

Komponente sustava: TRANSFORMATORI

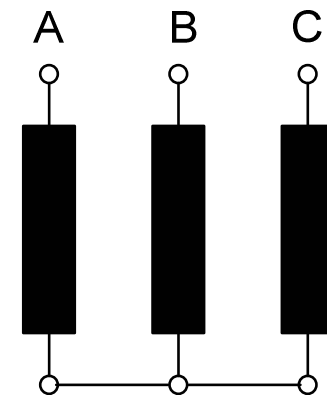
DIS_TR.2 – Grupe spoja, zagrijavanje i hlađenje, kratki spoj, autotransformatori

Prof. dr. sc. Zlatko Maljković

Spoj zvijezda (Y, y)

Karakteristike spoja zvijezda trofaznog transformatora:

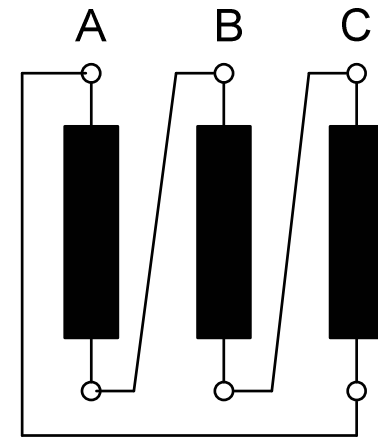
- ekonomičniji je za višenaponske namote;
- omogućava neutralnu točku;
- omogućava direktno uzemljenje ili uzemljenje preko impedancije;
- omogućava reduciranu razinu izolacije nulte točke (graded insulation);
- omogućava smještaj otcjepa i regulacijske sklopke u neutralnoj točki za svaku fazu;
- dopušta jednofazno opterećenje s nultom komponentom struje.



Spoj trokut (D, d)

Karakteristike spoja trokut trofaznog transformatora:

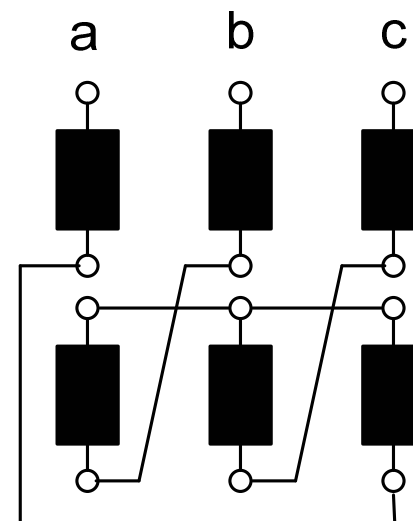
- ekonomičniji za namote s velikim strujama i niženaponske namote;
- u kombinaciji s namotom u spoju zvijezda reducira nultu impedanciju u tom namotu.



Spoj slomljena zvijezda (razlomljena zvijezda, cik-cak) (z)

Karakteristike spoja cik-cak trofaznog transformatora:

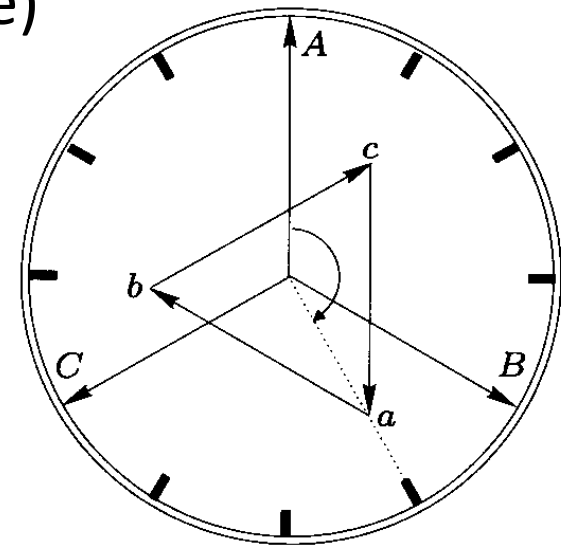
- dopušta opterećenje nultom komponentom struje uz smanjenje nulte impedancije (koristi se za uzemljivačke transformatore da formira umjetnu nultočku sustava);
- smanjuje naponsku nesimetriju u sustavu u kojem teret nije jednoliko raspodijeljen po fazama.



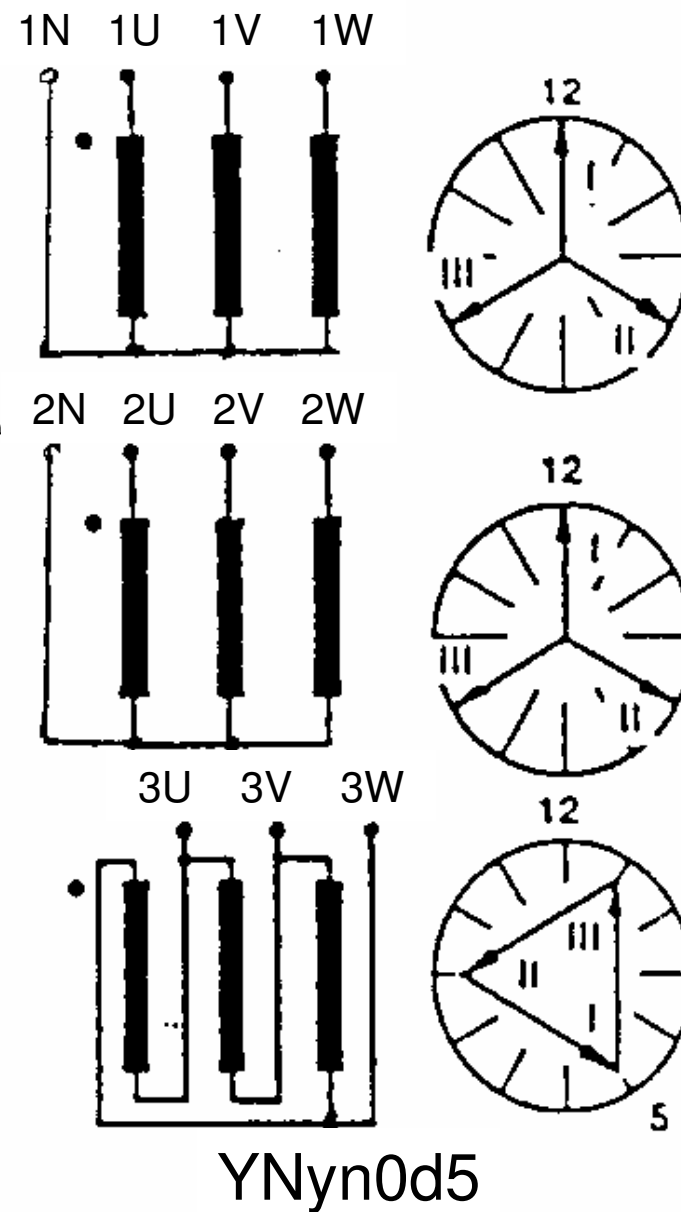
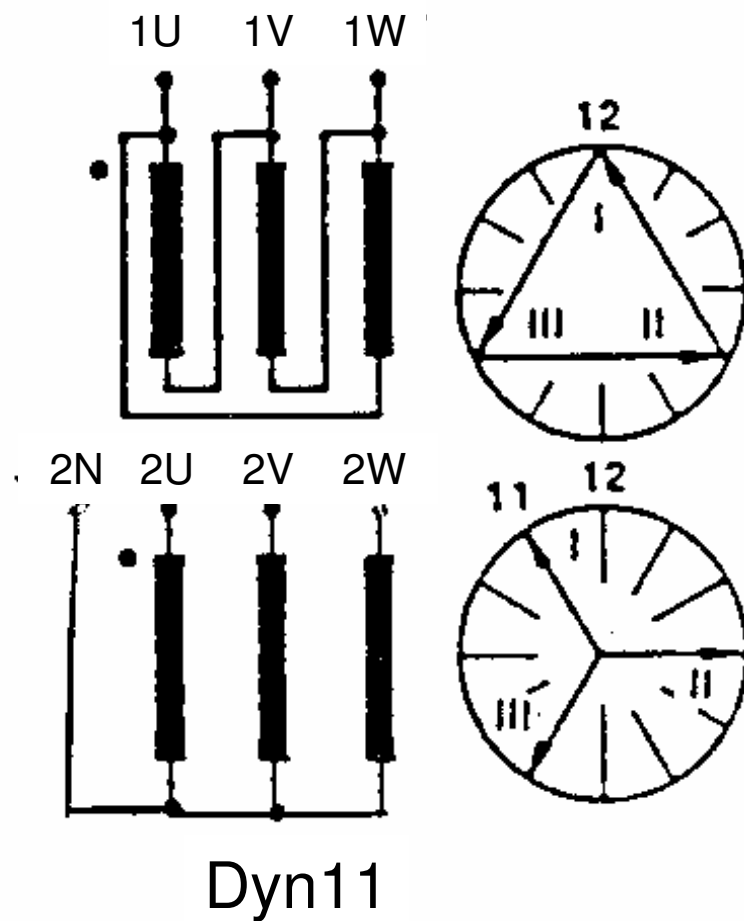
Grupe spoja trofaznih transformatora

- Grupa spoja (*Connection symbol*) označava:
 - Spoj višenaponskog (VN) namota (***Y***, ***D*** ili ***Z***)
 - Oznaka izvedene nule (***N*** ili bez oznake)
 - Spoj niženaponskog (NN) namota (***y***, ***d*** ili ***z***)
 - Oznaka izvedene nule (***n*** ili bez oznake)
 - Satni broj

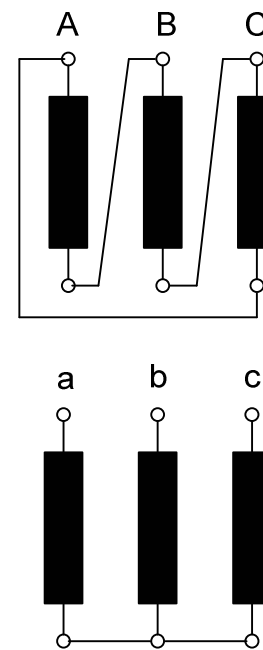
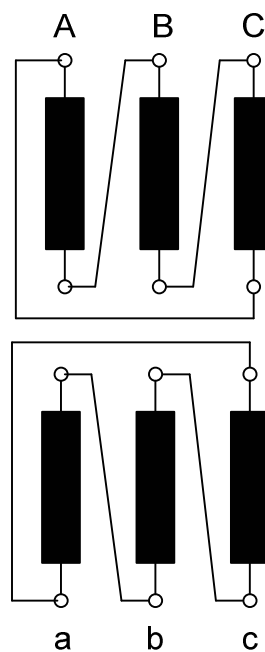
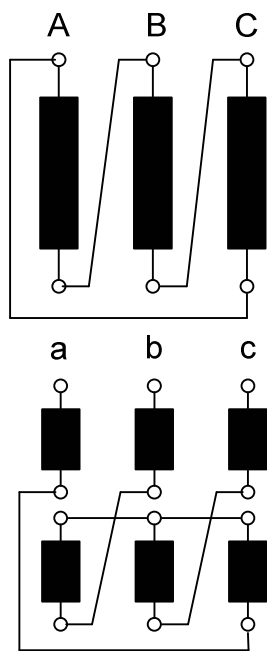
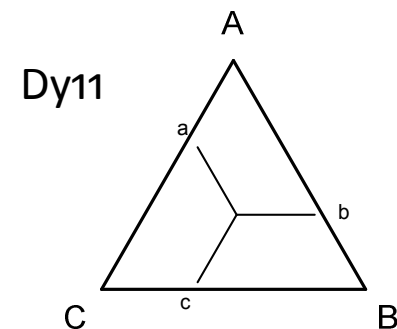
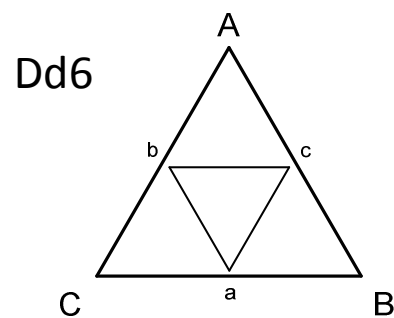
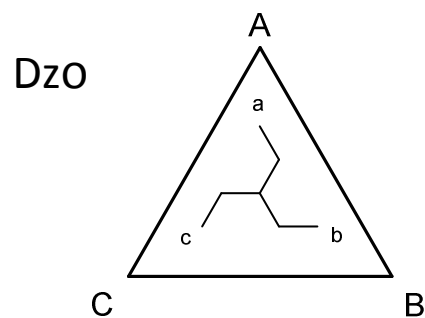
Yd5



Oznake priključaka



Primjeri grupe spoja



Osnovne grupe spoja trofaznih transformatora – parni satni broj

| | | | | | |
|---|-----|--|--|--|--|
| 0 | Dd0 | | | | |
| | Yy0 | | | | |
| | Dz0 | | | | |
| 6 | Dd6 | | | | |
| | Yy6 | | | | |
| | Dz6 | | | | |

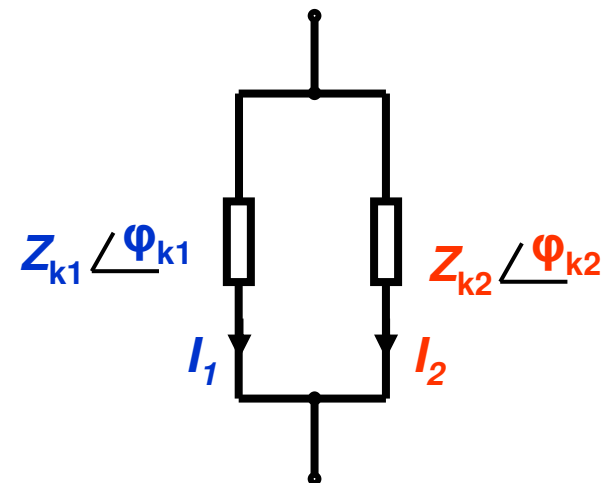
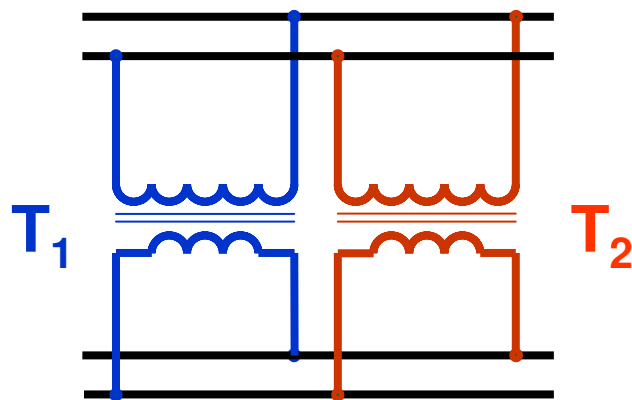
Osnovne grupe spoja trofaznih transformatora – neparni satni broj

| | | | | | |
|----|------|--|--|--|--|
| 5 | Dy5 | | | | |
| | Yd5 | | | | |
| | Yz5 | | | | |
| 11 | Dy11 | | | | |
| | Yd11 | | | | |
| | Yz11 | | | | |

