frac{b}{l}$ , gdzie  $l$  - długość,  $b$  - szerokość przewodnika,  $d$  - grubość warstwy powierzchniowej. Wyrażana jest w Omach  $[\Omega]$ .

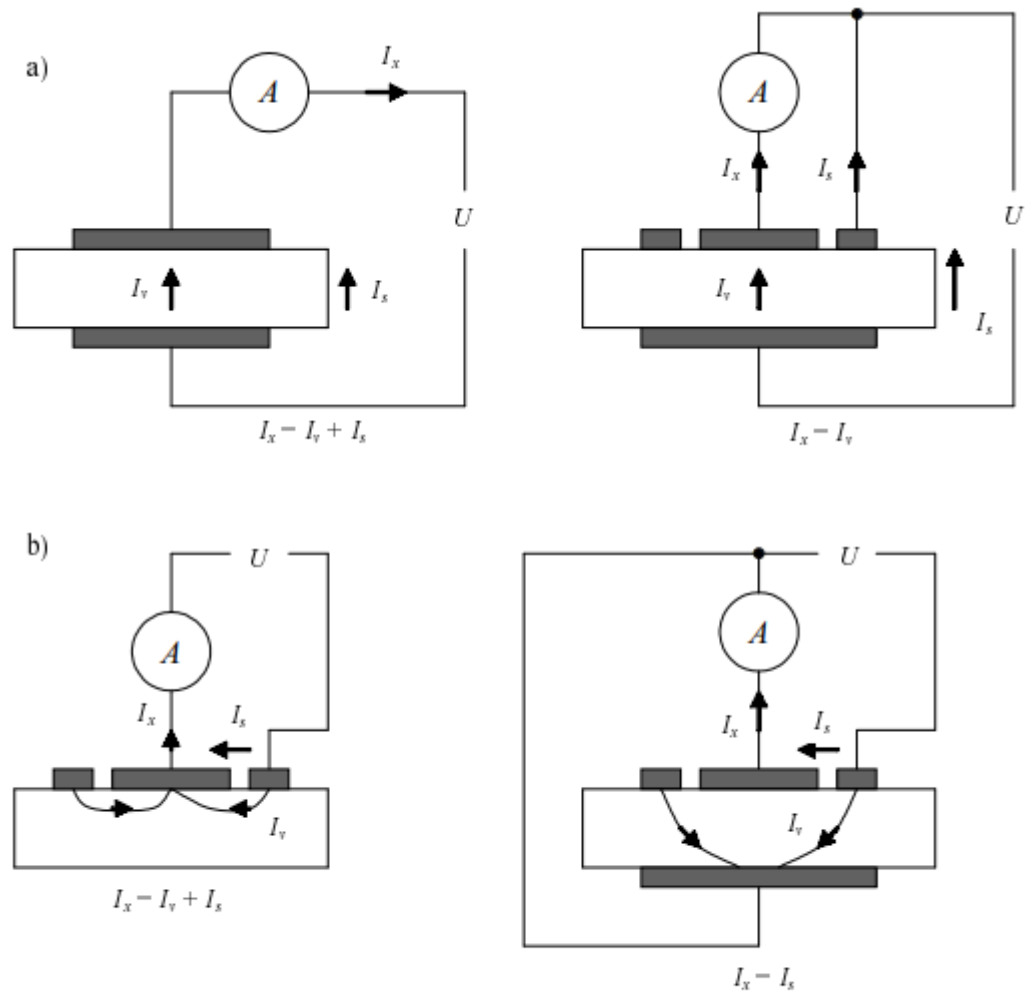
Rezystancje się mierzy, a rezystywności wyznacza

Metody pomiaru rezystancji:

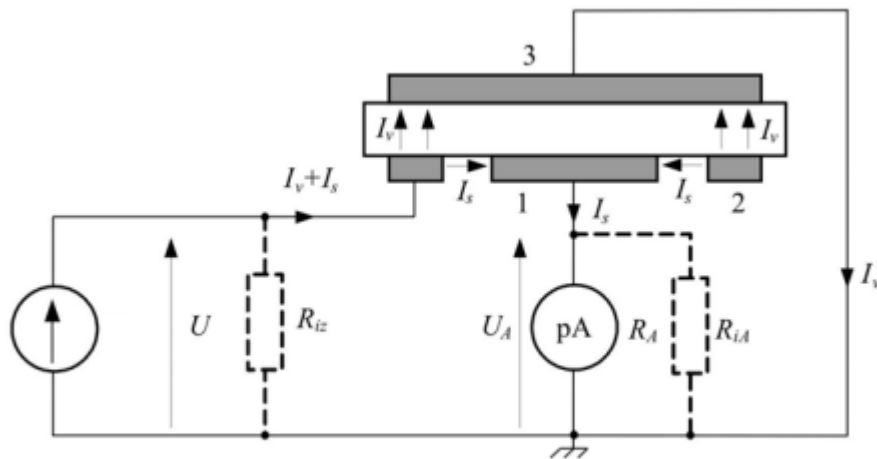
1. techniczne
2. mostkowe
3. porównawcze
4. ładowania kondensatora
5. elektrometryczne

Szczegółowy opis metod - w *Dodatku*

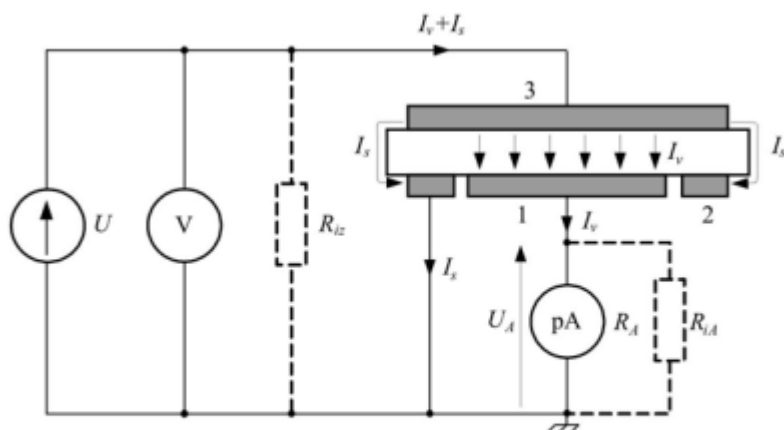
## Porównać i przedyskutować pomiar rezystancji skrośnej i powierzchniowej w układach dwu- i trójelektrodowym. Rola pierścienia ochronnego w badaniach rezystancji.



