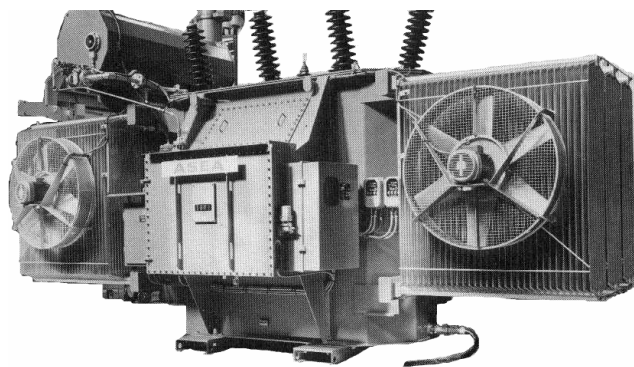
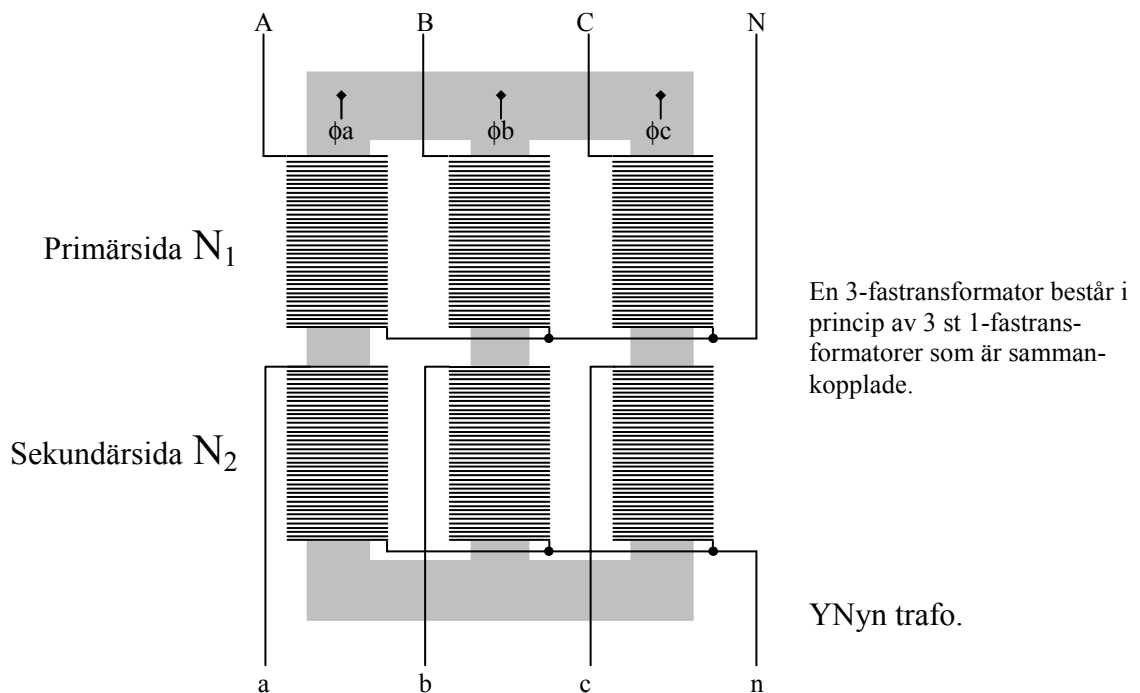


3-fastransformatorn



TRANSFORMATORN (3-fas)



KOPPLINGSSÄTT

Primärsidan kan D eller Y kopplas. Sekundärsidan kopplas D, Y eller Z. Z-koppling tar vi upp senare. Exempel på kopplingar:

	<i>Primärsida</i>	<i>Sekundärsida</i>	<i>Typ</i>
Dyn	D-kopplad	Y-kopplad med nolla	Blandad
YY	Y-kopplad	Y-kopplad	Ren

Primärsidans beteckningar: VERSALER (stora bokstäver)

Sekundärsidans beteckningar: gemener (små bokstäver)

OMSÄTTNING (W)

När det gäller 3-fastransformatorer anger man omsättningsförhållandet med hjälp av U_{1n} och

U_{2n} enligt: $w = \frac{U_{1n}}{U_{2n}}$. Att använda lindningsvarven på N_1 och N_2 blir komplicerat då hänsyn

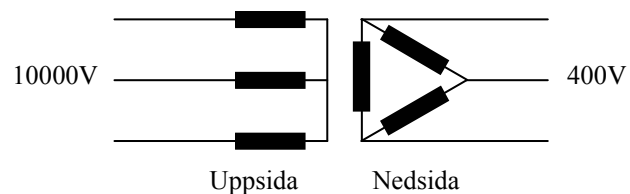
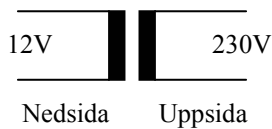
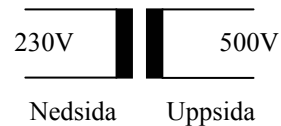
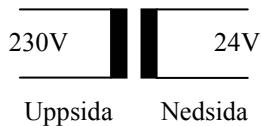
måsta tas till transformatorns kopplingssätt, därav används märkspänningarna.

UPP- RESP. NEDSIDA

Vid större transformatorer talar man ofta om uppsida eller uppspänning samt nedsida eller nedspänning. Kort kan man förklara det enligt:

Den sida (primär- eller sekundärsida) som antar den högre spänningen benämns *uppsida* och
Den sida (primär- eller sekundärsida) som antar den lägre spänningen benämns *nedsida*

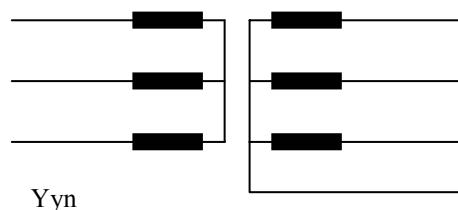
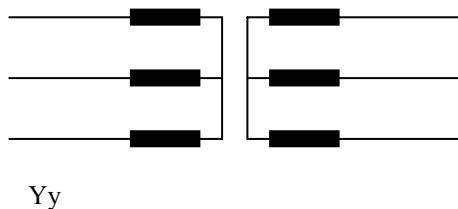
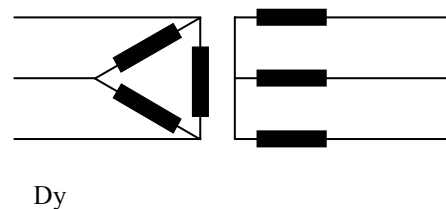
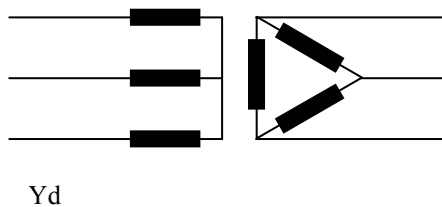
Exempel



KOPPLINGSSÄTT OCH MÄRKNING

3-fastransformatorer kan kopplas med i princip 3 sätt, Y, D och Z koppling.