Paralelni rad transformatora

Uvjeti paralelnog rada:

- Isti satni broj
- Jednaki nazivni naponi transformacije U_{1n}/U_{2n}
- Približno jednaki naponi kratkog spoja, razlika do 10%
- Omjer nazivnih snaga ne veći od 2



Paralelno spojeni transformatori

Dopušteno opterećenje n paralelno spojenih transformatora S_d

$$S_d = u_{k \min} \sum_{i=1}^n \frac{S_{ni}}{u_{ki}}$$

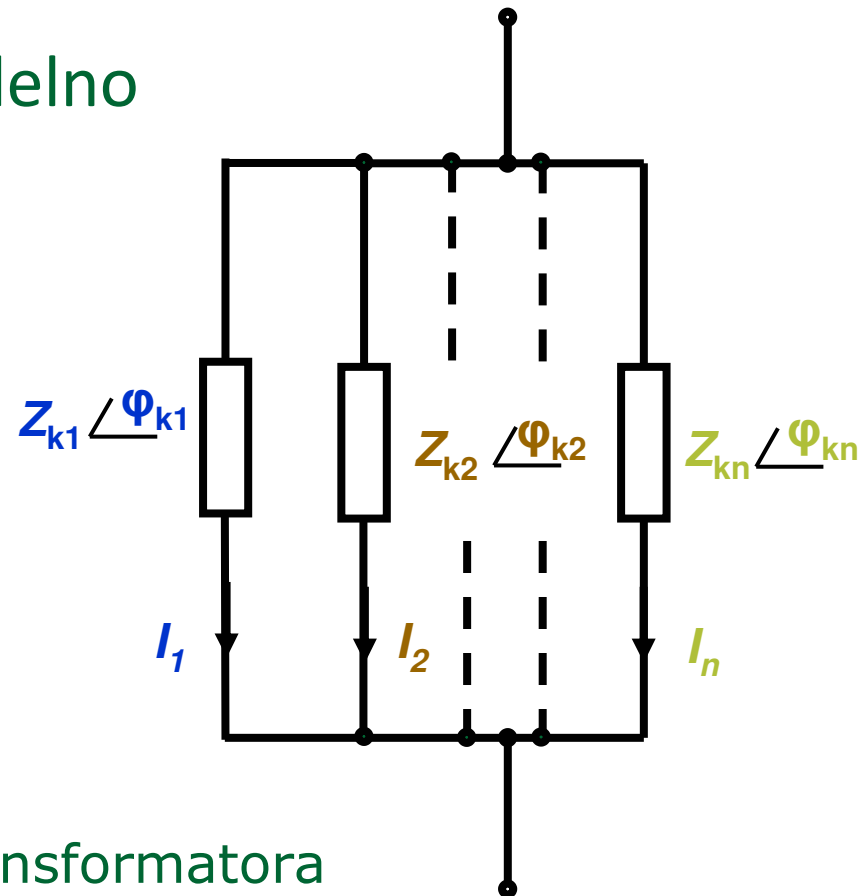
Opterećenje pojedinog transformatora S_i

$$S_i = \frac{S_{ni}}{u_{ki}} u_{k \min}$$

gdje su:

u_{ki} - napon kratkog spoja i -tog transformatora

$u_{k \min}$ - napon kratkog spoja transformatora s minimalnim u_k

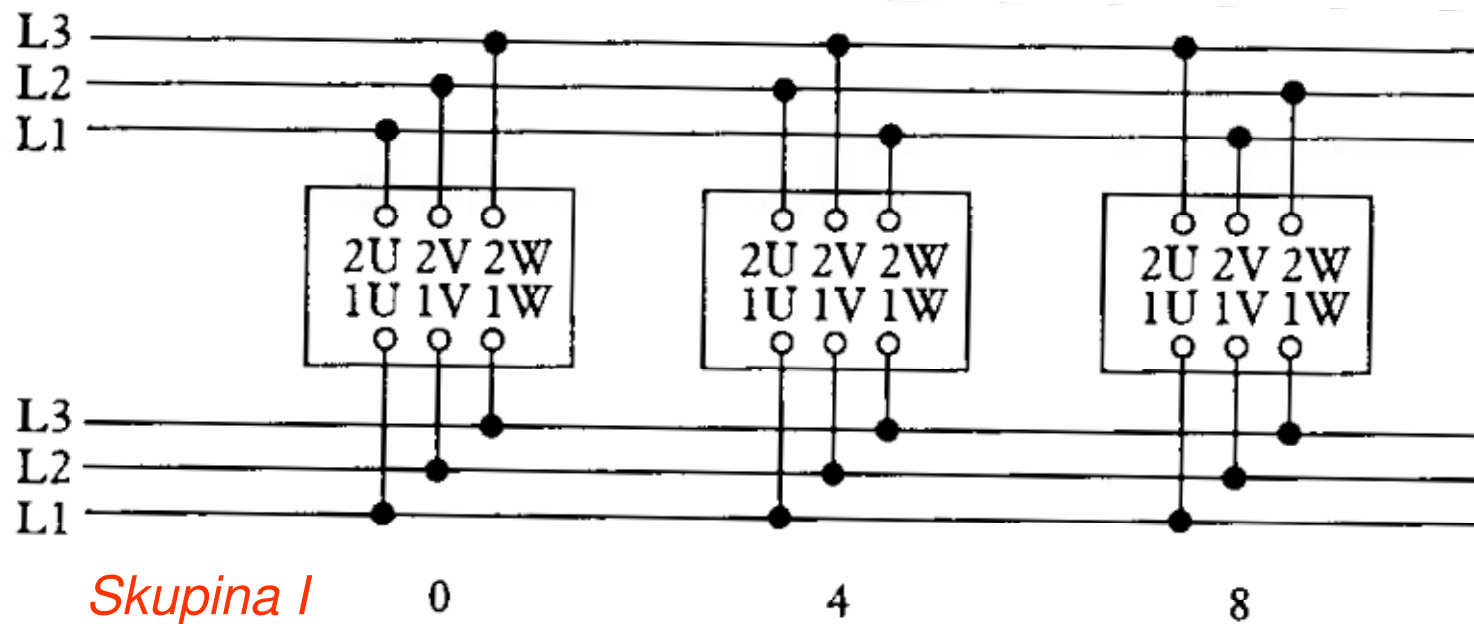
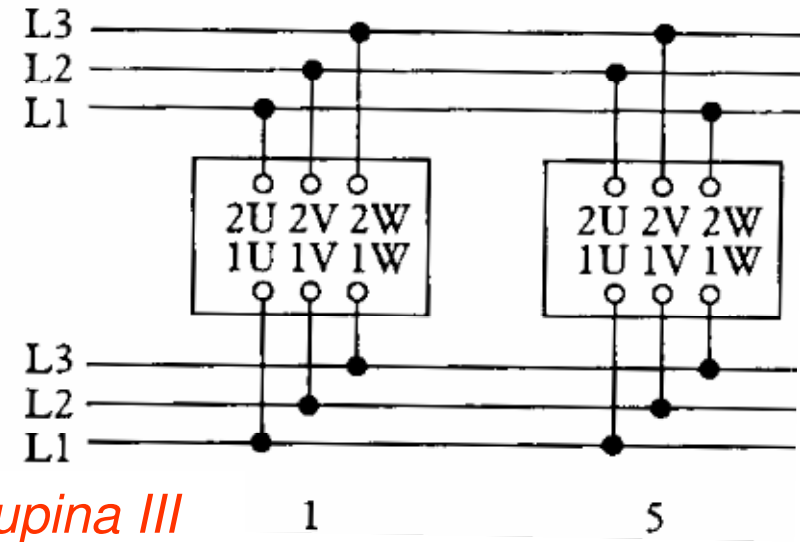


Podjela simbola grupe spoja prema satnim brojevima i mogućnost paralelnog spajanja:

- *Skupina I* – satni broj 0, 4 i 8
 - *Skupina II* – satni broj 2, 6 i 10
 - *Skupina III* – satni broj 1 i 5
 - *Skupina IV* – satni broj 7 i 11
-
- Paralelni spoj transformatora spajanjem izvoda (bez otvaranja kotla) je moguć spajanjem transformatora samo iz iste skupine s parnim satnim brojevima i spajanjem transformatora s obje neparne skupine s neparnim satnim brojevima.