Rys. 1.10. Pomiar rezystancji w układach dwu- i trójelektrodowym:  
a – rezystancji skrośnej, b – rezystancji powierzchniowej



Rys. 6.1.2. Schemat układu do pomiaru rezystancji powierzchniowej w układzie trójelektrodowym.  
Elektrody: 1 – pomiarowa, 2 – napięciowa, 3 – ochronna



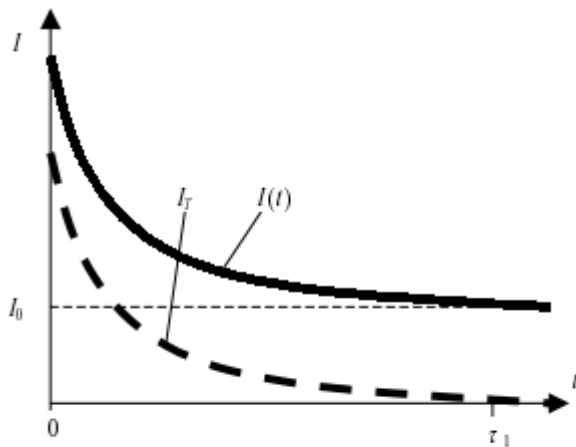
Rys. 5.1.2. Schemat układu do pomiaru rezystywności skośnej w układzie trójelektrodowym.  
Elektrody: 1 – pomiarowa, 2 – ochronna, 3 – napięciowa

Gdy rezystancję skośną mierzy się w układzie dwuelektrodowym, wtedy prąd powierzchniowy zafałszowuje wyniki pomiarów, gdyż zmierzony prąd jest sumą prądów skośnego  $I_v$  i powierzchniowego  $I_s$ . Zastosowanie elektrody ochronnej połączonej z masą źródła napięcia  $U$  powoduje, że prąd powierzchniowy  $I_s$  teoretycznie nie płynie przez miernik prądu. Natomiast między elektrodami pomiarową i napięciową płynie tylko prąd skośny  $I_v$ .

W przypadku, gdy rezystancję powierzchniową mierzy się w układzie dwuelektrodowym, prąd skośny  $I_v$  zafałszowuje wyniki pomiarów, gdyż prąd mierzony przez pikoamperomierz jest sumą prądu powierzchniowego  $I_s$  i skośnego  $I_v$ . Zastosowanie układu trójelektrodowego, w którym elektroda ochronna jest połączona z masą źródła napięcia  $U$ , powoduje, że prąd skośny  $I_v$  teoretycznie nie płynie przez miernik prądu. Natomiast między elektrodami pomiarową i 2 napięciową płynie tylko prąd powierzchniowy  $I_s$ .

Zadaniem pierścienia jest więc wyeliminowanie prądu powierzchniowego przy pomiarze rezystancji skośnej i prądu skośnego przy pomiarze rezystancji powierzchniowej.

**Przedstawić i objaśnić zależność prądu płynącego przez dielektryk od czasu.**



Rys. 1.3. Zależność prądu płynącego przez dielektryk od czasu

Całkowity prąd  $I(t)$  płynący przez dielektryk jest sumą dwóch składowych: składowej stałej  $I_0$ , związanej z przewodnictwem elektrycznym, oraz składowej przejściowej  $I_T$ , związanej z efektami polaryzacyjnymi. Po czasie  $\tau_1$  prąd przejściowy jest praktycznie równy zero i  $I(t) = I_0$ .

## Wpływ czynników zewnętrznych na wyniki pomiarów rezystancji.

Na wynik pomiarów rezystancji wpływ mają następujące czynniki zewnętrzne:

- napięcie pomiarowe
- temperatura
- czas
- wilgotność

### Napięcie pomiarowe

Prawo Ohma jest dobrze spełnione przez metale, gorzej dla półprzewodników i dielektryków. Powyżej pewnego krytycznego/granicznego napięcia  $U_{kr}/U_{gr}$  charakterystyka odbiega od liniowości.

W przypadku dielektryków o nieliniowości **tak naprawdę nie świadczy napięcie** tylko natężenie pola elektrycznego. Charakterystyka jest linowa kiedy pole jest jednorodne. Pole jest jednorodne jeżeli dla różnych napięć pomiarowych rezystancja jest taka sama.

### Temperatura

Rezystancja dielektryków maleje ze wzrostem temperatury ze względu na wzrastającą jonizację.

### Czas

Dla czasów długich: stała, po długim czasie spada (starzenie)

Dla czasów krótkich: rośnie w pierwszych 60s (prąd polaryzacyjny), potem stała

### Wilgotność

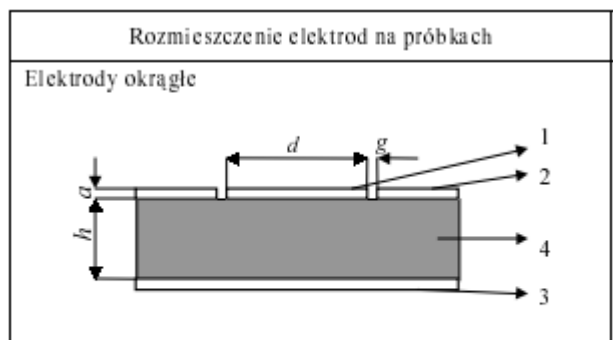
Wpływ wilgotności zależy od rodzaju dielektryka i szczególnie uwidacznia się na powierzchniach materiałów hydrofilowych, tworzących błonę wodną.

rodzaj materiału	rezystancja skrośna	rezystancja powierzchniowa
higroskopijne	spada wraz ze wzrostem wilgotności	spada wraz ze wzrostem wilgotności
jonowe i dipolowe	jest stała	spada wraz ze wzrostem wilgotności
neutralne	jest stała	jest stała

Spadki nie są liniowe

**Przenikalność elektryczna względna: definicja. Istota pomiaru pojemności kondensatora z dielektrykiem w układzie 2-elektrodowym i 3-elektrodowym. Przeanalizować wpływ konfiguracji elektrod na pomiar pojemności.**

Przenikalność elektryczna względna  $\varepsilon_r$  jest to stosunek pojemności  $C_x$  kondensatora, w którym przestrzeń pomiędzy okładkami i wokół elektrod jest całkowicie zapełniona badanym materiałem (dielektrykiem), do pojemności  $C_0$  elektrod, rozmieszczonych w ten sam sposób w próżni.  $\varepsilon_r = \frac{C_x}{C_0}$ .