Exempel



Versaler (stora tecken) avser primärsidan.
Germener (små tecken) avser sekundärsidan.

Om tillägget n förekommer som i Yyn innebär detta att transformatorn har en neutralledare (nolledare) på sekundärsidan.

Räkna 42-44

MÄRKSPÄNNINGAR

En transformators märkspänningar anges vid olika tillstånd för olika typer. För

- Småtransformatorer anges de vid full last och för
- Krafttransformatorer anges de i tomgång.

Transformatorer delas in enligt

	1-fas	3-fas	Märkspänningarna anges vid
Småtransformatorer	$0 < 1,0 \text{ kVA}$	-	Märklast (full last)
Krafttransformatorer	$\geq 1,0 \text{ kVA}$	$\geq 5,0 \text{ kVA}$	Tomgång (obelastad)

Exempel

3-fas transformator

400/230V, 2kVA

Märkspänningarna U_{1n} (400 V) och U_{2n} (230 V) är angivna vid full last (2 kVA).

3-fas transformator

10,5/0,4kV, 800kVA

Märkspänningarna U_{1n} (10500 V) och U_{2n} (400 V) är angivna vid tomgång (~ 0 kVA).

Exempel

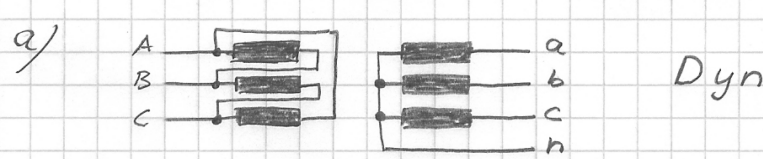
En 3-fastransformator är märkt 250 kVA, 10/0,4kV Dyn. På primärsidan har varje lindning 1600

trådar och på sekundärsidan 42 varv.

a. Rita transformatorns koppling.

b. Hur stor är sekundärspänningen i tomgång om primärspänningen håller 10 kV?

c. Hur stor är transformatorns omsättning w ?

a/ 

b/ Eftersom det är en krafttransformator är märkspänningarna angivna i tomgång.
Svar: 0,4 kV (400 V)

c/ $w = \frac{U_{10}}{U_{20}} \Rightarrow w = \frac{10 \cdot 10^3}{94 \cdot 10^3} \Rightarrow w = \underline{\underline{25}}$

MÄRKSTRÖM

För transformatorns märkströmmar gäller allmän ellära $(S = U \times I \times \sqrt{3})$ enligt:

Primärström $I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_{1n}}$

Sekundärström $I_{2n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_{2n}}$

Räkna 45-47

KLOCKSLAG

I 3-fastransformatörer fasförskjuts sekundärspänningen i förhållande till primärspänningen. Denna fasförskjutning anges i transformatorns beteckning med en siffra. Fasförskjutningen sker i steg om 30° , därmed kan vår vanliga klocka tillämpas, $360^\circ / 12 = 30^\circ$.

Exempel:

Dyn1 Klockslag 1 = 30° fasförskjutning

Fig.1 (visar spänningarna)

Yyn7 Klockslag 7 = 210° fasförskjutning

Fig.2 (visar spänningarna)