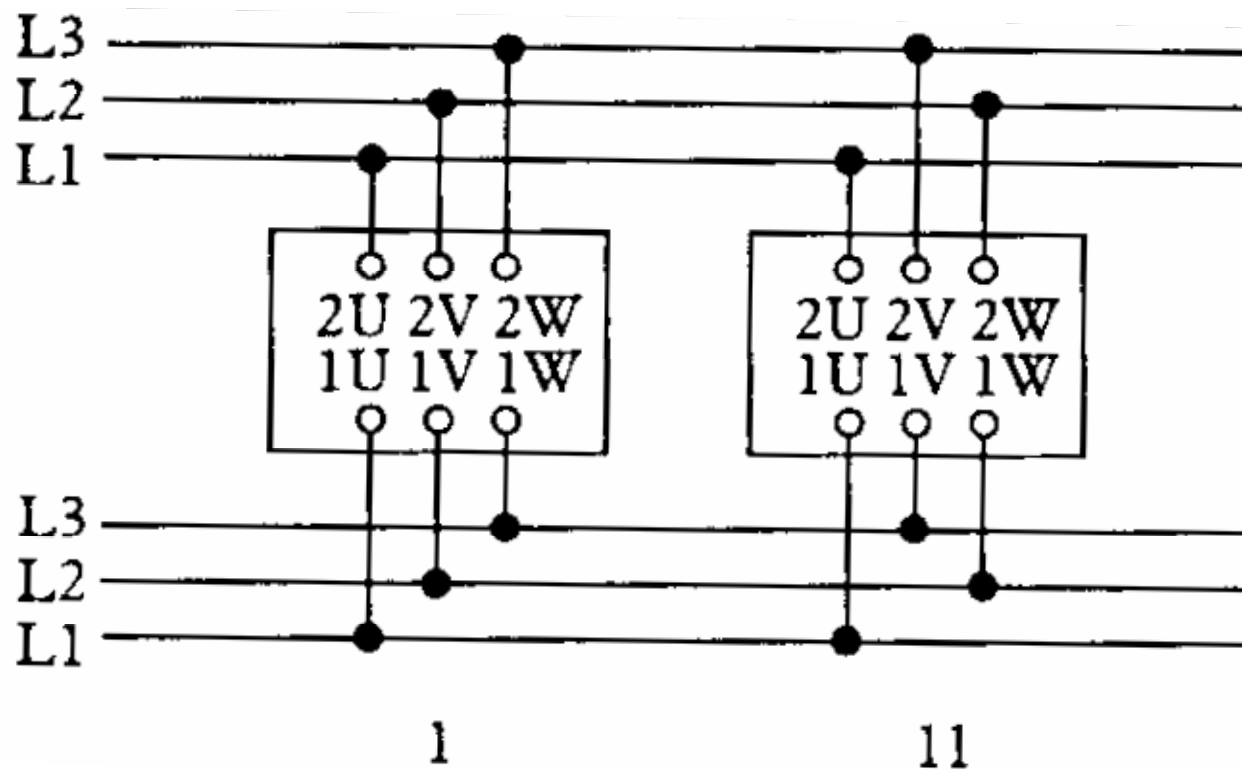
Paralelni spoj

- Transformatori s različitim satnim brojevima – satni brojevi iz iste skupine

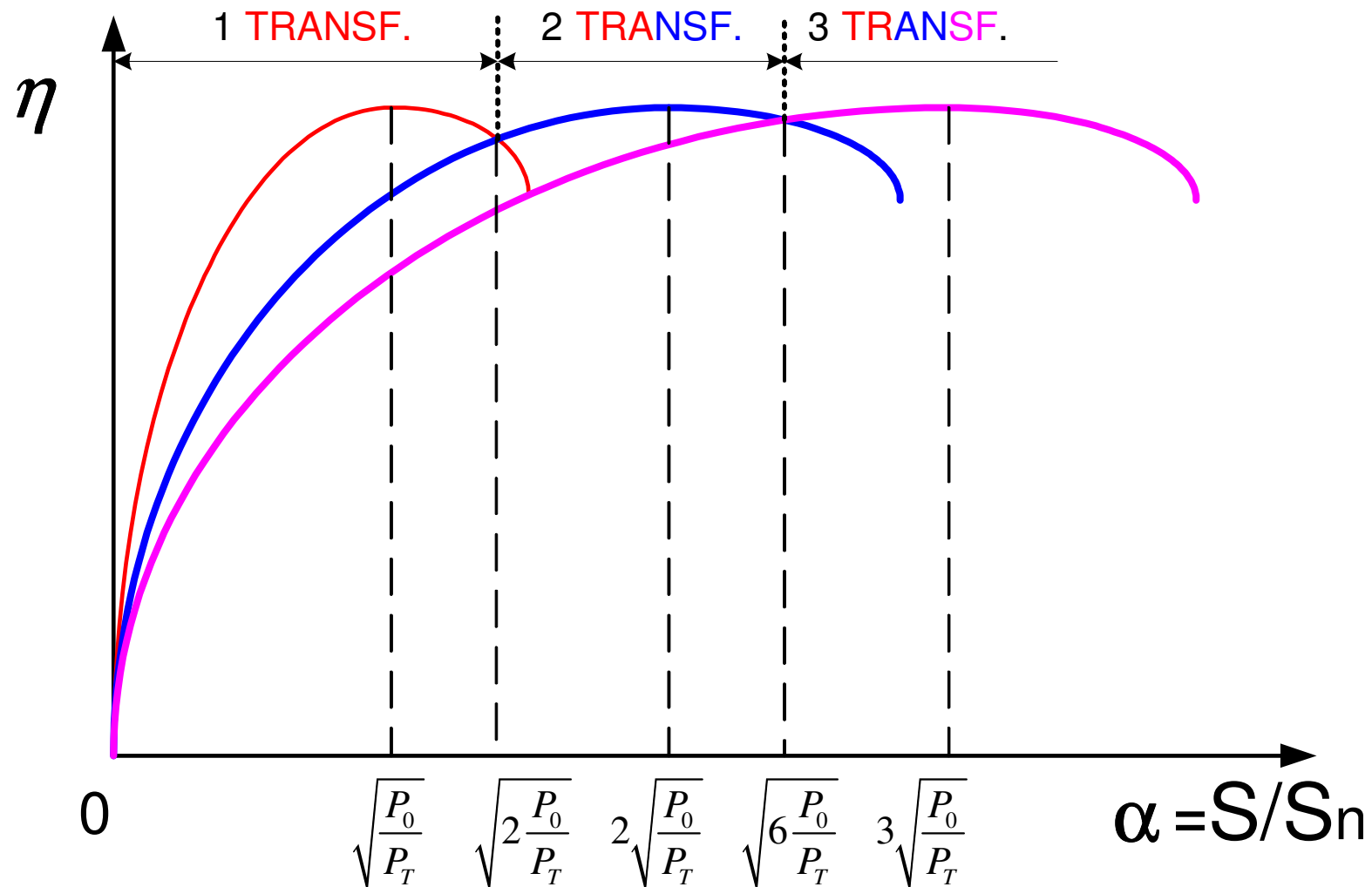


Paralelni spoj

- Transformatori iz različitih skupina (III i IV) - neparni satni brojevi

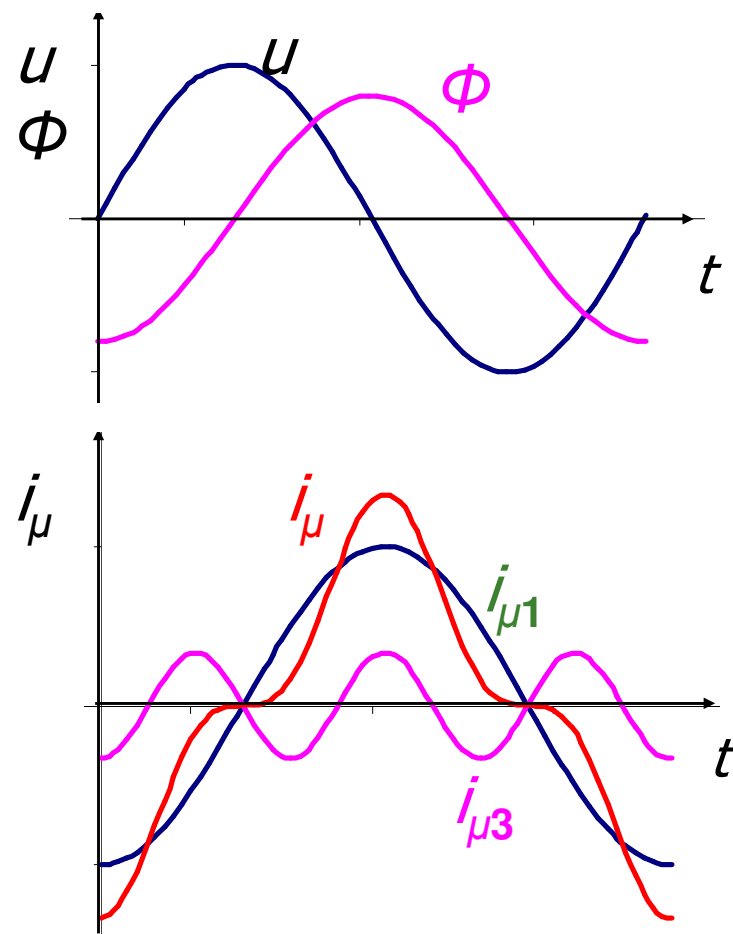


Paralelni rad grupe jednakih transformatora



Struja magnetiziranja trofaznog transformatora s izvedenim nul-vodom

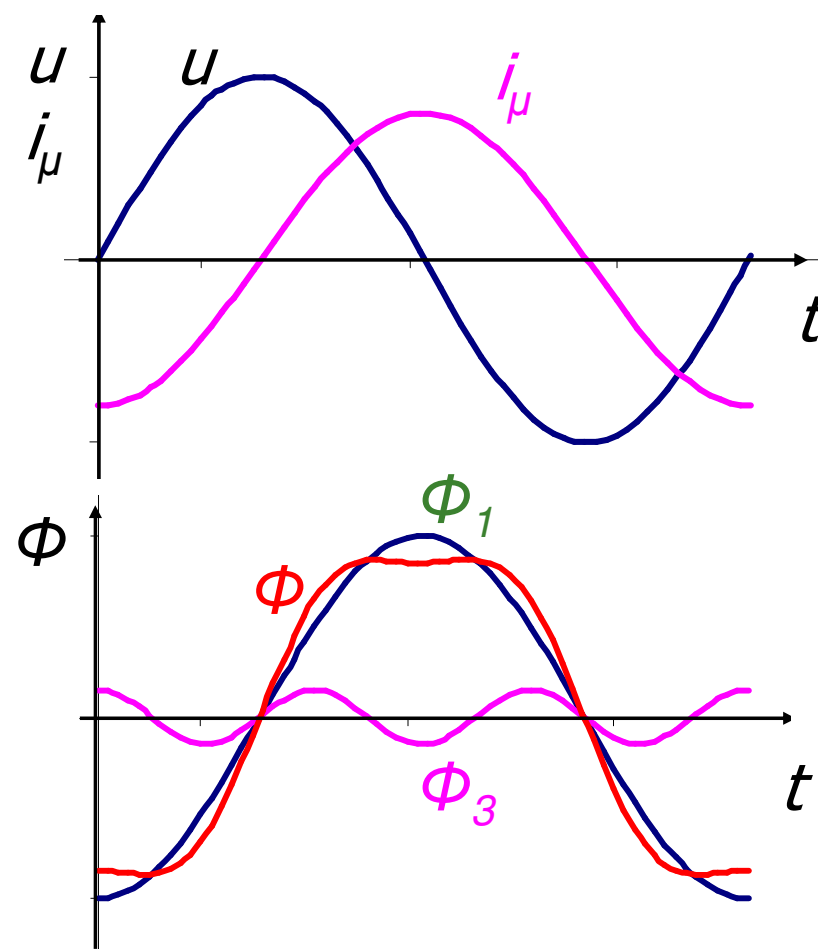
- Magnetski tok je sinusnog valnog oblika jer se treći harmonik struje magnetiziranja može zatvoriti nul-vodom.
- Treći harmonik struje mora teći da bi se formirao sinusni magnetski tok zbog nelinearne krivulje magnetiziranja.



Struja magnetiziranja trofaznog transformatora bez nul-voda

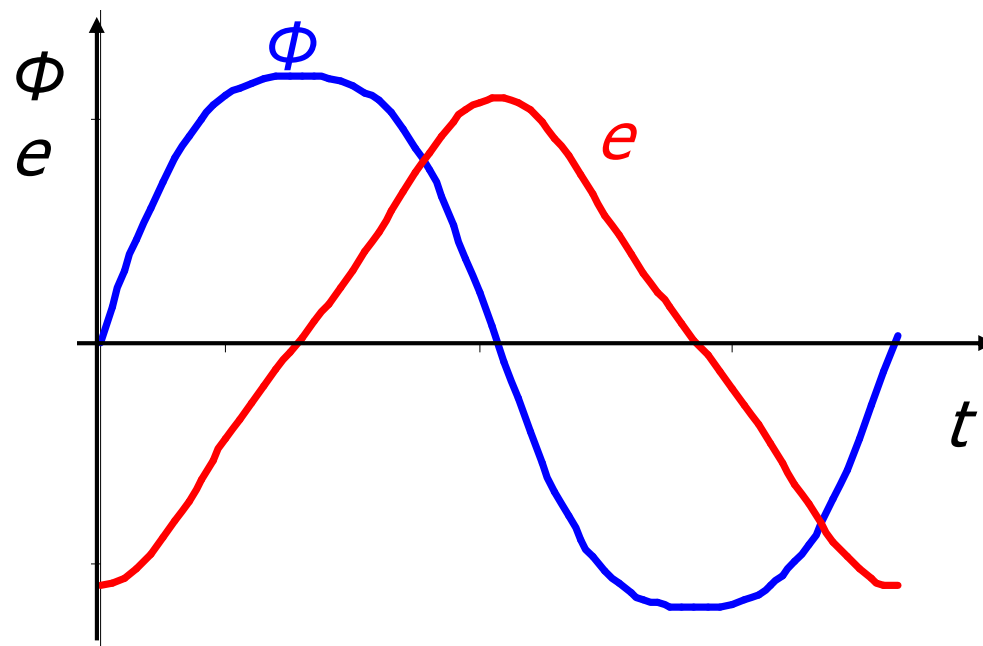
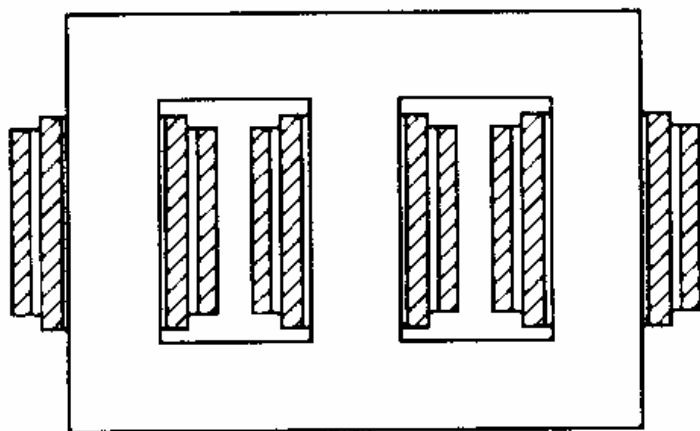
- Zbog nemogućnosti protoka trećeg harmonika struje magnetiziranja deformira se krivulja magnetskog toka.

Iznos toka Φ_3 ovisi o tipu jezgre



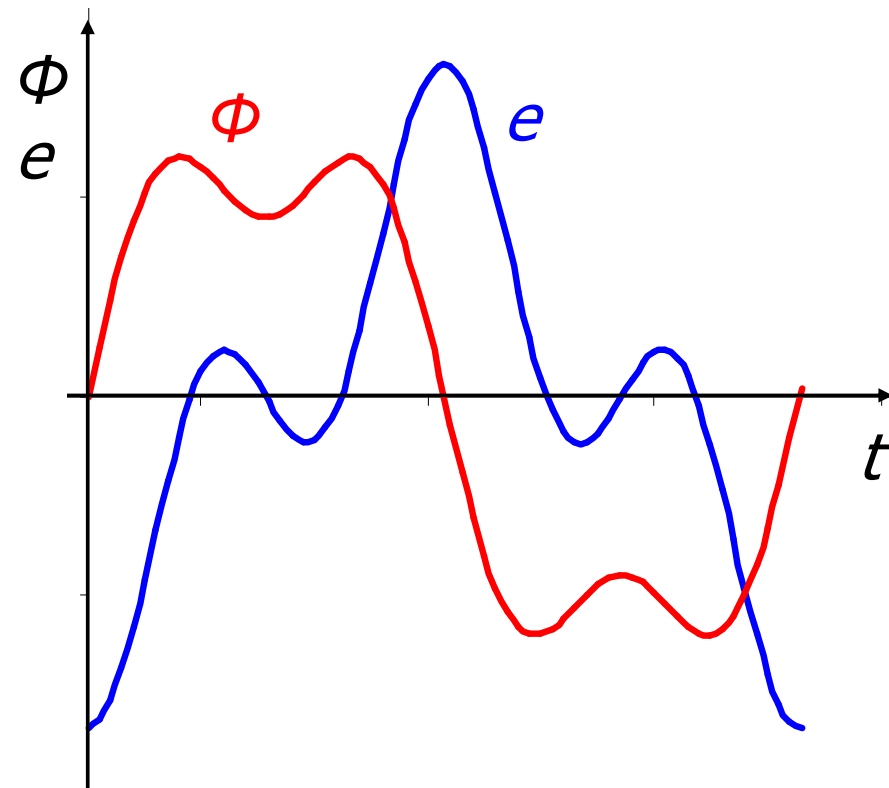
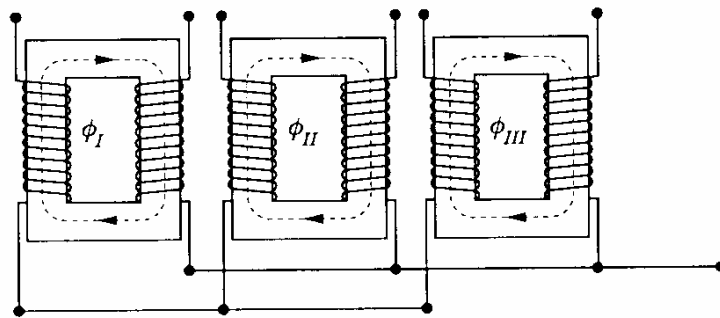
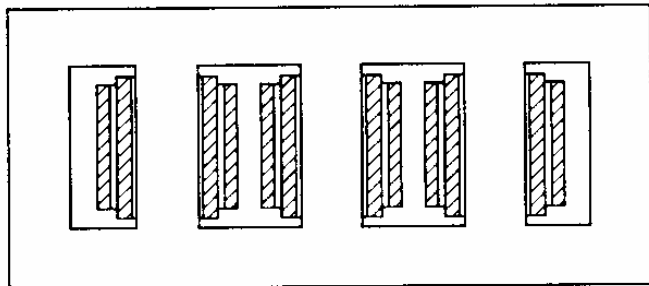
Magnetski tok i inducirani napon **trostupnog** transformatora (namoti spojeni u zvijezdu bez nul-voda)

3.harmonik magnetskog toka je malen, jer se može zatvoriti samo rasipnim putovima s vrlo velikim magnetskim otporom



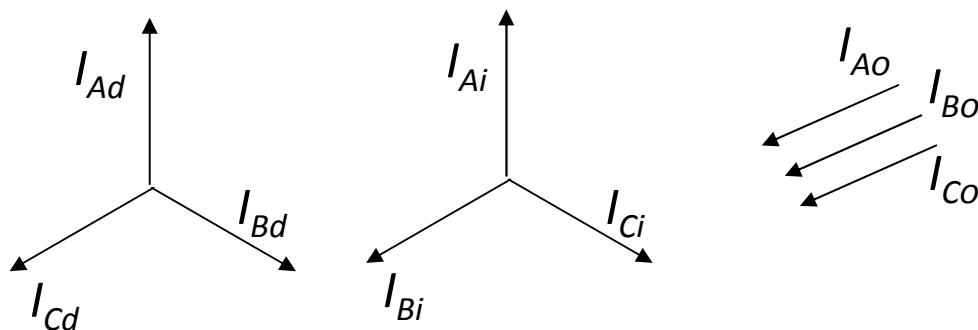
Magnetski tok i inducirani napon **peterostupnog** transformatora ili **tri jednofazna** transformatora (namoti spojeni u zvijezdu bez nul-voda)

3.harmonik magnetskog toka je velik, jer se može zatvoriti magnetskom jezgrom s vrlo malim magnetskim otporom, pa je i deformacija napona velika



Simetrične komponente u simboličkom računu

- Rastavljanje trofaznog sustava od 3 fazora (A, B, C) na 3 sustava simetričnih fazora (o, d, i)
- Olakšava račun nesimetričnih opterećenja po fazama
- Direktni (d), inverzni (i) i nulti (o) sustav



- PAZI: Ne miješati s uzdužnim, poprečnim i nultim sustavom kad se prikazuju trenutne vrijednosti varijabli u npr. dvoosnoj teoriji strojeva.