- 1 – elektroda pomiarowa,  
2 – elektroda ochronna,  
3 – elektroda wysokonapięciowa,

Układ trójelektrodowy stosuje się przede wszystkim do pomiarów metodami mostkowymi przy częstotliwościach do 100kHz. **Zastosowanie elektrody ochronnej obniża wpływ pojemności brzegowej i wyklucza wpływ pojemności powierzchniowej.**

Efektywność pierścienia ochronnego jest tym większa:

- im mniejsza jest szczelina między elektrodą pomiarową i ochronną
- im mniejsza jest różnica potencjałów między elektrodą pomiarową i ochronną
- im mniejsza jest grubość badanej próbki

$$\varepsilon_r = \frac{C_x}{C_0}$$

Układ dwuelektrodowy stosuje się przy częstotliwościach większych niż 10kHz, kiedy zastosowane metody pomiarowe uniemożliwiają przyłączenie elektrod ochronnych, a upływność powierzchniową można pominąć. Podczas obliczania przenikalności elektrycznej trzeba uwzględnić pojemność brzegową  $C_b$  oraz pojemność rozproszoną  $C_r$  wyznaczonych ze wzorów empirycznych.

$$\varepsilon_r = \frac{C_x - C_b - C_r}{C_0}$$

Wpływ konfiguracji elektrod

Efektywność pierścienia ochronnego jest tym większa

- im mniejsza jest szczelina pomiędzy elektrodą pomiarową i ochronną
- im mniejsza jest różnica potencjałów pomiędzy elektrodą pomiarową i ochronną
- im mniejsza jest grubość badanej próbki


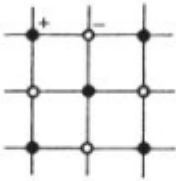



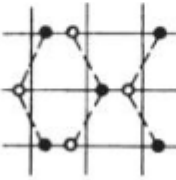

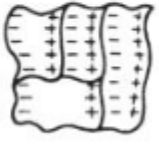
Rozmieszczenie elektrod ma też wpływ na teoretyczną wartość pojemności kondensatora w powietrzu. Szczegóły w *Dodatku*.

**Mechanizmy polaryzacji dielektryków. Przedstawić zależność przenikalności elektrycznej względnej od częstotliwości i temperatury. Uzasadnić przebiegi charakterystyk.**

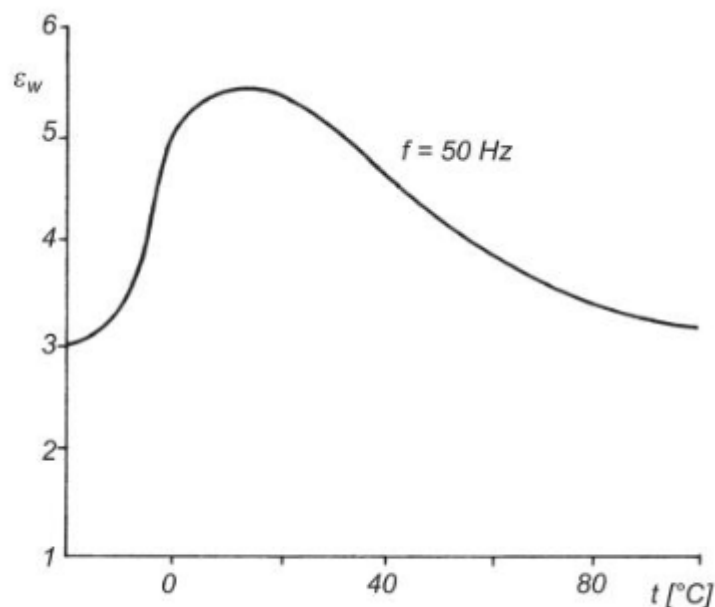
Mechanizmy polaryzacji:

- polaryzacja elektronowa - pole elektryczne wywołuje względne przesunięcie dodatniego i ujemnego ładunku atomu. Atom uzyskuje w ten sposób indukowany elektryczny moment dipolowy
- polaryzacja atomowa (molekularna, cząsteczkowa) - jest rezultatem przesunięcia się względem siebie atomów cząsteczki posiadających różne ładunki. Atomy mają znacznie większe masy niż elektrony, dlatego reakcja na zmianę pola elektrycznego jest wolniejsza. Jej udział w całkowitej polaryzacji jest znacznie mniejszy niż polaryzacji elektronowej, toteż niekiedy bywa ona pomijana
- polaryzacja jonowa - pole wywołuje względne przesunięcie dodatnich i ujemnych jonów w cząsteczce. Indukowany jest wówczas dodatkowy moment dipolowy
- polaryzacja dipolowa (polaryzacja orientacji) - jeśli w nieobecności pola istnieją w ośrodku stałe momenty dipolowe ustawione w różnych przypadkowych kierunkach. Pole elektryczne powoduje ich obrót i uprządkowanie w kierunku pola.

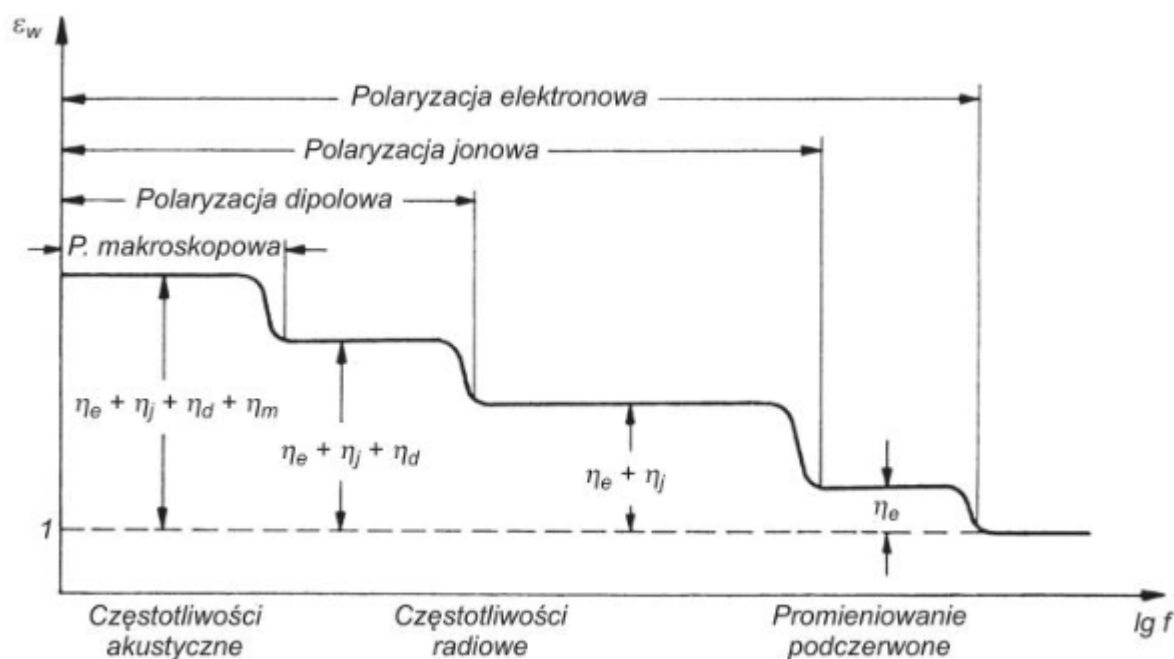
- polaryzacja makroskopowa - związana z ładunkiem przestrzennym. Ładunki swobodne w dielektryku przemieszczają się pod wpływem pola. Zatrzymują się na granicach ziaren lub nieprawidłowościach struktury.