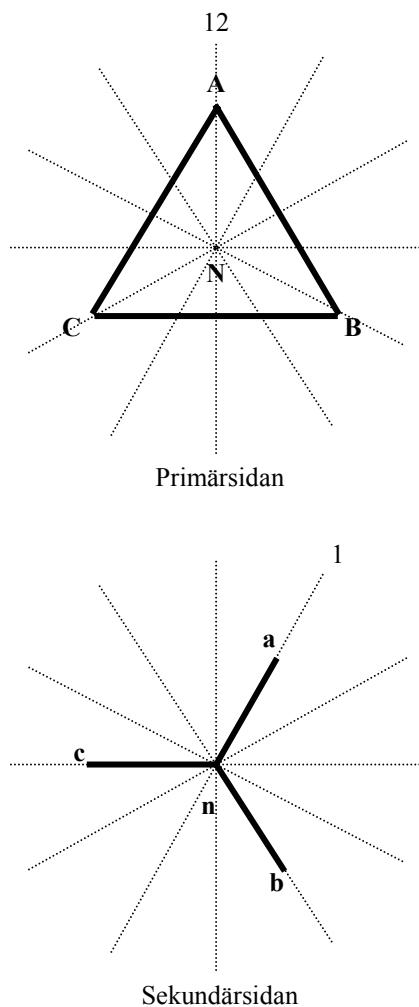


Fig. 1

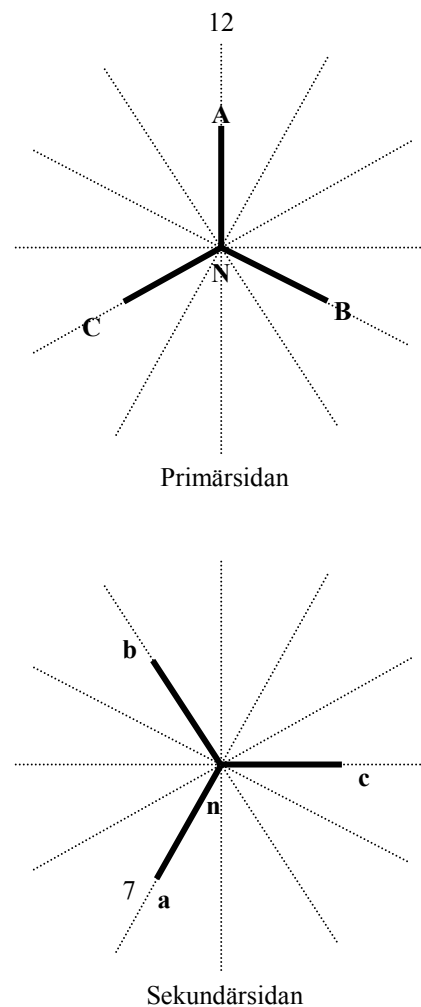
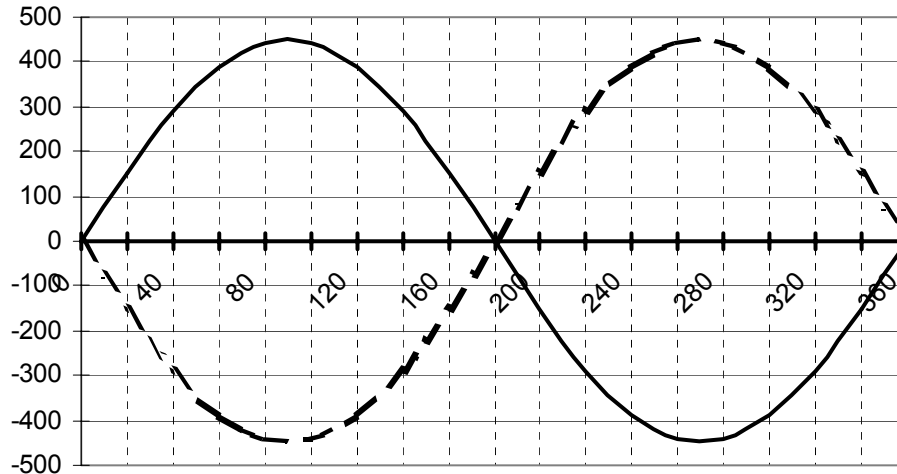


Fig. 2

Klockslaget anger alltså fasförskjutningen mellan spänningen A→N (vid D-koppling, den ”tänkta” nollan) och spänningen a→n (vid D-koppling, den ”tänkta” nollan). Detta innebär att vid parallellkoppling av 3-fastransformatorer måste samma klockslag användas på som skall parallellkopplas. Vid extremfallet, Dyn1 parallellt med Dyn7 uppstår en ren kortslutning på sekundärsidan, se vågdiagram nedan.



3 villkor vid parallellkoppling

- *Samma omsättning*

I princip menas samma tomgångsspänning. Kan orsaka cirkulerande reaktiv ström mellan dem.

- *Samma fasläge på nedsida*

L_1 , L_2 och L_3 skall ej vara fasförskjutna (klockslag)

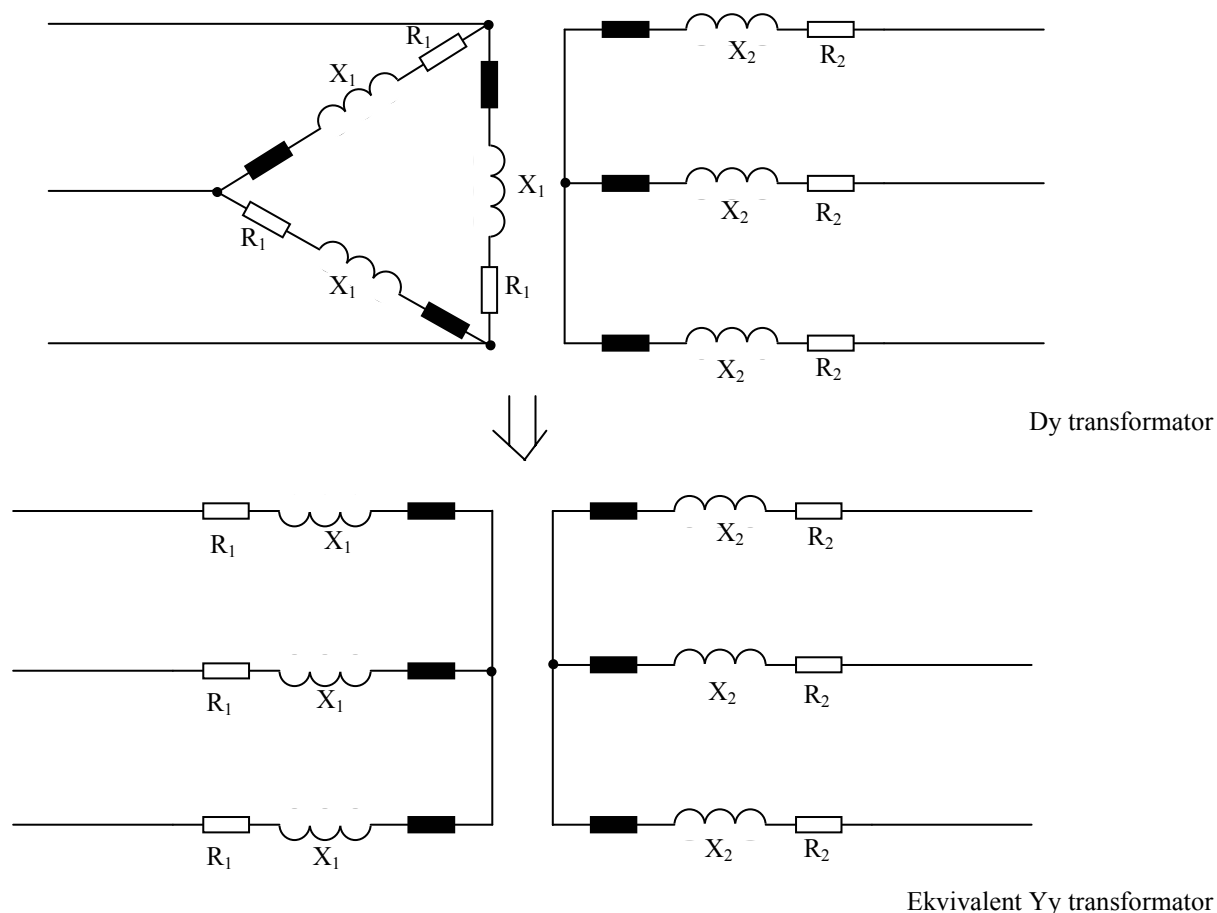
- *Samma z_k*

Helst också samma r_k och x_k . Orsakar spänningsfall och vid högre laster kan ena trafon gå med märklaster och den andra med överlast.