Veza originalnih fazora i fazora u simetričnim komponentama

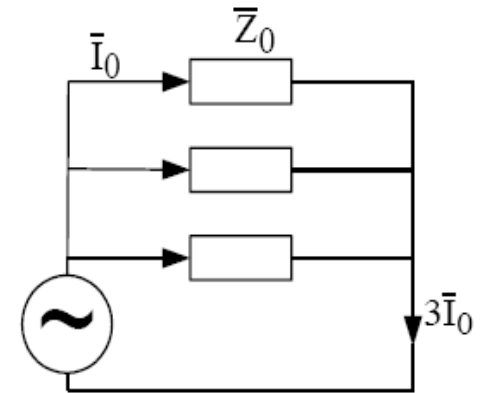
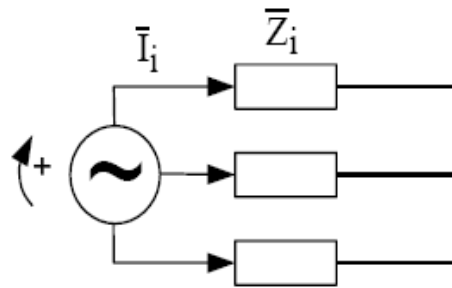
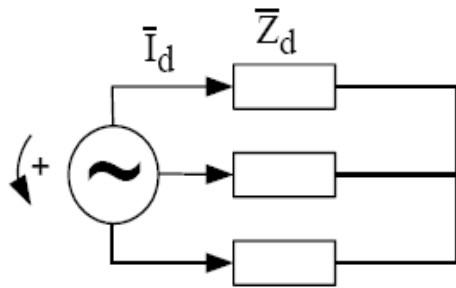
- Fazori originalnih struja faze I_A , I_B i I_C i fazori simetričnih komponenti I_0 , I_1 i I_2

$$\begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix}$$

$$\underline{a} = e^{j\frac{2\pi}{3}} = \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) + j\sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

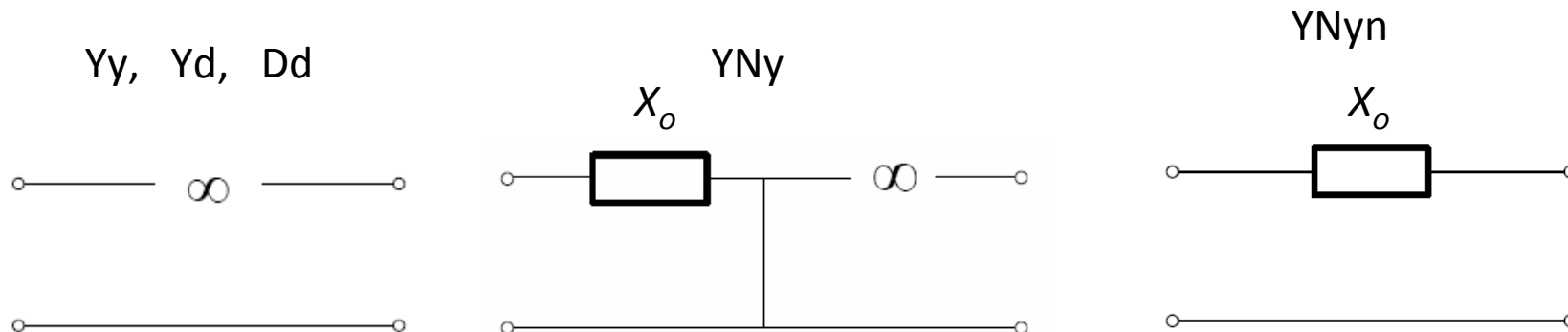
Nadomjesne shema u sustavu simetričnih komponenti

■ Direktni, inverzni i nulti sustav



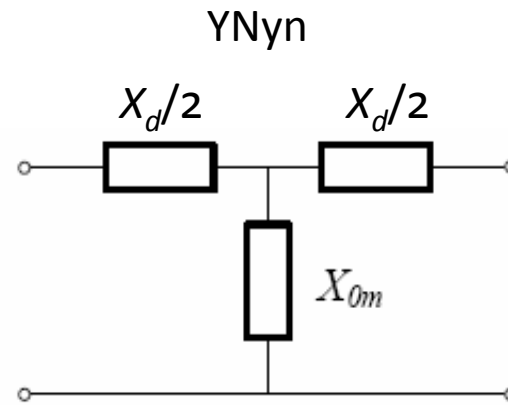
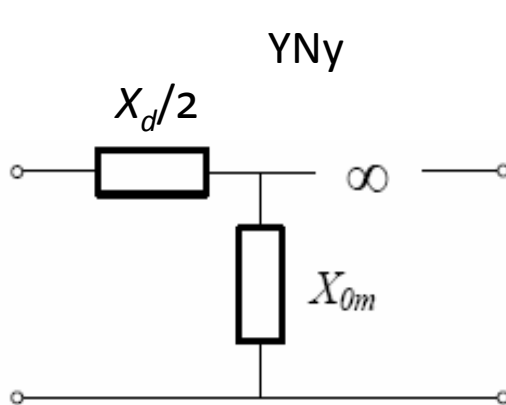
Reaktancije transformatora u simetričnim komponentama

- Reaktancija u direktnom sustavu je ona prikazana uobičajenom nadomjesnom shemom
- Inverzna reaktancija je jednaka direktnoj (kao kod svih pasivnih elemenata)
- Nulta reaktancija ovisi o izvedbi transformatora, spoju namota i uzemljenju nul-točke



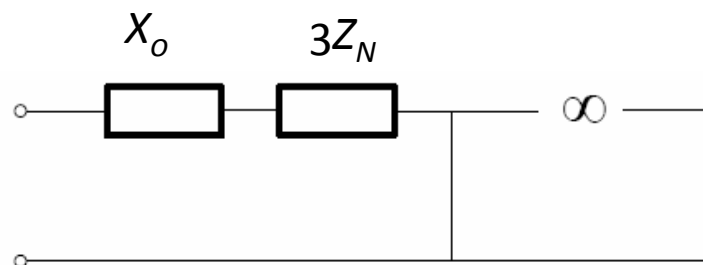
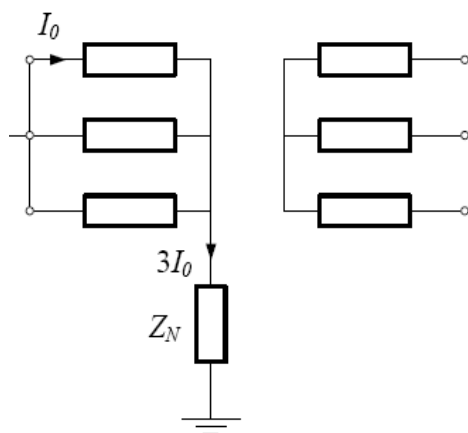
Struja magnetiziranja za spoj YN

- Nulta komponenta struje magnetiziranja ovisi o izvedbi jezgre trofaznog transformatora:
 - Trostupni: $X_{om} = (4 - 5) X_d$
 - Petrostupni: $X_{om} \leq X_m$
 - Tri jednofazna transformatora: $X_{om} = X_m = \sim 1000 X_d$

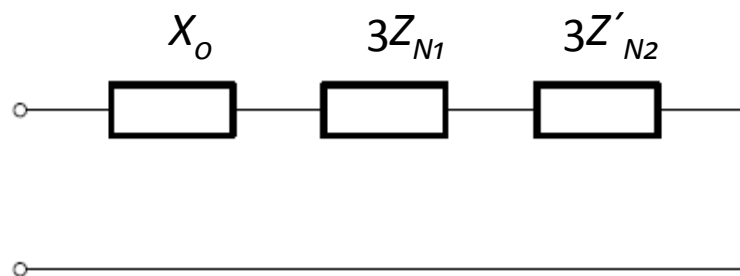
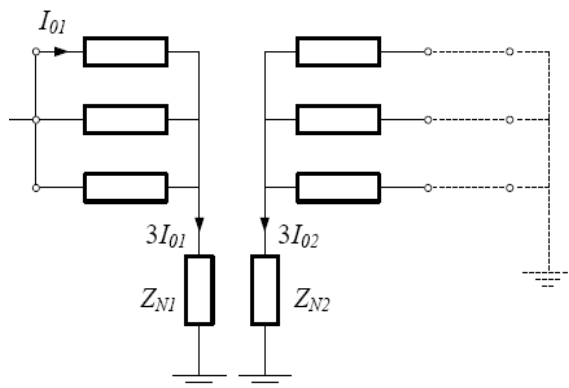


Nulta reaktancija transformatora s posredno uzemljenom nul-točkom

- Spoj YNy s posredno uzemljenom nul-točkom



- Spoj YNyn s obje posredno uzemljene nul-točke



Prijenos topline

- Pojava spontanog prijenosa topline u smjeru temperaturnog pada, tj. od tijela više temperature na tijelo niže temperature ili od toplijih prema hladnijim slojevima tijela.
- Tri načina prijenosa topline:
 - *provođenje* ili *kondukcija* (vođenje),
 - *konvekcija* (odvođenje) - prijelaz topline od fluida na čvrstu stjenku ili od stjenke na fluid,
 - *zračenje* ili *radijacija* (isijavanje).

Jednadžba toplinskog stanja homogenog tijela

- Za homogeno tijelo mase m , specifičnog toplinskog kapaciteta c i površine A vrijedi:

$$\Phi_t dt = m c d\vartheta + A \alpha \vartheta dt$$

- Toplinski tok: Φ_t
- Koeficijent prijelaza topline: α
- Toplinski kapacitet tijela: mc
- Toplinska vodljivost tijela: $A\alpha$
- Maksimalno **zagrijanje** (nadtemperatura) tijela pri konstantnom dovodu topline:

$$\vartheta_m = \frac{\Phi_t}{A\alpha}$$

Zagrijavanje i hlađenje homogenog tijela (1)

- Ako su Φ_t , c i α konstante tada je rješenje jednadžbe toplinskog stanja kod zagrijavanja:

$$\vartheta = \vartheta_0 + (\vartheta_{\max} - \vartheta_0) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$$

- i hlađenja:

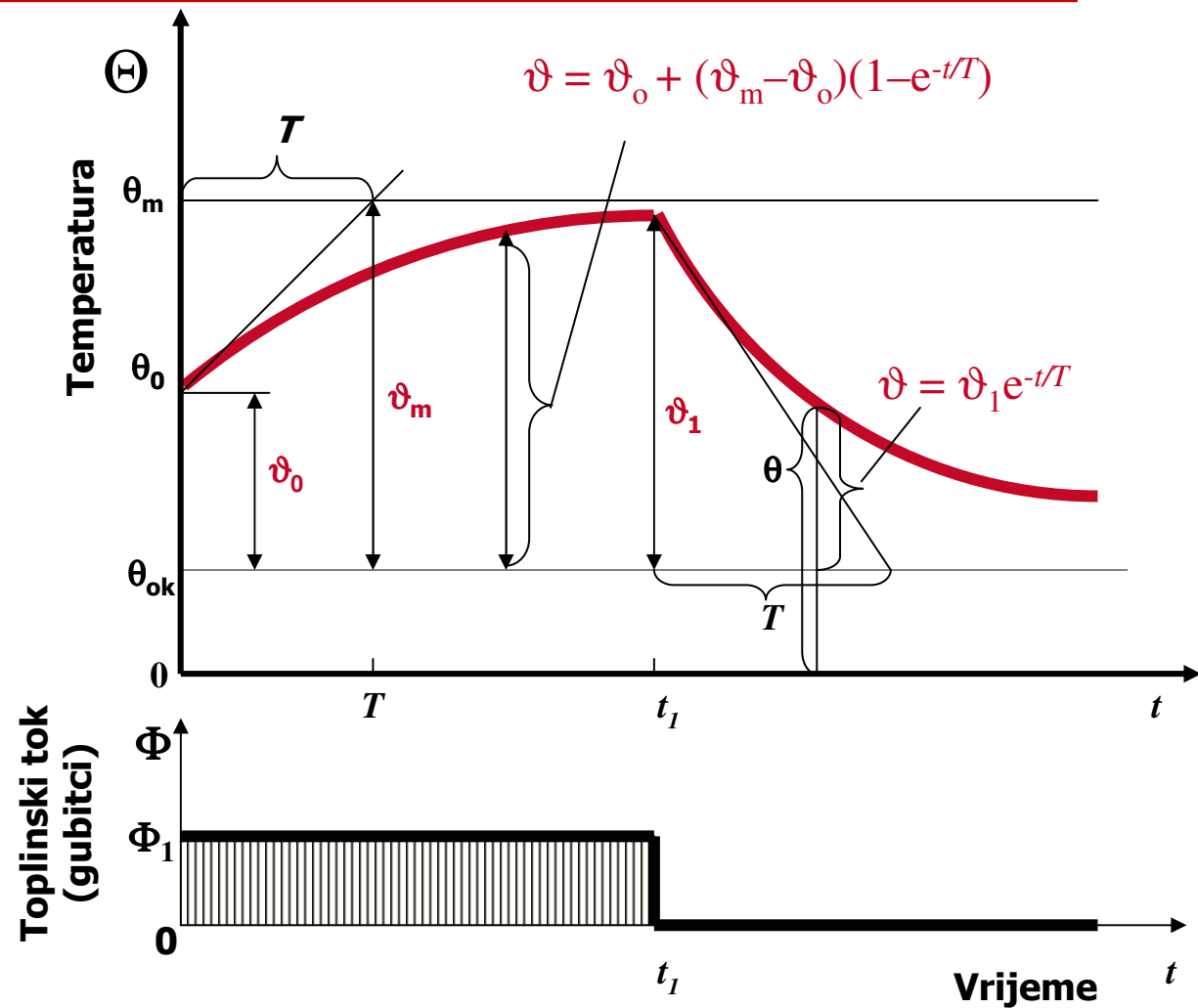
$$\vartheta = \vartheta_1 e^{-\frac{t}{T}}$$

- **Toplinska** vremenska konstanta: $T = \frac{m c}{A \alpha}$

Zagrijavanje i hlađenje homogenog tijela (2)