	Polaryzacja elektronowa	Polaryzacja jonowa	Polaryzacja dipolowa	Polaryzacja makroskopowa
$E = 0$				
$E \neq 0$ →				

Rys. 4.11–1. Mechanizmy polaryzacji elektrycznej



Rys. 4.15–1. Zależność  $\epsilon_w$  oleju syntetycznego od temperatury



Rys. 4.15–2. Zależność składowych względnej przenikalności elektrycznej od częstotliwości

$\varepsilon_w$  jest funkcją temperatury. Zależność nie musi być liniowa ani nawet monotoniczna. Dla wody  $\varepsilon_w$  maleje wraz ze wzrostem temperatury, ale dla oleju syntetycznego jest niemonotoniczna (ma maksimum dla ok.  $10^\circ C$ ). Dla dielektryków jonowych  $\varepsilon_w$  rośnie ze wzrostem temperatury, bo rozluźniają się wiązania jonowe i zwiększa się polaryzacja jonowa. Dla dielektryków dipolowych natomiast maleje, ponieważ zwiększa się chaotyczny ruch dipoli.

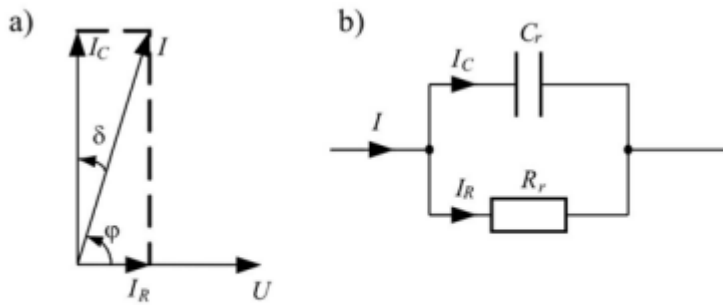
Dla dielektryków, w których występuje tylko polaryzacja elektronowa i jonowa,  $\varepsilon_w$  jest praktycznie niezależny od częstotliwości dla szerokiego zakresu wartości.

$\varepsilon_w$  zawsze maleje w funkcji częstotliwości, ponieważ niektóre rodzaje polaryzacji "nie nadążają" za częstą zmianą prądu.

**Układy zastępcze dielektryku stratnego. Wyprowadzić zależność na  $tg(\delta)$ .**

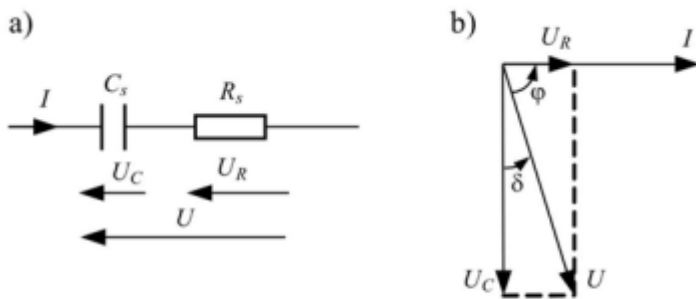
**Charakterystyki  $tg(\delta) = f(freq)$ .**

(W dielektryku niepolarnym modelowanym równoległym układem zastępczym wartość oporu określa tylko rezystywność skrośną.  $[R_v = \rho_v \cdot \frac{L}{S}]$  - zdanie dane trochę od Boga.)



Rys. 3.1. Wykres wskazowy prądów kondensatora z dielektrykiem rzeczywistym między okładkami (a) i odpowiadający mu równoległy układ zastępczy (b)

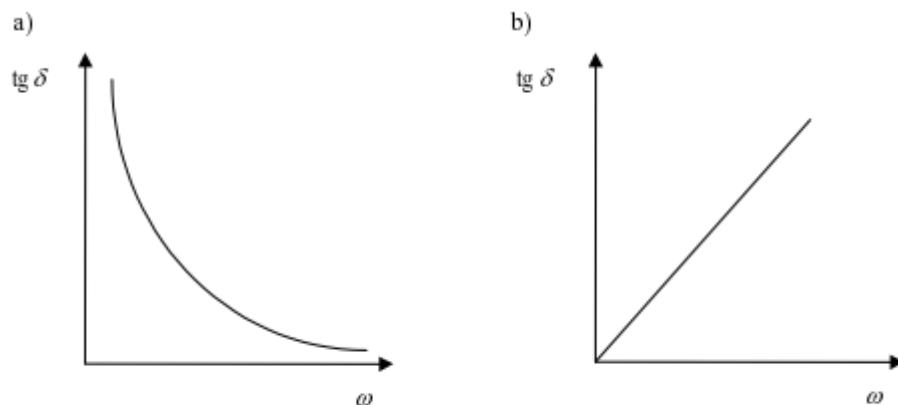
$$tg\delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{\frac{U}{R}}{U\omega C} = \frac{1}{\omega RC} = \frac{1}{2\pi fRC} = \frac{1}{2\pi f\rho_v\varepsilon}$$



Rys. 3.2. Szeregowy układ zastępczy kondensatora z dielektrykiem stratnym (a) i jego wykres wskazowy (b)

$$tg\delta = \frac{U_C}{U_R} = \frac{IR}{\frac{I}{\omega c}} = \omega RC = 2\pi fRC$$





Rys. 3.4. Zależność  $\text{tg } \delta$  od częstotliwości dla układów zastępczych:  
a) równoległego, b) szeregowego

## Straty energii w dielektryku. Rodzaje strat, zależność od częstotliwości i temperatury. Straty w dielektrykach polarnych i niepolarnych. Straty w dielektrykach rzeczywistych.