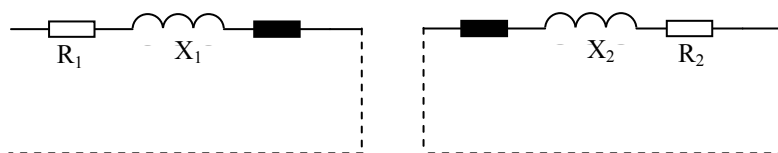
Räkna 48

KORTSLUTNINGS -resistans R_k'' -reaktans X_k'' och -impedans Z_k''

När man skall ta reda på R_k'' , X_k'' och Z_k'' gör man detta "1-fasigt" d v s. Man gör om 3-fastransformatoren till ekvivalent 1-fastransformator. Om transformatorn är en Yy så är denna operation relativt enkel. Om det däremot är en Dy försvåras det något. Därför när man räknar på 3-fastransformatorer anges alltid värden för ekvivalent Yy transformator.



Den fyllda rektangeln avser transformatorns ideala del (där U_2' och U_1'' återfinns). Om man nu gör en ekvivalent 1-fastransformator av kretsen ovan blir beräkningen enklare. Först görs värdena på primärsidan om till ekvivalenta Y-värden. Vi måste också simulera noll-ledaren (streckad ledning).



Ekvivalent Yy (3-fas) sett ur 1-fas perspektiv

Nu kan R_1 och X_1 reduceras till sekundärsidan enligt 1-fasmodellen.

Man kan också räkna på Z_k'' enligt $Z_k'' = \frac{U_{1k}'' / \sqrt{3}}{I_{2n}}$

Eftersom R_k'' och X_k'' i 3-fastransformatörer anges som relativa värden av Z tar vi reda på vad Z är.

Allmänt gäller

$Z = \frac{U}{I}$ eftersom vi befinner oss på sekundärsidan anger vi sekundärvärden

$Z = \frac{U_{2n}}{I_{2n}}$ eftersom transformatorn är Y-kopplad får vi

$Z = \frac{U_{2n} / \sqrt{3}}{I_{2n}}$ förlänger vi nu med U_{2n} får vi

$Z = \frac{U_{2n} \times U_{2n}}{I_{2n} \times \sqrt{3} \times U_{2n}}$ vi renskriver den och kallar Z för Z_{bas}''

vilket är referensvärdet för relativa värden av R_k'' och X_k'' .
Det som står under bråkstrecket är S .

$$Z_{bas}'' = \frac{U_{2n}^2}{S_n}$$

De relativa värden av R_k'' och X_k'' anges med gemener enligt:

r_k Relativa värdet av kortslutningsresistansen

x_k Relativa värdet av kortslutningsreaktansen

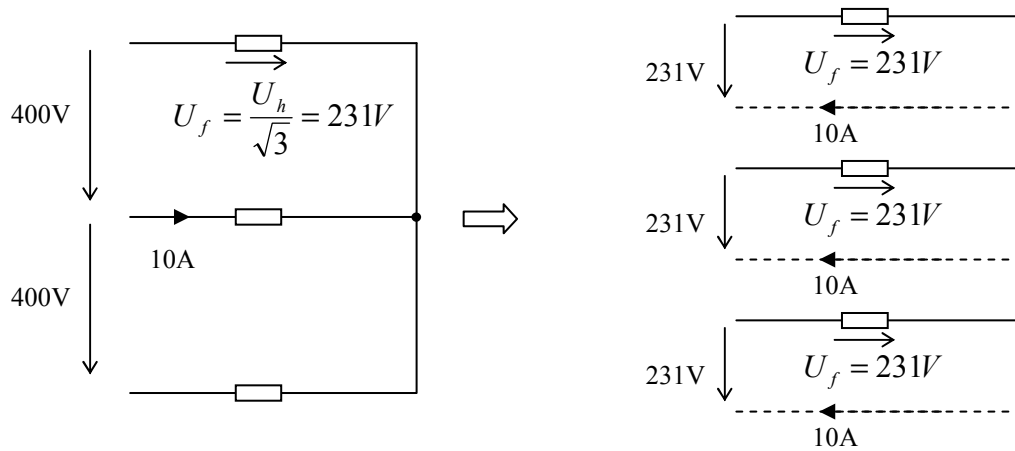
Formeln för dessa relativa värden är

$$r_k = \frac{R_k''}{Z_{bas}''}$$

$$x_k = \frac{X_k''}{Z_{bas}''}$$

KORTSLUTNINGSRESISTANSEN R_k''

Bestäms med ett s.k. kortslutningsprov som utförs enligt samma princip som för 1-fasträfo. Den totala (symetriska) 3-faseffekten är ekvivalent med 3st 1-faseffekter (allmän ellära).



3-faseffekt

$$P = U_h \times I \times \sqrt{3} \Rightarrow 400 \times 10 \times \sqrt{3} = 6928W$$

1-faseffekter

$$P_{1-fas} = U_f \times I \Rightarrow 231 \times 10 = 2310W$$

$$P_{3-fas} = U_f \times I \times 3 = 231 \times 10 \times 3 = 6930W$$

Med denna bakgrund kan man teckna formeln för R_k'' 1-fasigt enligt:

$$R_k'' = \frac{P_{bn} / 3}{I_{2n}^2}$$

Exempel

En 3-fastransformator har följande märkdata:

10,5±2,5%/0,4kV, Dyn 11

800 kVA

$P_0 = 1340 \text{ W}$

$P_b = 8950 \text{ W}$

$u_z = 5,2 \%$

$I_0 = 1,2 \%$

a. Beräkna transformatorns märkström på sekundärsidan (I_{2n})

b. Beräkna transformatorns R_k''

$$\begin{aligned} \text{a/} \quad S &= U \cdot I \cdot \sqrt{3} \\ \text{b/} \quad I_{2n} &= \frac{S_n}{U_{2n} \cdot \sqrt{3}} \Rightarrow \\ I_{2n} &= \frac{800 \cdot 10^3}{400 \cdot \sqrt{3}} \Rightarrow \\ I_{2n} &= \underline{\underline{1155 \text{ A}}} \\ \text{b/} \quad R_k'' &= \frac{P_{bn}/3}{I_{2n}^2} \Rightarrow \\ R_k'' &= \frac{8950/3}{1155^2} \Rightarrow \\ R_k'' &= \underline{\underline{2,24 \text{ m}\Omega}} \end{aligned}$$