- θ – temperatura
- ϑ – nadtemperatura (zagrijanje)

$$T = \frac{mc}{A\alpha}$$

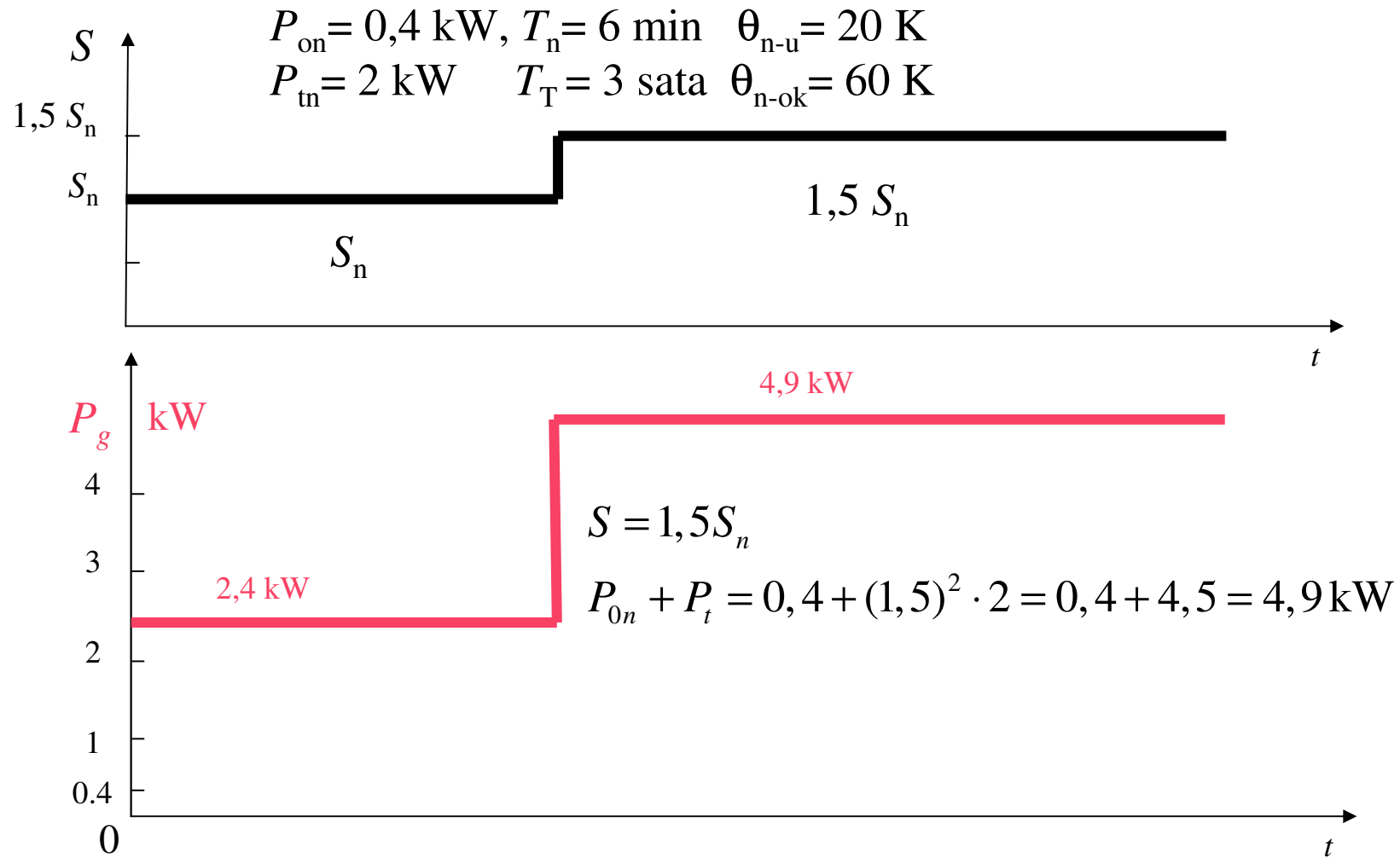


Toplinska vremenska konstanta namota i ulja i specifični toplinski kapacitet dijelova u transformatoru

- Transformator nije homogeno tijelo, ali se proces prijelaza topline zasniva na navedena tri načina.
- Toplinska vremenska konstanta prikazuje se s dvije konstante:
 - namota: T_n - iznos u minutama
 - ulja: T_u - iznos u satima
- Specifični toplinski kapacitet c (J/kg K)

| | | | |
|--------------------|-------|--------------|-----------|
| Bakar | 390 | Aluminij | 920 |
| Magnetski lim | 485 | Transf. ulje | 1800-1900 |
| Voda | 4190 | Papir u ulju | 1200 |
| Tvrđi papir u ulju | ~2000 | Bukovina | ~ 2000 |

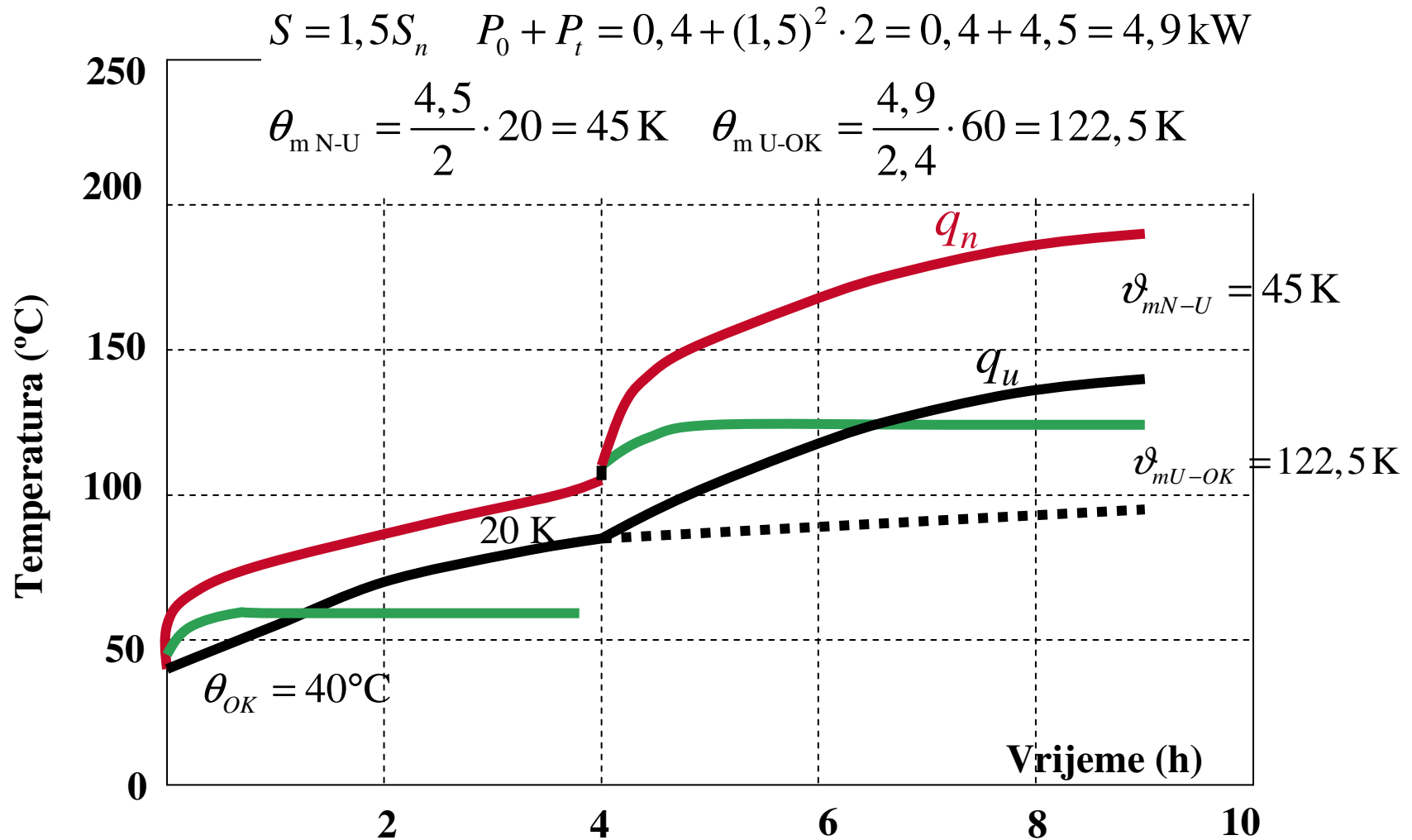
Transformator opterećen 4 sata sa S_n , a zatim s $1,5S_n$



Porast temperature namota i transformatorskog ulja

$$P_{on} = 0,4 \text{ kW}, T_n = 6 \text{ min} \quad q_{n-u} = 20 \text{ K}$$

$$P_{tn} = 2 \text{ kW} \quad T_T = 3 \text{ sata} \quad q_{n-ok} = 60 \text{ K}$$



Načini hlađenja transformatora

Oznaka načina hlađenja transformatora sastoji se od 4 slova:

1. Rashladno sredstvo namota
2. Način hlađenja namota
3. Rashladno sredstvo vanjskog hlađenja
4. Način hlađenja za vanjsko hlađenje

Rashladno sredstvo:

O – mineralno ulje,
L – sintetsko ulje,
G – plin,
W – voda,
A – zrak,
S – kruti materijali.

Način hlađenja:

N – prirodno,
F – prisilno,
D – dirigirano.

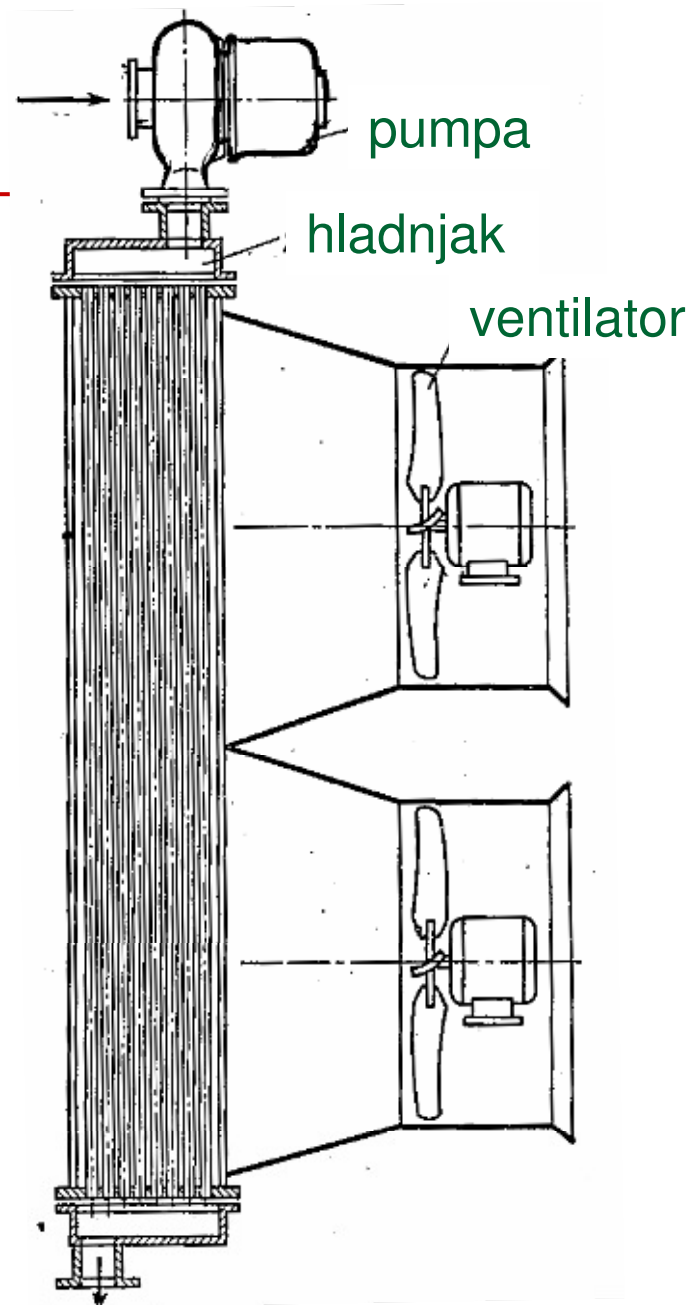
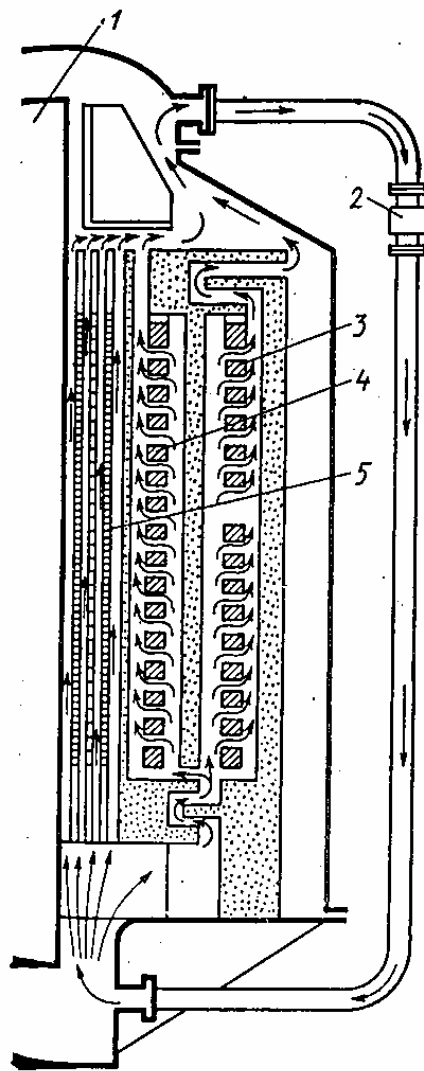
Primjeri oznake hlađenja transformatora:

- **ONAN** – hlađenje prirodnim strujanjem ulja oko namota, i zraka kao sekundarnog rashladnog sredstva (*uljni transformatori do 20 MVA*)
- **ONAN/ONAF** – do 80% snage ONAN, dalje se automatski uključuju ventilatori
- **ODWF** - hlađenje namota dirigiranim strujanjem ulja u kotlu, te sekundarnim rashladnim krugom u kojem prisilno struji voda (*najveći transformatori*)
- **AN** – suhi transformatori bez zaštitnog kućišta
- **ANAN** – suhi transformatori sa zaštitnim kućištem i prirodnim strujanjem zraka unutar i izvan kućišta
- **AF** – suhi transformatori za veće snage

Prisilno hlađenje transformatora

- 1 – jezgra
- 2 – pumpa
- 3 – VN namot
- 4 – SN namot
- 5 – NN namot

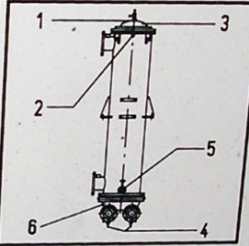
strelice
označavaju
smjer strujanja
ulja



Vodeni hladnjaci

- Na veće transformatore ponekad se ugrađuju hladnjaci koji rashlađuju ulje odvodom topline vodom umjesto zrakom
- Manjih su dimenzija ali zahtijevaju rashladnu vodu

| OIL WATER COOLER Execution with double tubes | | | Type: WKDH 63 Ex |
|---|--|--|------------------|
| Cooler output | | | 63 KW |
| Amount of oil circulation | | | 22,7 m³/h |
| Oil temperature in/out | | | 70,0/64,2 °C |
| Amount of water | | | 6,1 m³/h |
| Water temperature in/out | | | 25,0/34,0 °C |
| Weight of cooler (empty) | | | 140 Kg |
| Oil contents | | | 46 dm³ |