Straty energii w dielektryku wywołane są polaryzacją i prądami upływu

$$I = I_c + I_a + I_u$$

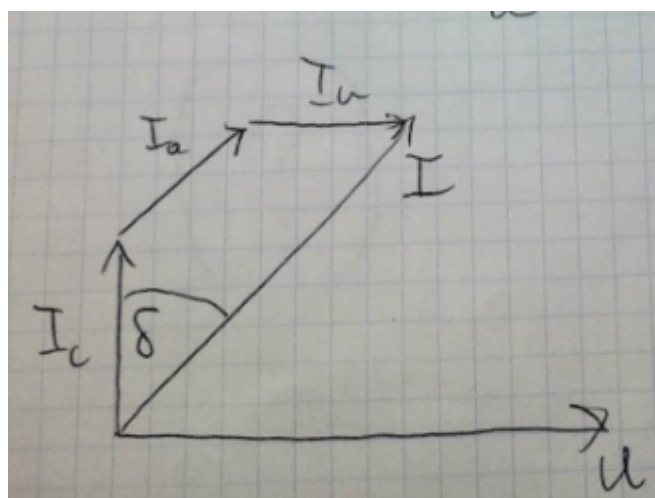
$$I_c + I_a = I_p$$

$I_c$  - prąd ładowania związany z polaryzacją elektronową i jonową, nie wywołuje strat energii

$I_a$  - prąd absorpcyjny związany z polaryzacją dipolową. Jego energia zamieniana jest częściowo w energię potencjalną odkształceń sprężystych dipoli, a częściowo zużywana na pokonanie oporów stawianych przez ośrodki obrotom cząstek dipoli. Ta część energii zużywana jest nieodwracalnie na ciepło

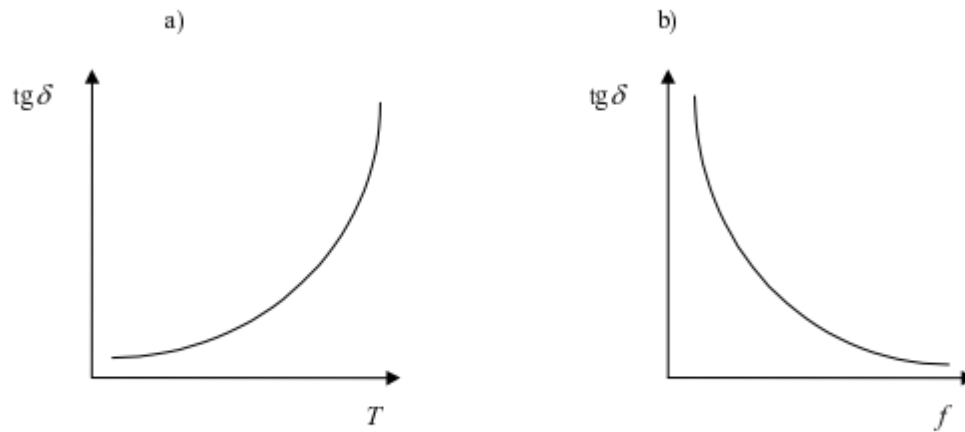
$I_u$  - prąd upływu wywołany konduktywnością skośną dielektryka. Przepływowi tego prądu towarzyszą straty energii elektrycznej na ciepło.

$I_p$  - prąd polaryzacyjny



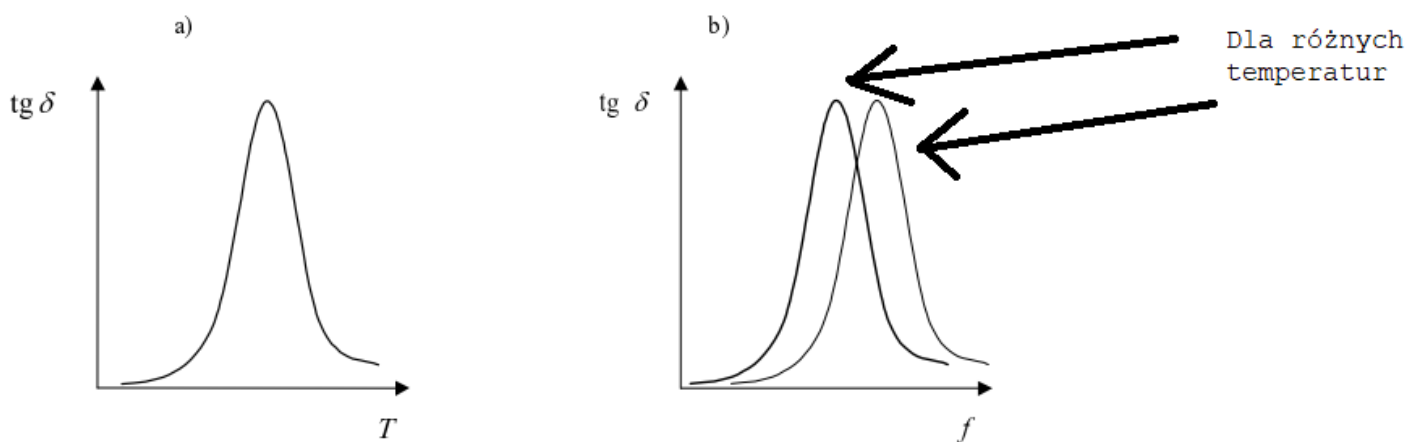
W dielektrykach występują straty:

- przewodnościowe - w dielektrykach niepolarnych
- relaksacyjne (polaryzacyjne) - w dielektrykach polarnych
- jonizacyjne - występują w dielektrykach niejednorodnych zawierających wtrącenia gazowe, np. ceramice. Występują w przemiennym polu elektrycznym.



Rys. 3.6. Przebieg  $\tan \delta$  dla strat typu przewodnościowego:  
a) w funkcji temperatury, b) w funkcji częstotliwości

Ze wzrostem temperatury maleje rezystywność - więc (dla układu równoległego i dielektryków niepolarnych) -  $\tan \delta$  maleje wraz ze wzrostem częstotliwości i rośnie ze wzrostem temperatury ( $\tan \delta = \frac{1}{2\pi fRC}$ ).



Rys. 3.5. Przebieg  $\tan \delta$  dla strat typu relaksacyjnego:  
a) w funkcji temperatury, b) w funkcji częstotliwości

Dla dielektryków polarnych - tangens w funkcji częstotliwości na początku rośnie bo rośnie energia tracona na obrót dipoli, potem maleje bo obrót dipoli nie nadąża za zmianami pola elektrycznego - zanika składowa dipolowa polaryzacji.

W funkcji temperatury - przy niskiej temperaturze duża lepkość więc ruch dipoli niewielki i obserwujemy małe straty (nie ma ruchu nie ma na czym tracić). Potem lepkość maleje na tyle aby ruch był możliwy ale generuje on straty energii, więc tangens rośnie. Przy najwyższej temperaturze dipole mogą poruszać się bez strat energii - tangens maleje.