Exempel

Beräkna r_k för transformatorn i det föregående exemplet.

$$x_k = \frac{X_k''}{Z_{bas}''} \quad r_k = \frac{R_k''}{Z_{bas}''}$$

r_k är ett relativt värde
av förhållandet av R_k'' och Z_{bas}''

Först måste således Z_{bas}'' beräknas

$$Z_{bas}'' = \frac{U_{2n}^2}{S_n} \Rightarrow Z_{bas}'' = \frac{400^2}{800 \cdot 10^3} \Rightarrow$$

$$Z_{bas}'' = 0,2$$

$$r_k = \frac{2,24 \cdot 10^{-3}}{0,2} \Rightarrow r_k = \underline{\underline{0,0112}}$$

Räkna 49-50

Sammanfattning

Vi har nu så mycket uppgifter att vi kan sammanfatta de väsentligaste begreppen för 3-fastransformatorn.

Kortslutningsimpedansen

$$Z_k'' = \frac{U_{1k}'' / \sqrt{3}}{I_{2n}}$$

Spänningen U_{1k}'' avser huvudspänningen reduceras till sekundärsidan.

Z_{bas}'' är referensvärdet för de relativa värdena av R_k'' och X_k''

$$Z_{bas}'' = \frac{U_{2n}^2}{S_n}$$

Referensvärdet för r_k och x_k

$$r_k = \frac{R_k''}{Z_{bas}''}$$

Relativa kortslutningsresistansen

$$x_k = \frac{X_k''}{Z_{bas}''}$$

Relativa kortslutningsreaktansen

$$R_k'' = \frac{P_{bn} / 3}{I_{2n}^2}$$

Kortslutningsresistansen

Eftersom vi hanterat värdena Z_k'' och R_k'' enfasigt kan man med Pythagoras beräkna

$$X_k'' = \sqrt{(Z_k'')^2 - (R_k'')^2}$$

Kortslutningsreaktansen

U₁ REDUCERAD TILL SEKUNDÄRSIDA

Vid reducering i 1-fas sammanhang har vi tillämpat $\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{1n}}{U_{2n}}$ enligt:

$$U_1'' = U_1 \times \left(\frac{U_{2n}}{U_{1n}} \right)$$

Pparentesen anger omsättningen. För 3-fastransformatörer anges omsättningen enligt:

$$w = \frac{U_{1n}}{U_{2n}}$$

Om vi utgår från formeln $U_1'' = U_1 \times \left(\frac{U_{2n}}{U_{1n}} \right)$ som är för 1-fastransformatorn måste vi räkna om spänningen till fasspänning enligt:

$$U_1'' / \sqrt{3} = (U_1 / \sqrt{3}) \times \left(\frac{U_{2n}}{U_{1n}} \right) \quad \text{Parentesen är omsättningen } \frac{1}{w} \text{ eller } w^{-1}$$

Vi kan nu skriva om formeln enligt:

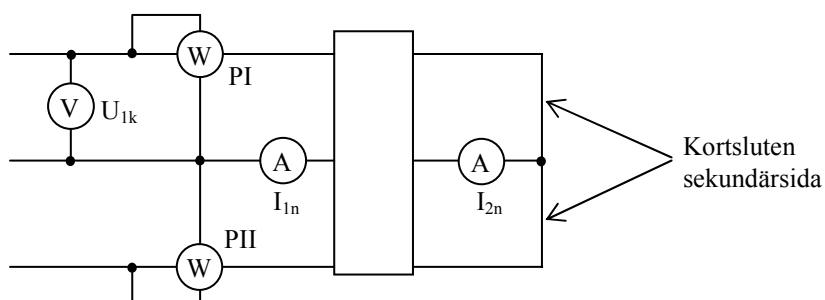
$$U_1'' / \sqrt{3} = (U_1 / \sqrt{3}) \times \left(\frac{1}{w} \right) \quad \text{Förlänger man med } \sqrt{3} \text{ får man:}$$

$$(U_1'' / \sqrt{3}) \times \sqrt{3} = (U_1 / \sqrt{3}) \times \left(\frac{1}{w} \right) \times \sqrt{3} \quad \sqrt{3} \text{ tar ut varandra. Vi får:}$$

$$U_1'' = U_1 \times \left(\frac{1}{w} \right)$$

KORTSLUTNINGSPROV

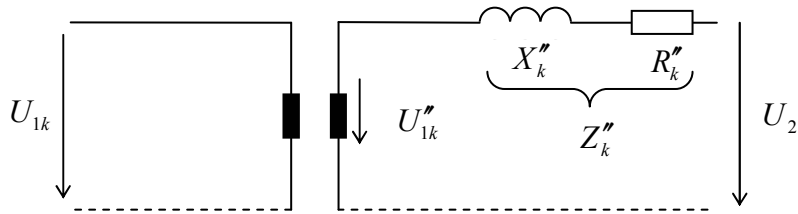
Provet utförs i princip som för en 1-fastransformatör



Belastningsförlusterna P_{bn} bestäms (med ovanstående 2 watt-metod) enligt:

$$P_{bn} = PI + PII$$

För att beräkna Z_k'' måste vi känna till U_{1k} för 1-fastransformatorn. Vi skissar på en 1-fastransformator då blir spänningen $U_{1k}'' = \frac{U_{1k(3-fas)}}{\sqrt{3}}$



För Z_k'' gäller då följande:

$$Z_k'' = \frac{U_{1k}'' / \sqrt{3}}{I_{2n}}$$

R_k'' beräknas enligt:

$$R_k'' = \frac{P_{bn} / 3}{I_{2n}^2}$$

Då P_{bn} är 3-faseffekten reducerar vi den till 1-faseffekt genom att dela med 3.