Dopušteno zagrijavanje transformatora prema IEC normi

| Dio | Dopušteno zagrijanje (K) | |
|---------------------------------------|--|---|
| <i>Uljni transformatori</i> namoti | 65 | za prirodno i prisilno strujanje ulja |
| | 70 | za dirigirano strujanje ulja |
| ulje u najvišem sloju | 65 | ako je ulje zaštićeno od pristupa zraka |
| | 55 | ako ulje nije zaštićeno od pristupa zraka |
| <i>Suhi transformatori</i> namoti | toplinska klasa | |
| | 60 | A |
| | 75 | E |
| | 80 | B |
| | 100 | F |
| | 125 | H |
| | 150 | C |
| Jezgra, metalni i ostali dijelovi | Temperatura ne smije biti tolika da može oštetiti jezgru ili susjedne dijelove | |

Suhi transformatori

(IEC 60076-11 Dry-type transformers)

- Nadtemperatura (zagrijanje) namota (Winding temperature-rise limits)

| Izolacijski sustav* (°C) | Srednja** nadtemperatura namota pri I_n (K) |
|--|---|
| 105 (A) | 60 |
| 120 (E) | 75 |
| 130 (B) | 80 |
| 155 (F) | 100 |
| 180 (H) | 125 |
| 200 | 135 |
| 220 | 150 |
| *Slovne oznake uz temperature su prema IEC 60085 ** Temperature se mjere prema točki 23 | |

Starenje izolacije

- Izolacija pod utjecajem temperature, kisika, vlage i drugih agenasa s vremenom stari.
- V. M. Montsinger istraživao je proces starenja izolacijskih materijala pod utjecajem temperature uzimajući kriterij kraja vijeka trajanja smanjenje vlačne čvrstoće za 50%.
- Vijek trajanja izolacije:

$$Z = Z_0 2^{-\frac{\vartheta - \vartheta_0}{\Delta}}$$

Vijek trajanja (životna dob)

- Z_0 - normalni vijek trajanja
 - θ_0 - normalna temperatura
 - Δ - konstanta materijala
 - θ - temperatura kojoj je izolacija izložena
- $$Z = Z_0 2^{\frac{\theta - \theta_0}{\Delta}}$$
- Konstanta materijala za izolaciju uljnih transformatora $\Delta = 6$ °C, a normalna temperatura $\theta_0 = 98$ °C.
 - Proces starenja po navedenoj formuli vrijedi u granicama temperature izolacije 80 °C do 130 °C.
 - Danas je prihvaćen pojam relativnog trošenja vijeka trajanja ν

Trošenje vijeka trajanja

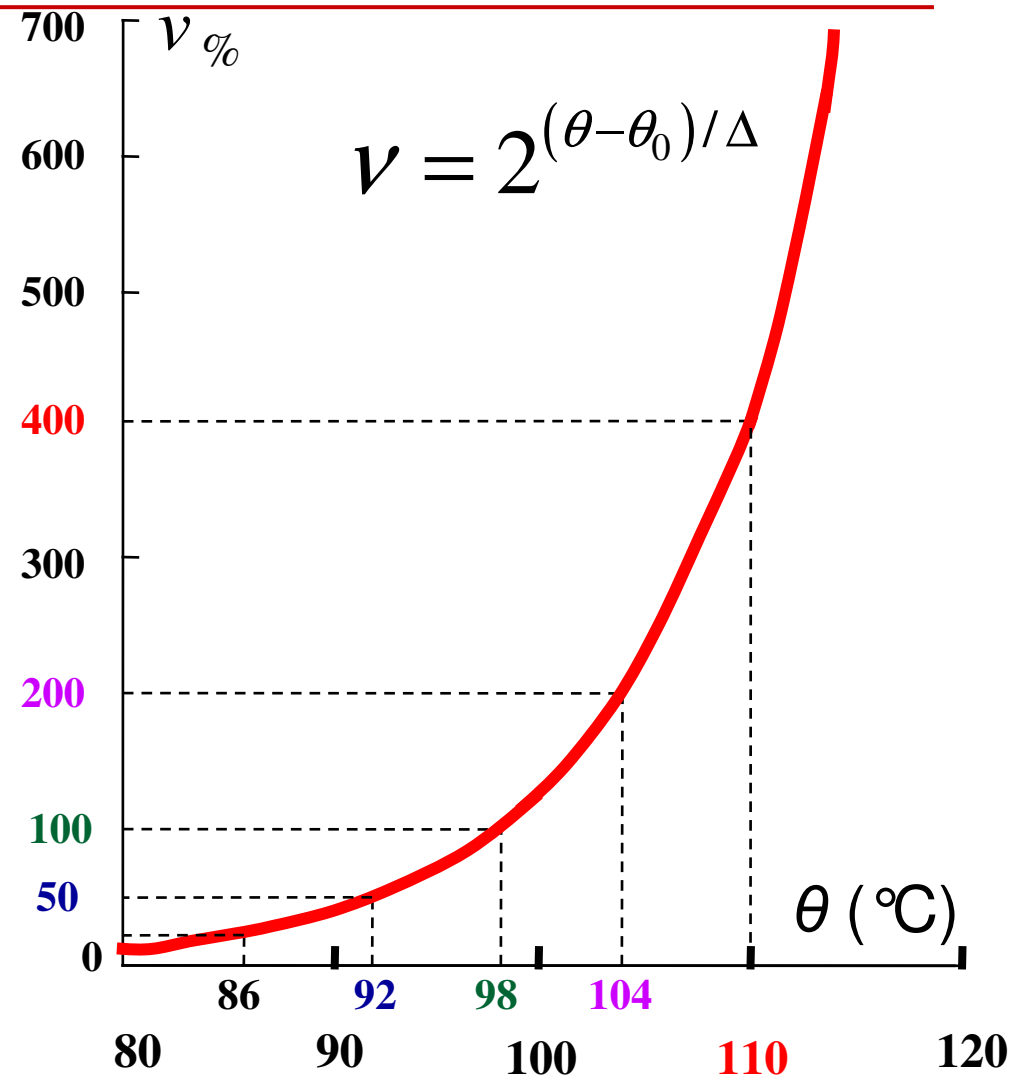
- Trošenje vijeka trajanja papirno-uljne izolacije ($\Delta = 6^\circ\text{C}$)

$$\nu = 2^{(\theta - \theta_0) / \Delta}$$

$$\nu_{\%} = 100\nu$$

- Istrošenost izolacije

$$I_Z = \frac{1}{Z_0} \sum_{i=1}^n \nu_{i\%} t_i$$



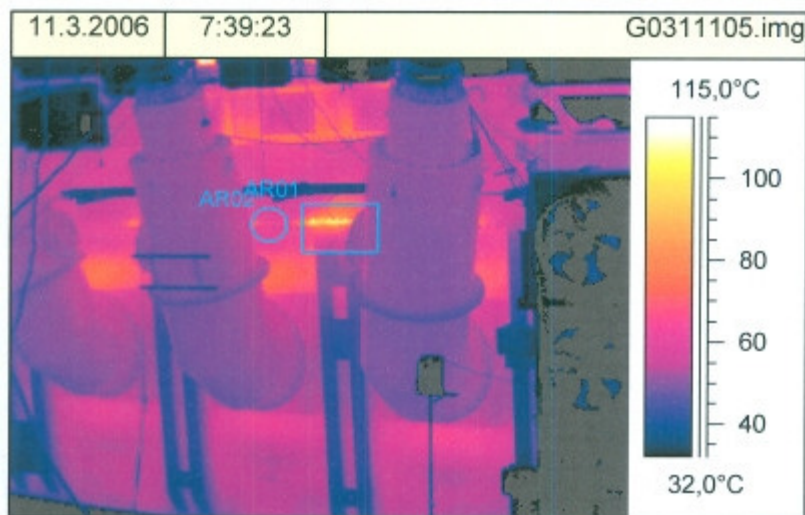
Pokus zagrijavanja

Svrha:

- Potvrda temičke ispravnosti TR (zagrijanje namota, najtoplije točke i zagrijanje ulja)
- Potvrda funkcionalnosti sustava za hlađenje
- Sposobnost preopterećenja po specifikaciji prema normi (IEC 60076-7)
- Temelj za procjenu vijeka trajanja

Način:

- Direktno mjerenje najtoplije točke - "hot spot" (fyber optičkim senzorima)
- Termovizijsko snimanje



Pokus zagrijavanja - Termički dijagram

Key

A Top-oil temperature derived as the average of the tank outlet oil temperature and the tank oil pocket temperature

B Mixed oil temperature in the tank at the top of the winding (often assumed to be the same temperature as A)

C Temperature of the average oil in the tank

D Oil temperature at the bottom of the winding

E Bottom of the tank

g_r Average winding to average oil (in tank) temperature gradient at rated current

H Hot-spot factor

P Hot-spot temperature

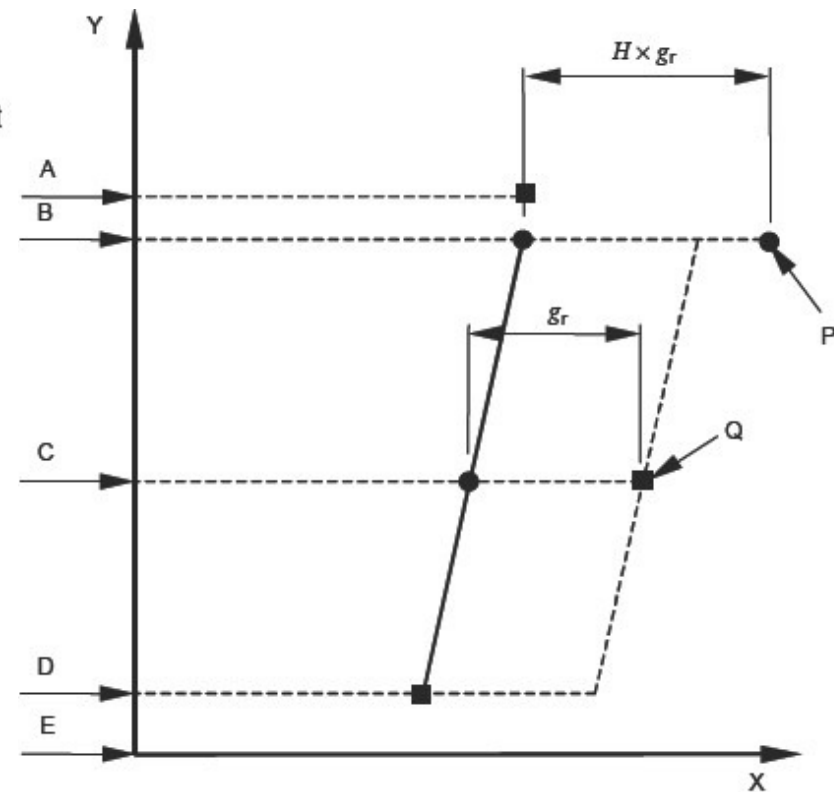
Q Average winding temperature determined by resistance measurement