W dielektrykach i układach rzeczywistych występuje zwykle jednocześnie straty kilku rodzajów. Stosunek wzajemny strat różnych rodzajów, związany jest z budową i jakością dielektryku, zmienia się wraz ze zmianą częstotliwości i temperatury.

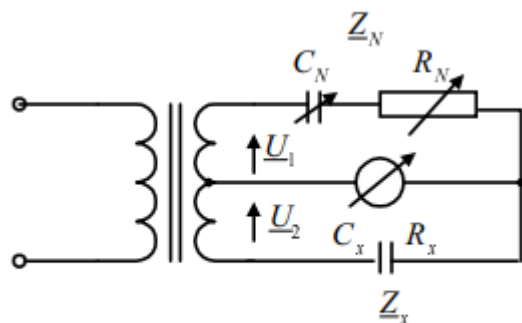
### Wpływ sposobu nakładania elektrod na pomiar pojemności. Przedstaw zasadę pomiaru $C$ i $\tan(\delta)$ metodą mostkową.

Wpływ sposobu nakładania elektrod na pomiar pojemności:

największy uchyb jest spowodowany przez ciekłą warstwę powietrza między elektrodą a powierzchnią próbki. Jest on szczególnie duży, gdy badany materiał ma małą grubość lub gdy jego przenikalność elektryczna jest bardzo duża.

- im większa szczelina, tym większy błąd pomiaru
- istnienie szczeliny powietrznej jest w tym bardziej krytyczne, im większa przenikalność elektryczna materiału
  - dla materiałów o dużej przenikalności elektrycznej przyleganie musi być bardzo dobre

Do pomiaru pojemności przy częstotliwościach do 100kHz oraz do pomiaru współczynnika strat w paśmie od 20 Hz do 1MHz powszechnie stosuje się mostki różnicowe lub czteroramienne (np. mostek Scheringa)



Rys. 2.4. Schemat mostka różnicowego

$$|U_1| = |U_2|$$

więc, z prawa Ohma, aby mostek był w równowadze, tzn. żeby  $I_1 = I_2$

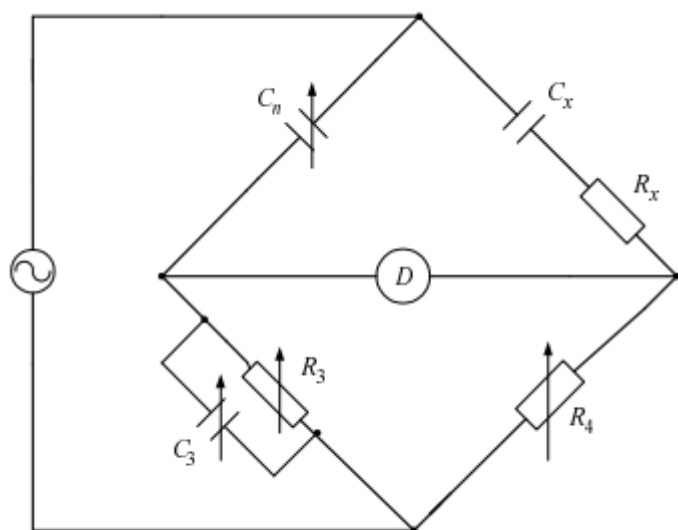
$$Z_x = Z_N$$

wtedy dla szeregowego układu zastępczego

$$R_x = R_N$$

$$C_x = C_N$$

$$\operatorname{tg} \delta = \omega R_x C_x$$



Rys. 3.9. Podstawowy schemat mostka Scheringa

Warunek równowagi mostka Scheringa:

$$Z_x Z_3 = Z_n Z_4$$

$$\left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x}\right) \left(\frac{1}{R_3} + j\omega C_3\right) = \frac{1}{j\omega C_n} R_4$$

Wymnożyć i porównać części rzeczywiste i urojone

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega R_x C_x}$$

## Wytrzymałość elektryczna. Wpływ czynników zewnętrznych. Sześćciofluorek siarki, właściwości, zastosowania.

Podwyższając napięcie przyłożone do okładek kondensatora z dielektrykiem osiąga się napięcie krytyczne zwane napięciem przebiecia  $U_p$ , przy którym następuje przebiecie elektryczne dielektryka.

Natężenie pola elektrycznego  $E_p$ , odpowiadające napięciu przebiecia, nazywa się **wytrzymałością elektryczną dielektryka**.

Określa się je dla kondensatora płaskiego jako:

$$E_p = \frac{U_p}{l} \left[ \frac{V}{m} \right]$$

gdzie  $l$  to odległość między okładkami kondensatora.

Wytrzymałość elektryczna zależy od:

- kształtu elektrod - wpływa on silnie na wartość natężenia lokalnego pola elektrycznego. Dla elektrod płaskich pole jest równomierne. Dla elektrod ostrzowych pole jest silnie nierównomierne (lokalne wyładowania, niszczenie izolacji w pobliżu elektrody) Wytrzymałość elektryczna ostrzowego układu jest znacznie niższa niż układu płaskiego.
- stanu zawilgocenia izolacji - silnie obniża wytrzymałość elektryczną. (spada ponad dwukrotnie dla wilgotności 0.02%)
- temperatury - wzrost prowadzi do zmniejszenia wytrzymałości
- grubości warstwy izolacji - zależność nieliniowa, zależy od rodzaju dielektryka
- rodzaju napięcia - stałe, przemienne, udarowe. Wartości wytrzymałości największe dla udarowych a najniższa dla stałego (kwestia czasu).

**4.54. Sześćciofluorek siarki  $SF_6$** , zwany również **elegazem**, jest syntetycznym gazem elektrycznym, bezbarwnym, bezwonny, nietoksyczny, chemicznie obojętny, niepalny, trwałym do temperatury ok.  $500^{\circ}C$  i niewywołującym korozji. Charakteryzuje się dużą gęstością – pięciokrotnie większą niż powietrza tak, że można nim niemal jak cieczą napełniać zbiorniki aparatów elektrycznych.

Jego wytrzymałość elektryczna przewyższa kilkakrotnie wytrzymałość powietrza. Często stosowany pod ciśnieniem (ok. 0,4 MPa (4 atm)), wykazuje wtedy lepsze własności izolacyjne niż olej mineralny. Zastąpienie oleju mineralnego elegazem pozwala na znaczne zmniejszenie ciężaru urządzeń elektrycznych.

Elegaz można stosować w urządzeniach napowietrznych (temp. skraplania ok.  $-63^{\circ}C$ ). Korzystną cechą  $SF_6$  jest mała zależność ciśnienia od temperatury, co pozwala uniknąć niebezpieczeństwa eksplozji w przypadkach zwarć w urządzeniach elektrycznych, zamkniętych w zbiornikach wypełnionych elegazem (wyłączniki, transformatory).