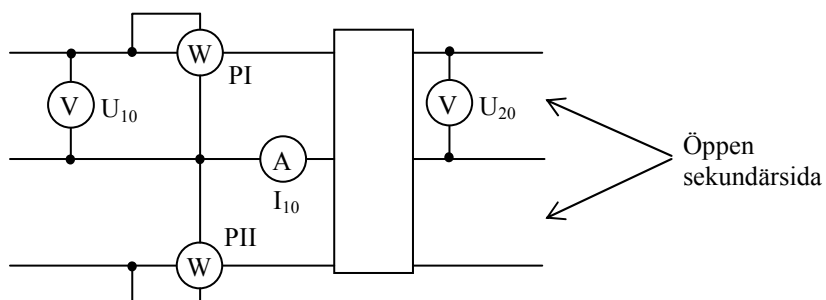
X_k'' beräknas enligt:

$$X_k'' = \sqrt{(Z_k'')^2 - (R_k'')^2}$$

Eftersom Z_k'' och R_k'' är 1-fasiga värden kan vi tillämpa Pythagoras.

TOMGÅNGSPROV

Som föregående prov utförs detta på samma sätt som för 1-fasprov. Provet bestämmer tomgångsförlusterna P_0 och omsättningen w .



Tomgångsförlusterna bestäms enligt:

$$P_0 = PI + PII$$

Omsättningen för 3-fastransformator benämns med w och bestäms enligt:

$$w = \frac{U_{1n}}{U_{2n}}$$

Effektfaktorn i tomgång bestäms enligt:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_{10} \times I_{10} \times \sqrt{3}}$$

VERKNINGSGRAD η

Allmänt gäller för verkningsgraden att den aldrig kan vara större än 1,0

Verkningsgraden är den procentuella skillnaden av det man får ut i aktiv effekt och av det man tillför. Detta kan skrivas:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{eller} \quad \eta = \frac{P_{ut}}{P_{in}}$$

För 3-fastransformatoren bestäms verkningsgraden på samma sätt som för 1-fastransformatoren enligt:

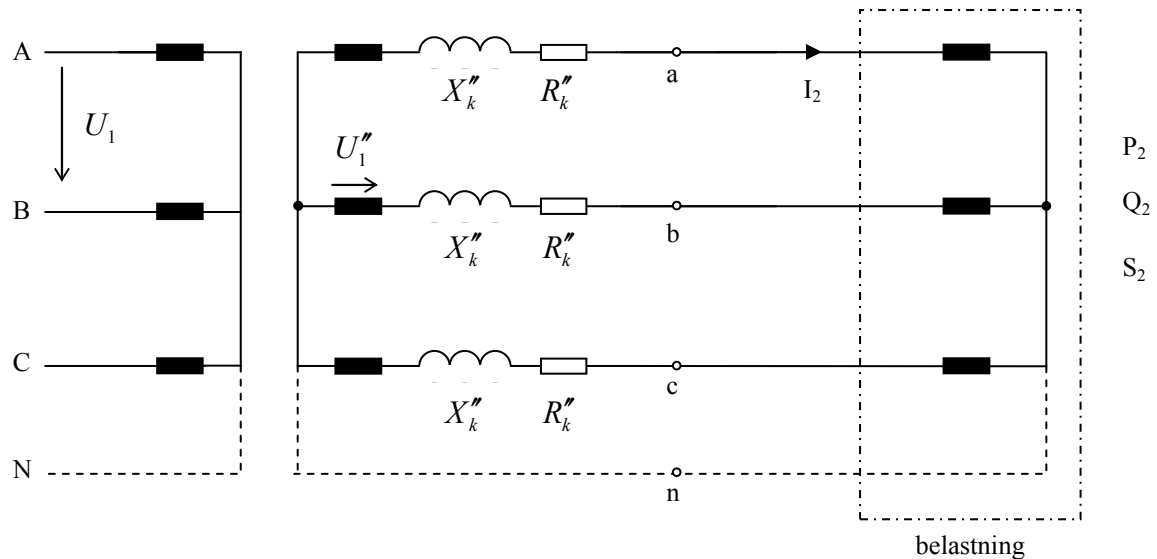
$$\eta = \frac{(S_2 \times \cos \varphi_2)}{(S_2 \times \cos \varphi_2) + P_0 + (P_{bn} \times X^2)}$$

X^2 är belastningsgraden som relateras till uttagen ström eller effekt

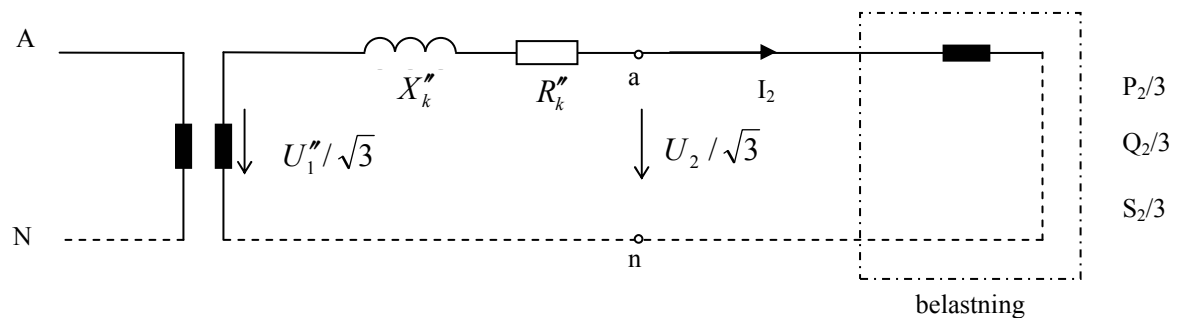
$$X = \frac{I_2}{I_{2n}} = \frac{S_2}{S_{2n}}$$

SPÄNNINGSFALL

Som tidigare utgår man från en ekvivalent Yy-transformator, se skiss



Vi gör nu ett ekvivalent 1-fas schema för kretsen ovan (nollan streckas).