X-axis Temperature

Y-axis Relative positions

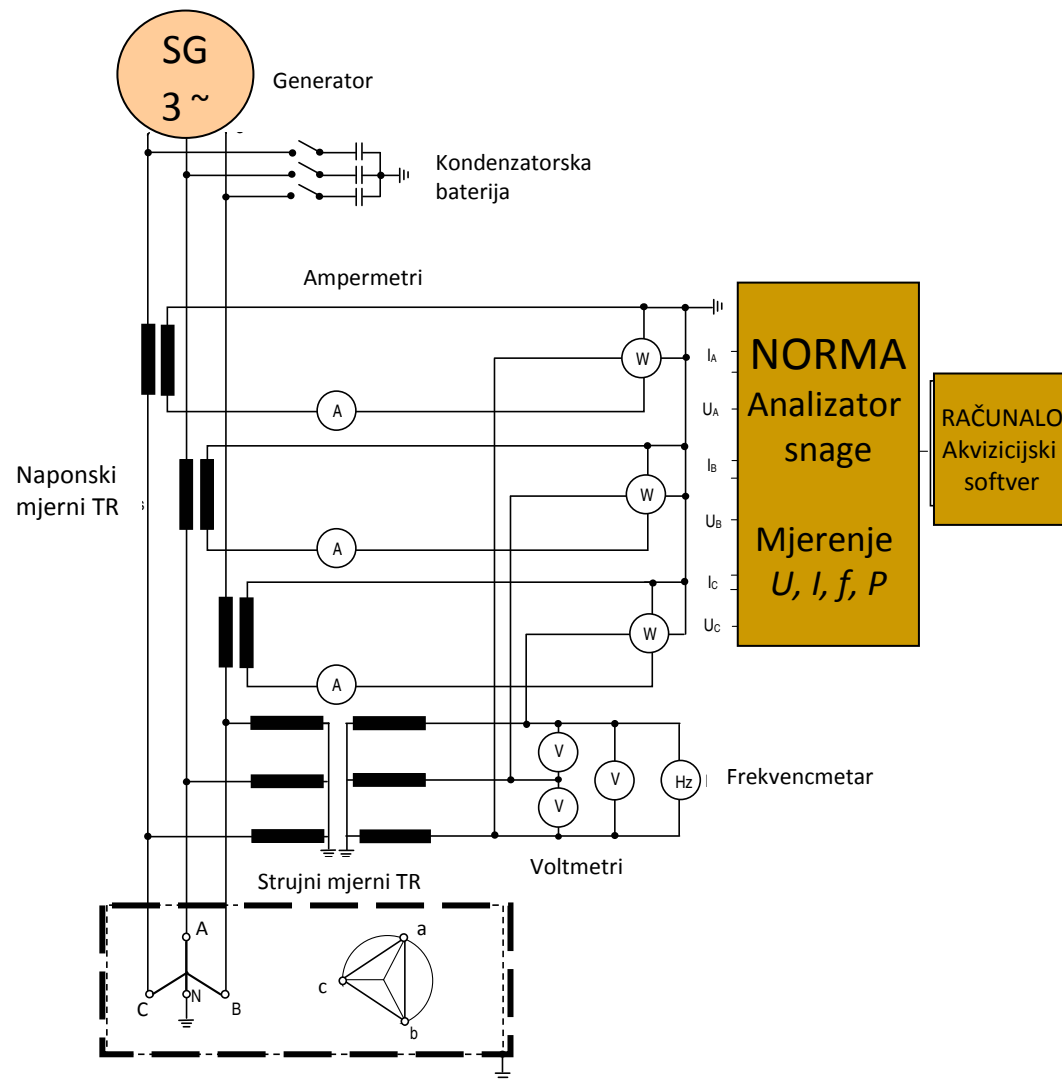
■ measured point; ● calculated point

Prema IEC 60076-7

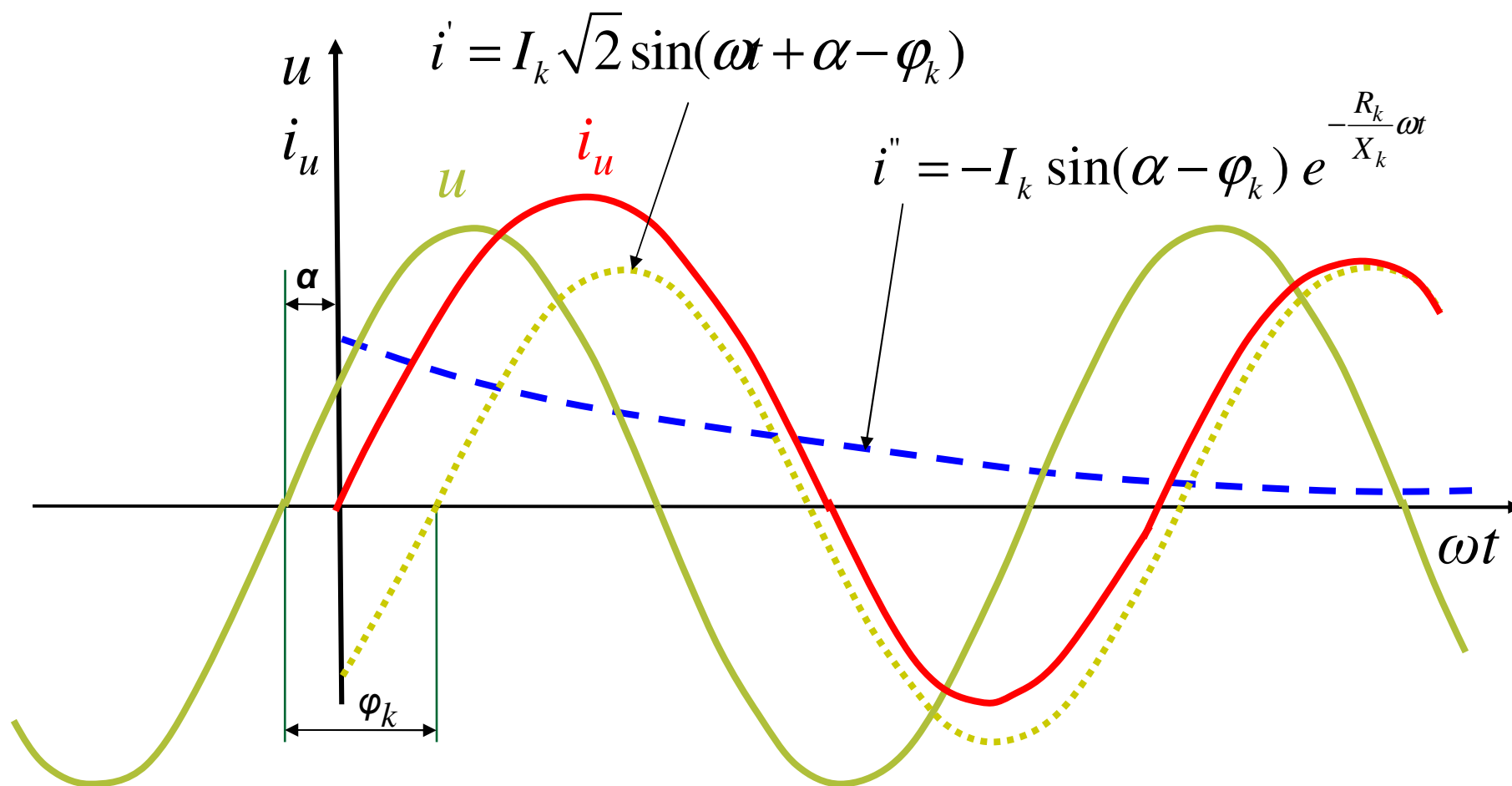


Shema spoja za pokus zagrijavanja transformatora

- Iz pokusa zagrijavanja određuju se:
 - teretni gubici P_t
 - napon kratkog spoja u_k



Struja kratkog spoja



Struja kratkog spoja (efektivna vrijednost)

Ako je impedancija mreže Z_s zanemariva, struja kratkog spoja se može računati:

$$I_k = \frac{U_n}{U_k} I_n = \frac{100}{u_{k\%}} I_n$$

Ako je $Z_s > 5\%Z_k$ struja se računa:

$$I_k = \frac{U_n}{(Z_k + Z_s)\sqrt{3}}$$

Tjemena vrijednost struje udarnog kratkog spoja (prvi maksimum asimetrične struje):

Reaktancije i otpori transformatora i mreže:

$$X = X_k + X_S \quad R = R_k + R_S$$

Ako je omjer X/R nepoznat, k_k se računa:

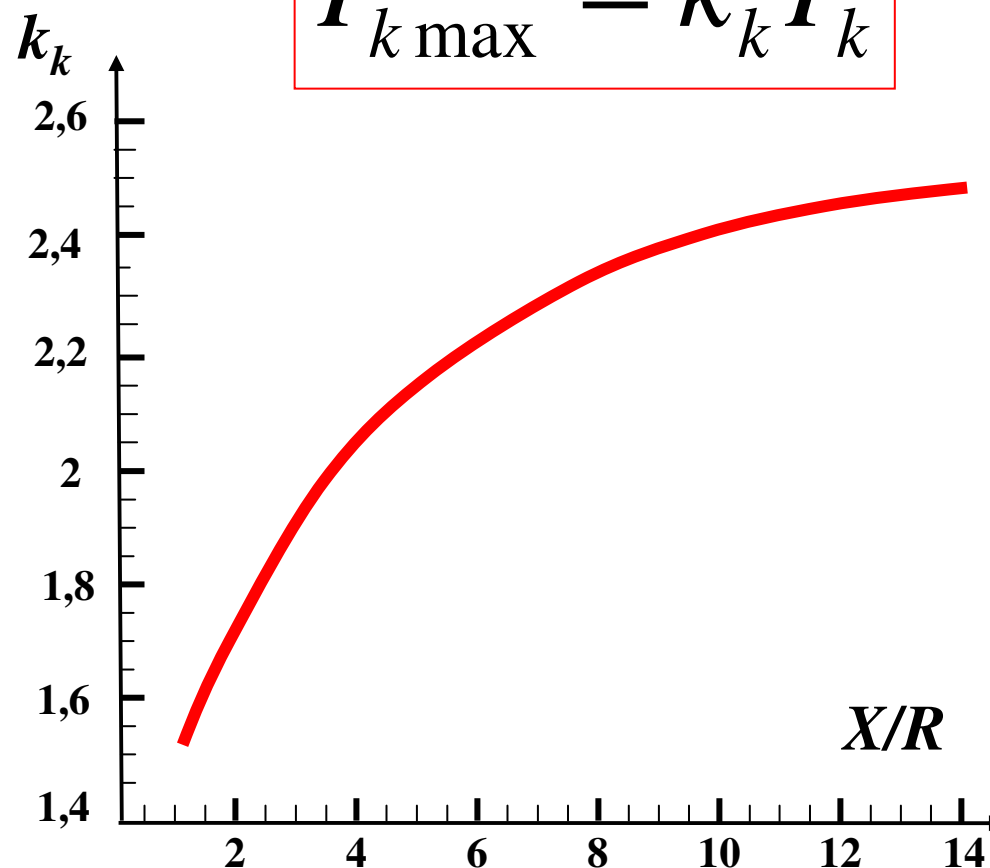
$$k_k = 1,8\sqrt{2} = 2,55$$

I_{kmax} se može računati i kao:

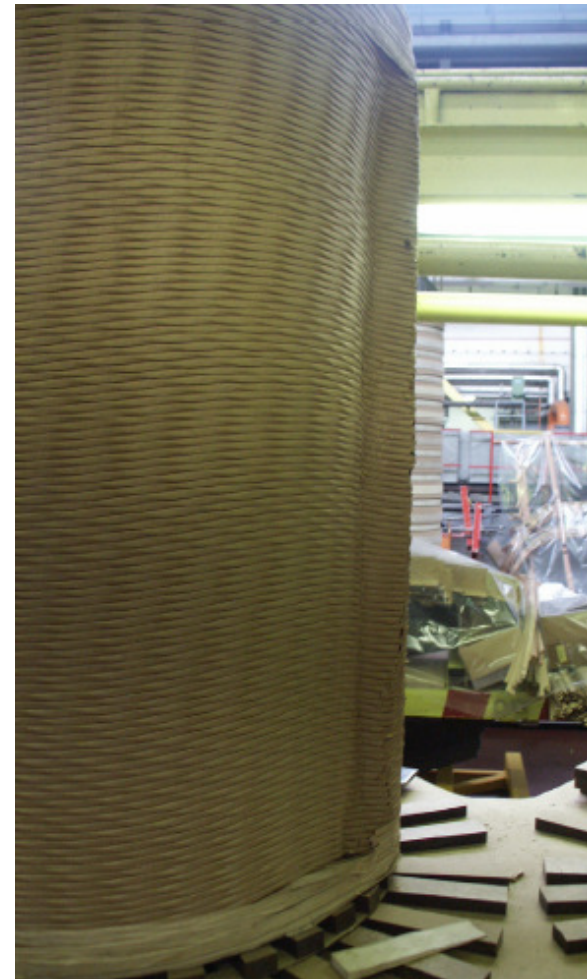
$$I_{kmax} = k_u \sqrt{2} I_k$$

$$k_u = 1 + e^{-\frac{1}{2fT}} = 1 + e^{-\frac{\pi R}{X}}$$

$$I_{kmax} = k_k I_k$$



Deformacije namota nastale zbog kratkog spoja transformatora u pogonu



Sile na namote u transformatoru u kratkom spoju

Sile računamo iz magnetske energije rasipnog polja

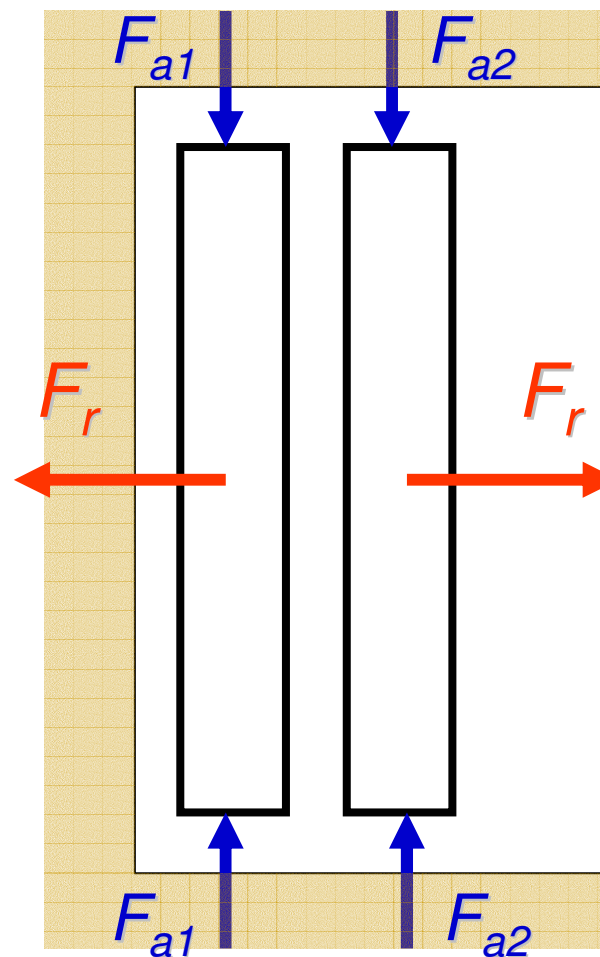
$$A_{\sigma} = \frac{i^2}{2} w^2 \mu_0 \frac{D_s \pi}{l_{\sigma}} \delta_r$$

■ Radijalna sila F_r

$$F_r = \frac{\partial A_{\sigma}}{\partial \delta_r} = \frac{i^2}{2} w^2 \mu_0 \frac{D_s \pi}{l_{\sigma}}$$

■ Aksijalna sila F_a

$$F_a = \frac{\partial A_{\sigma}}{\partial l_{\sigma}} = \frac{i^2}{2} w^2 \mu_0 \frac{D_s \pi}{l_{\sigma}^2} \delta_r = F_r \frac{\delta_r}{l_{\sigma}}$$



Tipska snaga

- Tipska snaga transformatora je nazivna snaga dvonamotnog transformatora bez regulacije. Ako imamo mogućnost regulacije napona za $+a_{\%}$ i $-b_{\%}$ treba jednom namotu dodati $a_{\%}$ zavoja, i presjek vodiča povećati za $b_{\%}$ da bi pri tom nižem naponu struja bila veća za $b_{\%}$. Tipska snaga takvog transformatora da nema regulacije je približno:

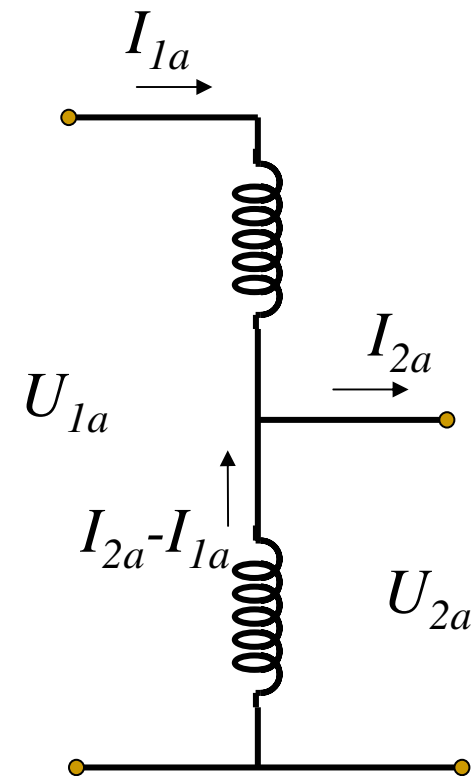
$$S_T = S_N \left(1 + \frac{a_{\%} + b_{\%}}{200} \right)$$

- Ako postoji treći namot nazivne snage S_3 tipska snaga je:

$$S_T = S_N \left(1 + \frac{a_{\%} + b_{\%}}{200} + \frac{S_3}{2S_N} \right)$$

Autotransformator – transformator u štednom spoju

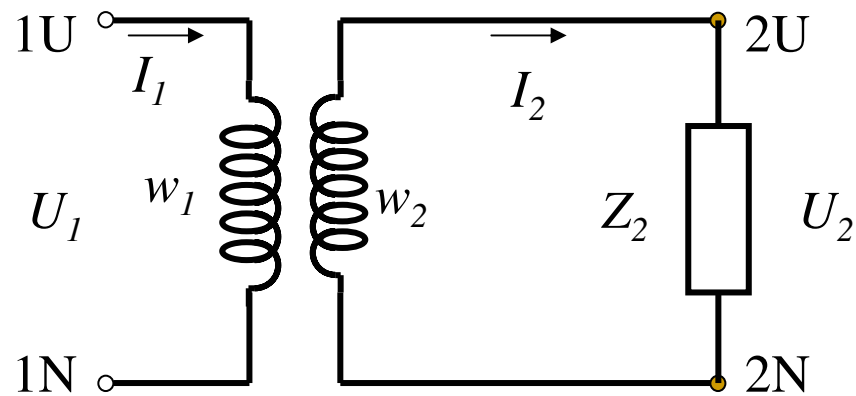
- Autotransformator je transformator u kojem su barem dva namota kruto spojena u zajednički namot.
- Višenaponska strana namota sastoji se od serijskog i zajedničkog (paralelnog) namota.
- Niženaponska strana se sastoji samo od zajedničkog namota.
- U autotransformatoru samo se dio snage transformira induktivnim putem, dok se preostali dio prenosi direktno s primara na sekundar preko galvanske veze namota.