Elektryczne własności elegazu (zdolność wiązania swobodnych elektronów i tworzenia ciężkich i powolnych jonów ujemnych) wpływają korzystnie na jego zdolność gaszenia łuku elektrycznego.

Wadami elegazu są: stosunkowo niewielka przewodność cieplna (wynosząca ok. 48% przewodności cieplnej powietrza), niskie ciepło właściwe oraz pewna toksyczność produktów jego rozpadu, zachodzącego w obecności wyładowań elektrycznych.

Elegaz jest dzisiaj szeroko stosowany jako ośrodek elektroizolacyjny w rozdzielnicach wysokiego napięcia, wyłącznikach i transformatrach.

Można się też go nawdychać i mówić jak Darth Vader.

### **Co to jest elektret, metody wytwarzania, charakterystyczne parametry, zastosowania.**

Elektretem nazywamy dielektryk, który wytwarza w swoim otoczeniu trwałe, zewnętrzne pole elektryczne. Źródłem w elektrecie są nagromadzone w nim ładunki elektryczne lub wytworzony w dielektryku i "zamrożony" stan polaryzacji.

## Metody wytwarzania elektretów

- metoda termoelektryczna
- metoda ulotowa
- metoda cieczowa
- metoda elektronowiązkowa

## Charakterystyczne parametry:

- średnie położenie ładunku elektrycznego
- gęstość powierzchniowa ładunku - wyznaczana metodą głowicy wibracyjnej lub pośrednio z napięcia metodą indukcji elektrostatycznej
- czas życia elektretu - czas relaksacji homoładunku w temperaturze pokojowej

## Szczegółowe omówienie w *Dodatku*

## Zastosowania elektretów:

- przetworniki elektroakustyczne:
  - mikrofony elektretowe
  - słuchawki i głośniki elektretowe
- przetworniki elektromechaniczne
- elektrografia
- aerozolowe filtry elektretowe
- zastosowania biomedyczne
  - materiały do bezpośredniego kontaktu z krwią

## **Właściwości magnetyczne ciał stałych. Krzywa magnesowania, przedstawić graficznie charakterystyczne punkty. Materiały magnetycznie miękkie i twarde, porównać. Przykłady.**

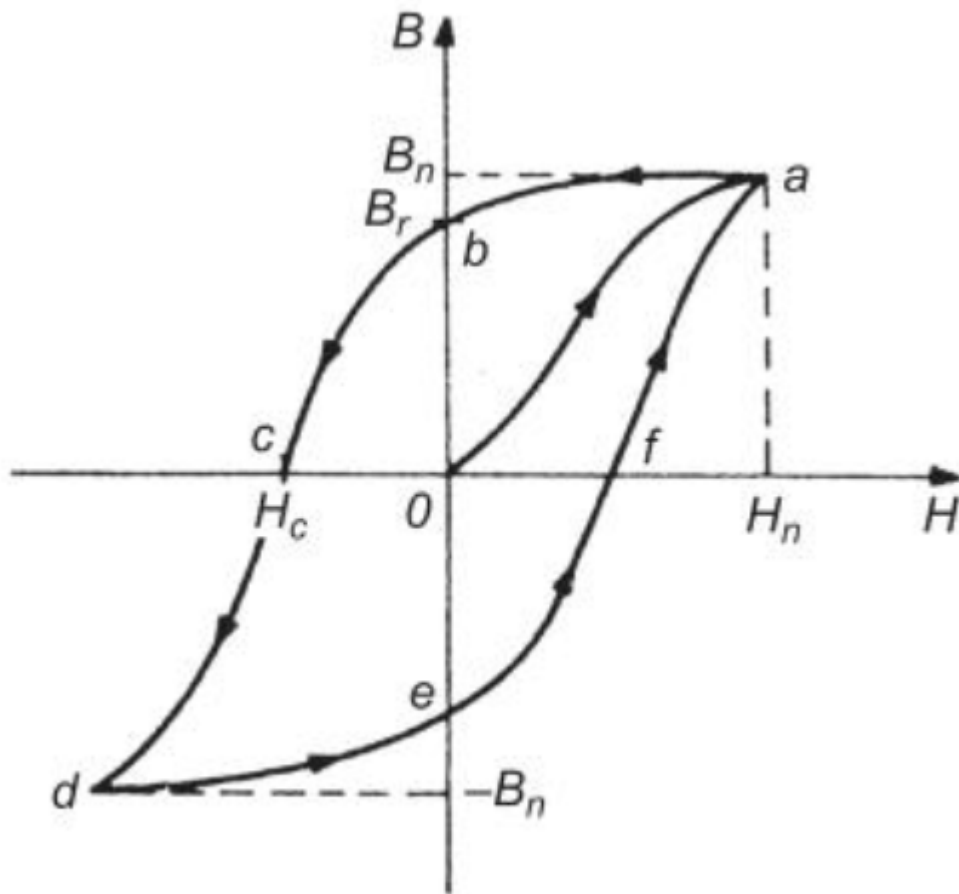
Właściwości magnetyczne materiału charakteryzuje podatność magnetyczna, która określa związek między namagnesowaniem i natężeniem pola magnetycznego (namagnesowanie to moment magnetyczny przypadający na jednostkę objętości).

$$\vec{M} = \chi \vec{H}$$

Zależnie od podatności magnetycznej, wszystkie materiały można podzielić na trzy rodzaje:

- diamagnetyki - mała, ujemne wartość podatności magnetycznej  $\chi \in (0,1,10) \cdot 10^{-6}$ , przykłady - gazy szlachetne, złoto, rtęć, alkohole
- paramagnetyki  $\chi \in (0,1)$ , przykłady - glin platyna, powietrze, gazowy tlenek azotu
- ferromagnetyki  $\chi > 1$  - żelazo, nikiel, kobalt i ich stopy.