För 1-fastransformatorn gäller:

$$U_2 = U_1'' - \left(R_k'' \frac{P_2}{U_{2n}} + X_k'' \frac{Q_2}{U_{2n}} \right)$$

För 1-fastrafon ovan gäller:

$$U_2 / \sqrt{3} = U_1'' / \sqrt{3} - \left(R_k'' \frac{P_2/3}{U_{2n}/\sqrt{3}} + X_k'' \frac{Q_2/3}{U_{2n}/\sqrt{3}} \right)$$

Förlängning med $\sqrt{3}$ ger:

$$(U_2 / \sqrt{3}) \times \sqrt{3} = (U_1'' / \sqrt{3}) \times \sqrt{3} - \left(\left(R_k'' \frac{P_2/3}{U_{2n}/\sqrt{3}} \right) \times \sqrt{3} + \left(X_k'' \frac{Q_2/3}{U_{2n}/\sqrt{3}} \right) \times \sqrt{3} \right)$$

Vi kan forkorta en hel del nu:

$$(U_2 / \cancel{\sqrt{3}}) \times \cancel{\sqrt{3}} = (U_1'' / \cancel{\sqrt{3}}) \times \cancel{\sqrt{3}} - \left(\left(R_k'' \frac{P_2/\cancel{3}}{U_{2n}/\cancel{\sqrt{3}}} \right) \times \cancel{\sqrt{3}} + \left(X_k'' \frac{Q_2/\cancel{3}}{U_{2n}/\cancel{\sqrt{3}}} \right) \times \cancel{\sqrt{3}} \right)$$

Vi renskriver formeln:

$$U_2 = U_1'' - \left(R_k'' \frac{P_2}{U_{2n}} + X_k'' \frac{Q_2}{U_{2n}} \right)$$

Spänningsfallsformel för 3-fas transformatorer.
Spänningarna avser nu **huvudspänningarna**.

Exempel

En 3-fastransformator har följande märkdata:

10,5±2,5%/0,4kV, Dyn 11

500 kVA

$u_z = 5,0 \%$

Man har utfört tomgångsprov och kortslutningsprov på en 3-fastransformator.

Tomgångsprov:

Wattmetrarna visar +870 W

Amperemetern visar 0,33 A

Provet görs vid märkspänning. U_2 visar då 400 V

Kortslutningsprov:

Wattmetrarna visar +2580 resp. +2670 W

Voltmetern visar 525 V

Provet görs vid märkström

- a. Beräkna sekundärspänningen då transformatorn belastas med 450 kVA och effektfaktorn 0,8. Primärspänningen håller 10,5 kV.*
- b. Vad är transformatorns verkningsgrad då?*
- c. Beräkna sekundärspänningen då transformatorn belastas en rent kapacitiv last på 300 kVAr. Primärspänningen håller 10,5 kV.*

$$a) \quad U_2 = U_1'' - \left(R_K'' \frac{S_2 \cdot \cos \varphi}{U_{2n}} + X_K'' \frac{S_2 \cdot \sin \varphi}{U_{2n}} \right)$$

$$R_K'' = \frac{P_{bn}/3}{I_{2n}^2}$$

$$P_{bn} = 2580 + 2670 \Rightarrow P_{bn} = 5250 \text{ W}$$

$$I_{2n} = \frac{S_n}{U_{2n} \cdot \sqrt{3}} \Rightarrow I_{2n} = \frac{500 \cdot 10^3}{400 \cdot \sqrt{3}} \Rightarrow I_{2n} = 722 \text{ A}$$

$$R_K'' = \frac{5250/3}{722^2} \Rightarrow R_K'' = 3,36 \text{ m}\Omega$$

$$X_K'' = \sqrt{Z_K''^2 - R_K''^2}$$

$$Z_K'' = \frac{U_{1K}''/\sqrt{3}}{I_{2n}}$$

$$U_{1K}'' = U_{1K} \cdot \frac{1}{w}$$

$$w = \frac{U_{1n}}{U_{2n}}$$

$$U_{1K} = 525 \text{ V}$$

$$U_{1K}'' = 525 \cdot \frac{1}{\left(\frac{10500}{400}\right)} \Rightarrow U_{1K}'' = 20 \text{ V}$$

$$Z_K'' = \frac{20/\sqrt{3}}{722} \Rightarrow Z_K'' = 16 \text{ m}\Omega$$

$$X_K'' = \sqrt{0,016^2 - 0,00336^2} \Rightarrow X_K'' = 15,6 \text{ m}\Omega$$

$$U_1'' = U_1 \cdot \frac{1}{w} \Rightarrow U_1'' = 10,5 \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{\left(\frac{10500}{400}\right)} \Rightarrow U_1'' = 400 \text{ V}$$

$$U_2 = 400 - \left(0,00336 \cdot \frac{450 \cdot 10^3 \cdot 0,8}{400} + 0,0156 \cdot \frac{450 \cdot 10^3 \cdot 0,6}{400} \right) \Rightarrow$$

$$U_2 = 400 - (3,0 + 10,53) \Rightarrow U_2 = \underline{\underline{386,5 \text{ V}}}$$

$$b) \quad \eta = \frac{S_2 \cdot \cos \varphi_2}{S_2 \cdot \cos \varphi + P_0 + (P_{bn} \cdot X^2)}$$

$$X = \frac{450}{500} \Rightarrow X = 0,9$$

$$\eta = \frac{450 \cdot 10^3 \cdot 0,8}{450 \cdot 10^3 \cdot 0,8 + 870 + (5250 \cdot 0,9^2)} \Rightarrow$$

$$P_0 = 870 \text{ W}$$

$$P_{bn} = 5250 \text{ W}$$

$$\eta = \underline{\underline{0,986 = 98,6 \%}}$$

$$c) \quad \text{Rent kapacitiv last ger sine } 1,0 \quad S = 0 \text{ VA}$$

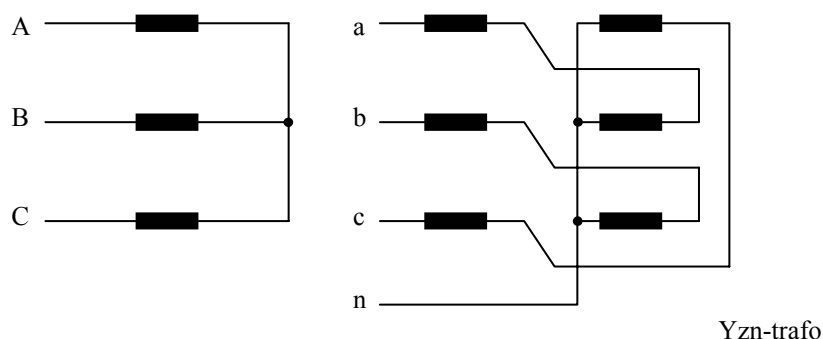
$$U_2 = 400 - \left(0,00336 \cdot \frac{0 \cdot 0}{400} + 0,0156 \cdot \frac{\overset{\text{OBS! - (minus)}}{-300 \cdot 10^3 \cdot 1,0}}{400} \right) \quad \begin{array}{l} \text{Kapacitiv} \\ \text{-(minus)} \end{array}$$

$$U_2 = 400 - (0 + (-11,7)) \Rightarrow U_2 = 400 + 11,7 \Rightarrow U_2 = \underline{\underline{411,7 \text{ V}}}$$