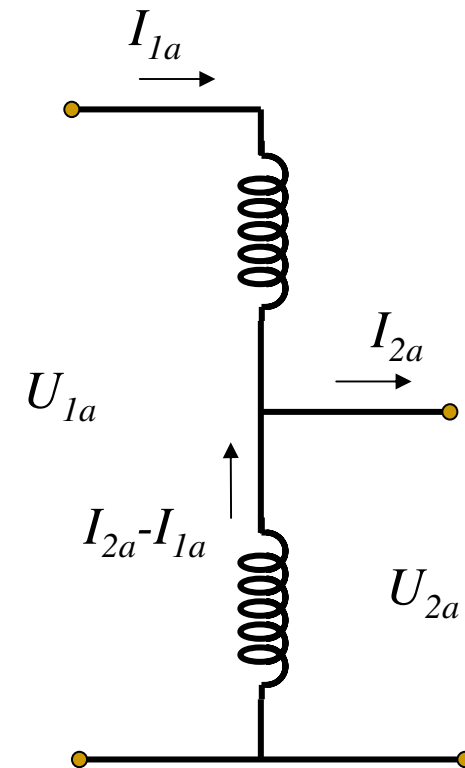
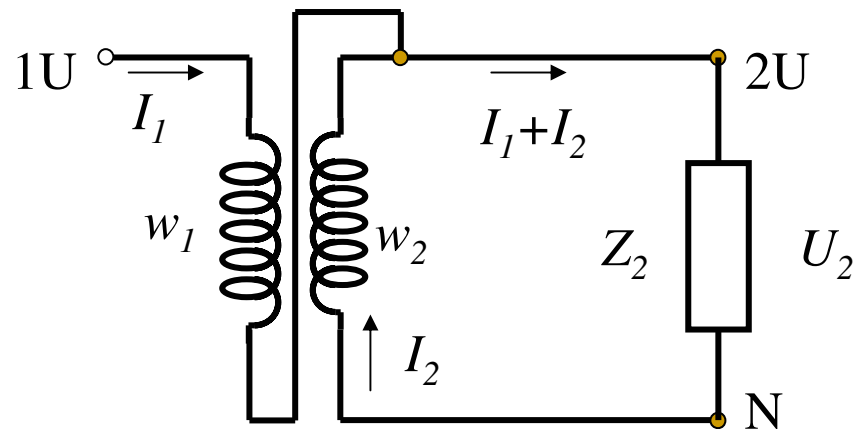
Prednosti i nedostaci autotransformatora

- Prednosti autotransformatora prema dvonamotnom transformatoru za iste napone i snagu u osnovi se sastoji u manjim dimenzijama, nižim gubicima, većoj korisnosti, lakšem transportu i nižoj cijeni.
- Negativne strane autotransformatora proizlaze iz galvanske veze primarnog i sekundarnog kruga i time direktnog prijenosa prenapona s jednog sustava na drugi.
- Spoj trofaznog namota autotransformatora mora biti u zvijezda spoju da bi se mogao jedan izvod zajedničkog namota uzemljiti.
- Izolacijski sustav autotransformatora je kompleksniji zbog gotovo redovito izvedenih dodatnih regulacijskih zavoja.

Shema autotransformatora



$$k_a = U_{1a} / U_{2a} = (w_1 + w_2) / w_2$$



Snaga autotransformatora

$$S_a = U_{1a} I_{1a} = (U_1 + U_2) I_1$$

$$S_a = U_1 I_1 \left(1 + \frac{U_2}{U_1} \right)$$

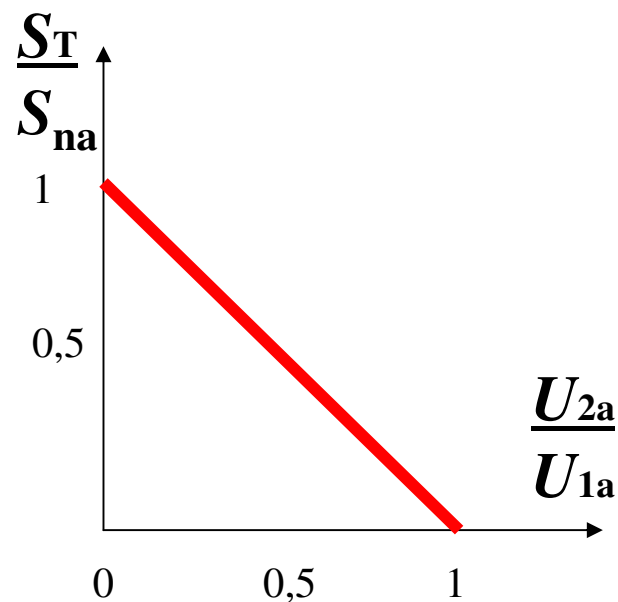
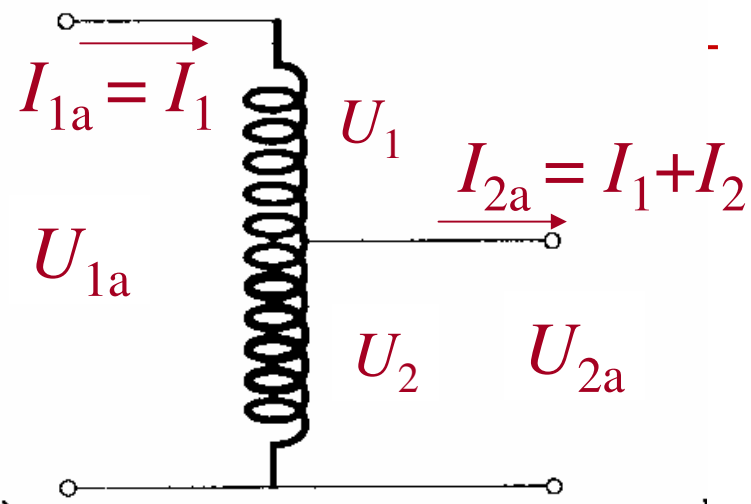
$$S_a = S_T \frac{U_{1a}}{U_{1a} - U_{2a}}$$

Tipska snaga:

$$S_T = S_a \left(1 - \frac{U_{2a}}{U_{1a}} \right)$$

Faktor redukcije:

$$q = \frac{S_T}{S_a} = \left(1 - \frac{U_{2a}}{U_{1a}} \right)$$



Napon kratkog spoja autotransformatora

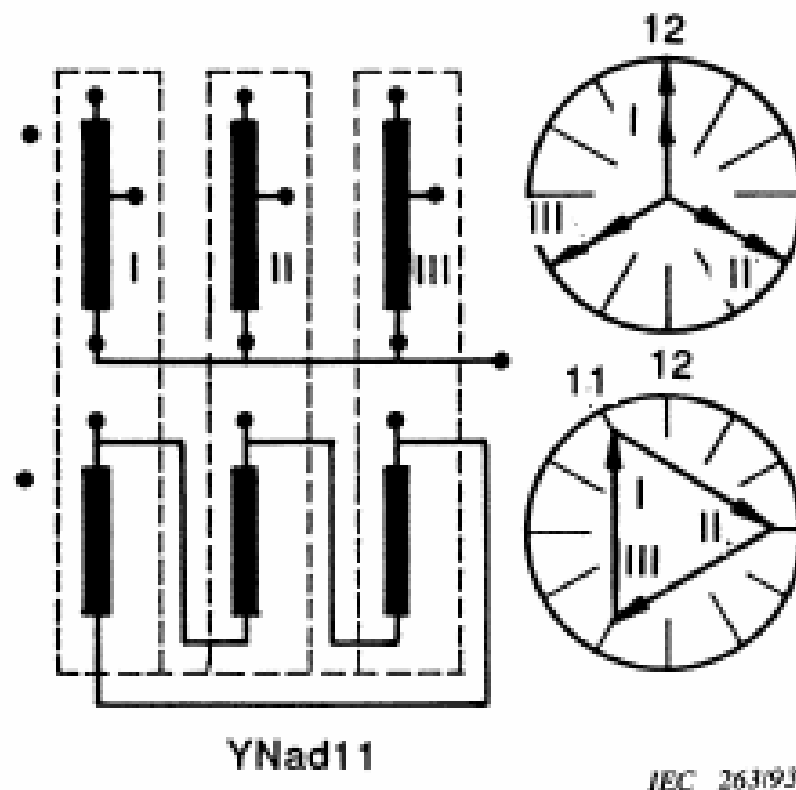
- Napon kratkog spoja s VN strane u postotnom iznosu je manji jer je primarni napon veći (umjesto U_1 bazni je napon $U_{1a} = U_1 + U_2$):

$$u_{ka\%} = 100 \frac{Z_k}{\frac{U_a^2}{S_a}} = 100 \frac{Z_k S_T \frac{U_{1a}}{U_{1a} - U_{2a}}}{\left(\frac{U_{1a}}{U_{1a} - U_{2a}} \right)^2 U_n^2} = u_{k\%} \frac{U_{1a} - U_{2a}}{U_{1a}}$$
$$u_{ka\%} = u_{k\%} \frac{S_T}{S_a}$$

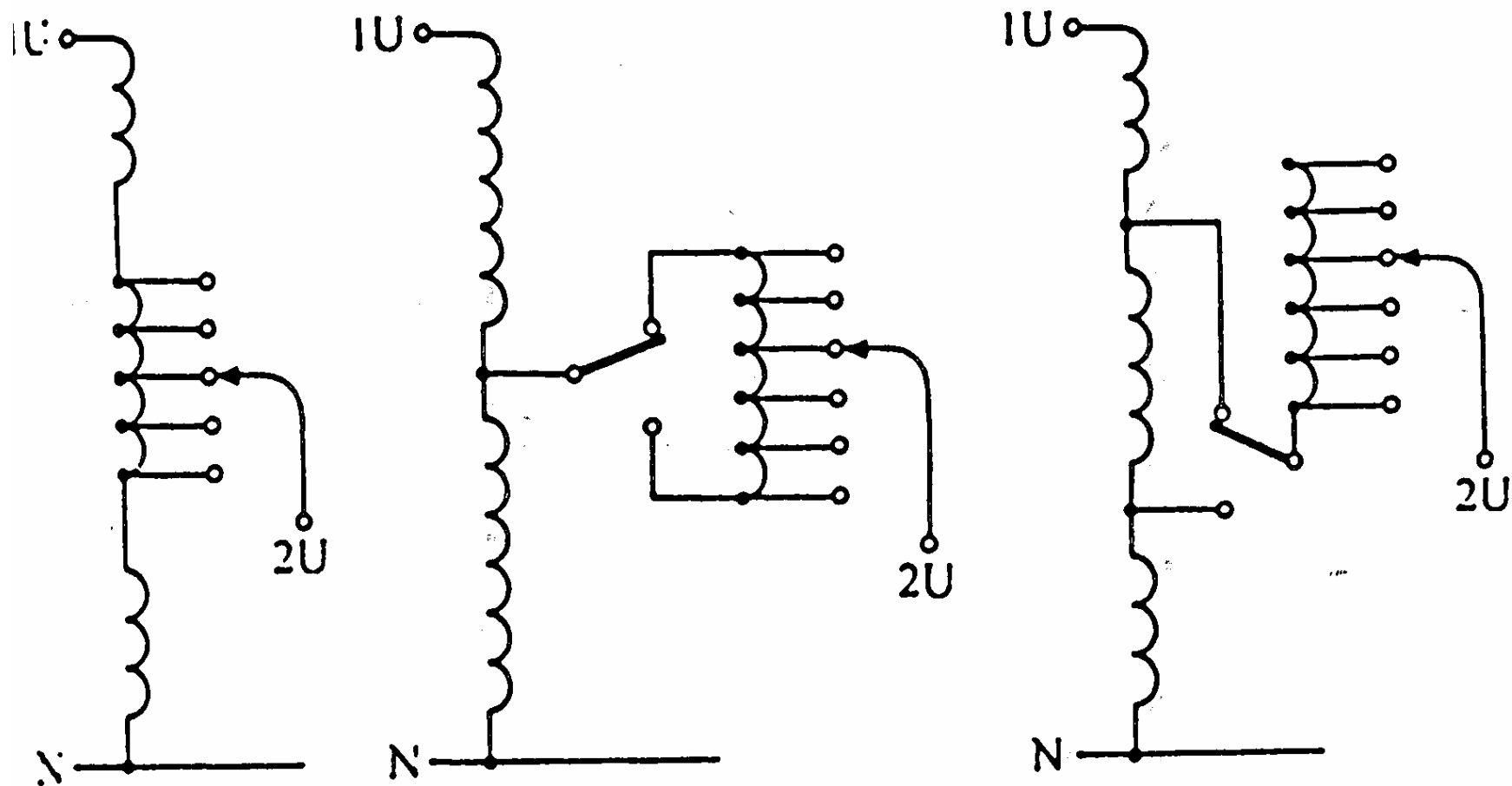
- Zbog manjih struja kratkog spoja u mreži često je zahtjev kupaca da u_{ka} bude većeg iznosa (čak i do 40%), pa se autotransformator mora raditi s posebnom konstrukcijom namota koje karakteriziraju povećani dodatni gubici.

Primjena autotransformatora

- Zbog uštede se često primjenjuju autotransformatori za velike snage pri povezivanju VN mreža (400, 220 i 110 kV). Najčešće se izrađuju tronamotni transformatori s VN i SN namotima spojenim u zvijezdu u štednom spoju, a NN namot je galvanski odvojen i spojen je u trokut. Taj se tercijar obično ne koristi za napajanje svoje mreže; tada ga nazivamo stabilizacijski namot kojim se ostvaruje da u magnetskom toku i induciranom naponu nema trećeg harmonika.
- Često se autotransformatorima dograđuje regulacijska sklopka zbog mogućnosti podešavanja prijenosnog omjera pod teretom.



Regulacija napona autotransformatora (napon VN strane čvrst)



Regulacija napona autotransformatora (napon VN strane promjenljiv)