Pętla histerezy magnetycznej - krzywa magnesowania materiału kilkukrotnie magnesowanego i rozmagnesowanego



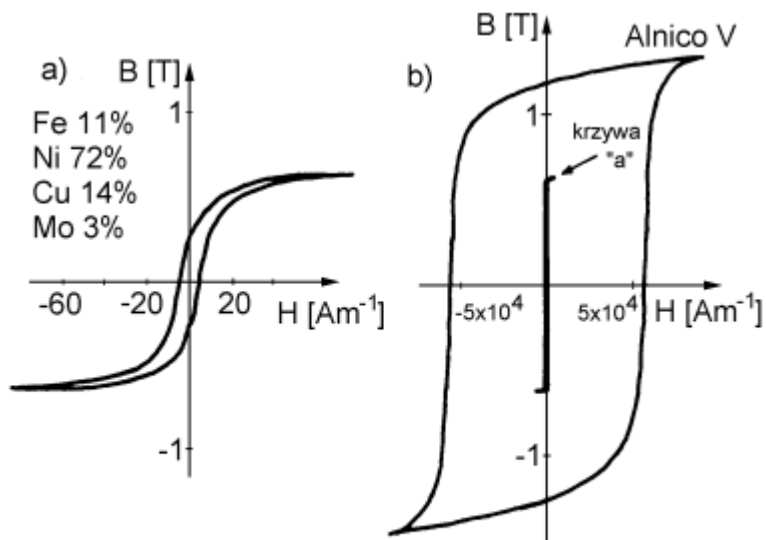
Rys. 5.35–1. Pętla histerezy magnetycznej

$B_r$  - pozostałość magnetyczna

$H_c$  - natężenie powściągające

$H_n$  - natężenie pola magnetycznego

$B_n$  - indukcja nasycenia



Rys. 5.3. Pętla histerezy  $B(H)$  dla materiału:  
a) magnetycznie miękkiego, b) magnetycznie twardego

Materiały miękkie - natężenie koercji (powściągające)  $H_c < 1000 \text{ A/m}$

Materiały twarde -  $H_c > 10\,000 \text{ A/m}$

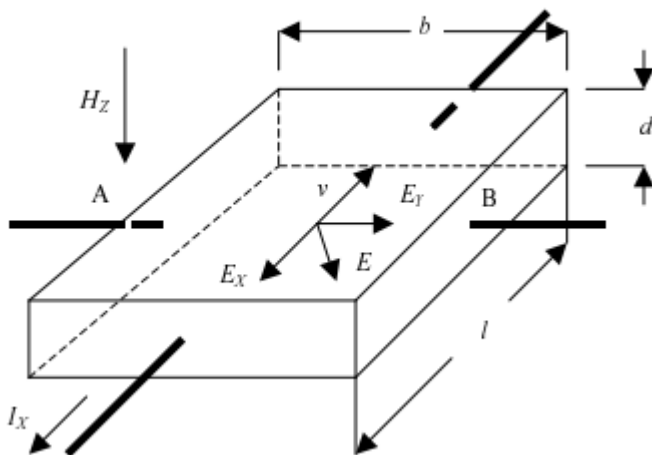
Przykłady

miękkie	twarde
żelazo	stal węglowa

miękkie	twarde
stale krzemowe	stal wolframowa
stopy żelaza z niklem	stal chromowa
niektóre ferryty	stal kobaltowa
	stopy Fe-Ni-Al
	związki tlenkowa

## Zjawisko Halla. Podać warunki jakie należy spełnić, aby to zjawisko wystąpiło. Jakie parametry materiałowe można wyznaczyć znając stałą Halla?

Zjawisko Halla - powstawanie pola elektrycznego w objętości materiału w kierunku prostopadłym do płaszczyzny określonej wektorami pól wymuszających.



$H_z$  - wektor pola magnetycznego

$E_x$  - wektor pola elektrycznego

$E_\gamma$  - wektor pola powstającego na skutek efektu Halla

$E$  - wypadkowe pole elektryczne

Warunki wystąpienia zjawiska Halla:

- obecność swobodnych nośników ładunku
- obecność pola elektrycznego
- obecność pola magnetycznego, działającego prostopadle do pola elektrycznego

Interpretacja stałej Halla

$$R_H = \frac{A}{e} \frac{u_e^2 p - u_h^2 n}{(u_e p + u_h n)^2}$$

gdzie:  $R_H$  - stała Halla,  $A$  - bezwymiarowy współczynnik charakteryzujący mechanizm rozpraszania nośników ładunku,  $p$  - koncentracja dziur,  $n$  - koncentracja elektronów,  $u_h$  - ruchliwość dziur,  $u_e$  - ruchliwość elektronów,  $e$  - ładunek elektronu

## Właściwości mechaniczne ciał stałych i analiza cieplna materiałów.

Właściwości mechaniczne:

Udarność - stosunek pracy zużytej na udarowe zniszczenie próbki do jej przekroju poprzecznego.  $U = \frac{A}{bh}$ . Badanie za pomocą młota Charpy'ego lub dynstatu (mikropróbki).

Wytrzymałość na zginanie - stosunek momentu zginającego, przy którym następuje złamanie próbki, do jej wskaźnika przekroju poprzecznego.  $\sigma_{zg} = \frac{6M}{bh^2}$  Badanie mikropróbek za pomocą dynstatu.

Wytrzymałość na zerwanie - stosunek siły zrywającej do przekroju poprzecznego próbki.  $R = \frac{P}{Dh}$ . Dla papierów pomiary wykonuje się na zrywarcie.

Wydłużalność względna na rozciąganie (rozciągliwość) - stosunek przyrostu długości próbki w chwili zerwania do długości początkowej. Badanie papierów na zrywarcie.

Opór przedarcia papieru - opór (siła) jaki stawia wyrób papierniczy podczas darcia nadciętej próbki. Mierzony w aparacie Elmendorfa. Wartość siły odczytana ze skali, przemnożona przez stosunek liczby arkuszy dla której kalibrowano aparat do liczby arkuszy przedartych równocześnie. Ewentualnie podzielona przez gramaturę papieru.

Właściwości cieplne:

Wytrzymałość cieplna według Martensa - odkształcenie próbki przy jednoczesnym działaniu mechanicznym i termicznym. Badanie metodą Martensa - wynikiem jest temperatura, przy której wolne ramię dźwigni, podpieranej przez próbkę i obciążonej przesuwym ciężarkiem, obniży się o  $6 \pm 0.1mm$ .

Temperatura mięknięcia oznaczana metodą Vicata - temperatura (w  $^{\circ}C$ ), w której stalowa igła o kołowym przekroju o powierzchni  $1mm^2$ , przy określonej normą stałej szybkości wzrostu temperatury ( $50$  lub  $120^{\circ}C/h$ ) i ustalonym obciążeniu ( $10$  lub  $50 N$ ), zagłębi się w powierzchnię badanej próbki na głębokość  $1mm$ .

Temperatura zapłonu - najniższa temperatura, w jakiej pary badanego produktu, ogrzewane w określony sposób ( $5-6^{\circ}C/min$ ), tworzą z powietrzem mieszaninę zapalającą się przy zbliżeniu płomienia. Pomiar metodą Martensa-Pensky'ego.