Z-KOPPLADE TRANSFORMATORER

I många fall är 3-fastransformatorer Z-kopplade. Kopplingssättet möjliggör olika primärspänningar ($\sqrt{3}$ faktor) med samma sekundärspänning. Dessutom klarar den osymetriska laster bra. S k. ”rena” kopplingar är ur osymetriska lasters synpunkt inte bra. I distributionssammanhang vill man i regel ha uppsidan Y-kopplad. Då återstår D-kopplingen på nedsidan. Man kan istället då koppla nedsidan Z-kopplad varpå man kan ta ut en nolledare (vilken är nödvändig för 1-faslaster). Uppsidan kan nu kopplas antingen Y eller D, varpå man erhåller ”blandad” koppling. Dessutom kan uppsidan anslutas till 2 olika spänningar med faktorn $\sqrt{3}$.

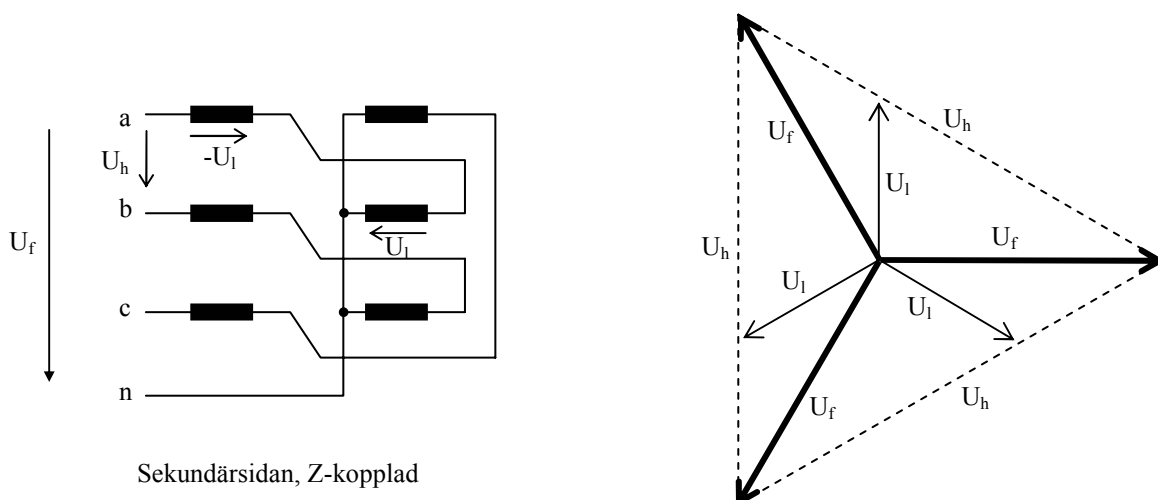
Det är transformatorns nedsida som Z-kopplas, se figur.



Nedsidan består av en Y-koppling med 2 lindningar per ben. Den ena lindningen förskjuts till andra benet och kopplas ”bakfram”. Denna konstruktion medför att transformatorn klarar osymetriska laster bra.

Låt oss säga att primärnätet håller 10kV. Transformatorn ovan kan då anslutas till 6kV eller $(6 \times 10^3 \times \sqrt{3}) \approx 10kV$ utan att dess sekundärspänning ändras. Detta är en finnes med Z-kopplad transformator. Primärsidan måste dock kopplas antingen D (6kV) eller Y (10kV). Detta är en vanligt förekommande distributionstransformator.

Om vi studerar spänningarna för sekundärsidan (Z-kopplingen) kan de skissas så här.



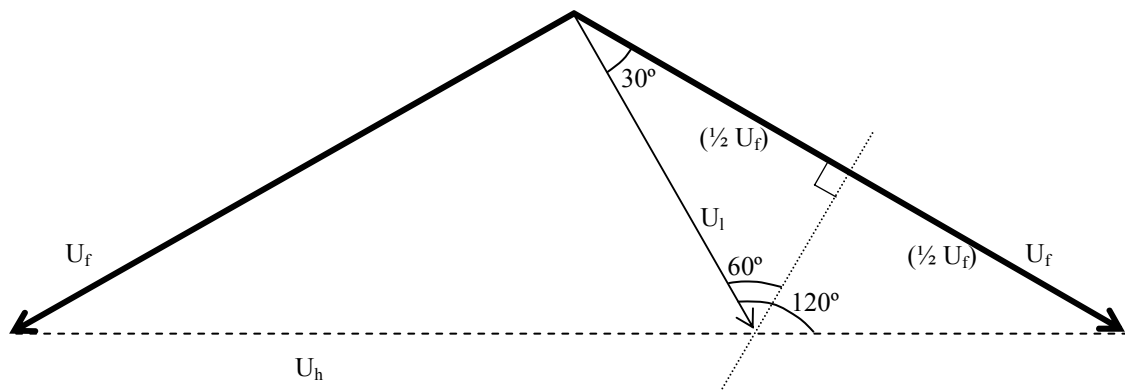
Allmänt gäller att:

$$U_h = U_f \times \sqrt{3}$$

För visardiagrammet ovan gäller: $U_h = U_l \times 3$

Kontroll av ovanstående med trigonometri:

Anta att U_f är 230. Vi vet av erfarenhet att U_h då är 400.



$$U_l = \frac{0,5 \times U_f}{\cos 30^\circ} \Rightarrow U_l = \frac{0,5 \times 230}{\cos 30^\circ} \Rightarrow U_l \approx 133$$

Kontroll:

$$U_h = U_l \times 3 \Rightarrow U_h = 133 \times 3 \approx 400 \quad \text{Stämmer}$$

För Z-koppling gäller:

Spänning

$$U_h = U_l \times 3$$

$$U_f = U_l \times \sqrt{3}$$

Ström

$$I_h = I_f$$

(samma ström i båda lindningarna)

LINDNINGSVARV

En Z-kopplad transformator jämfört med en Y-kopplad medför att man får ha $2/\sqrt{3}$ ($\approx 1,155$) fler lindningsvarv på en Z-kopplad relativt en Y-kopplad.