

Transformer

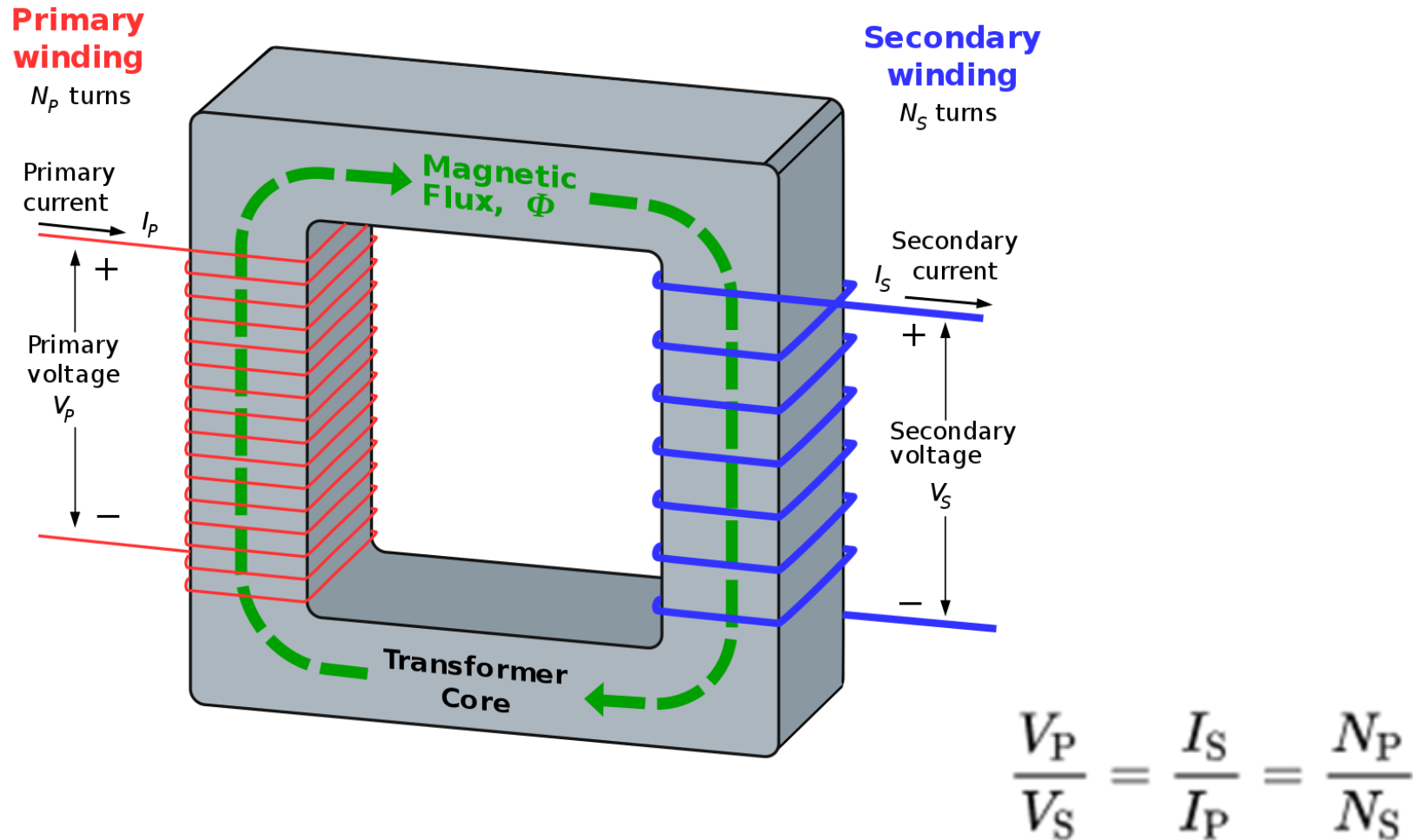


Opbygning af transformer



Transformer i vores distributionsnet

Opbygning af transformer



Opbygning af transformer

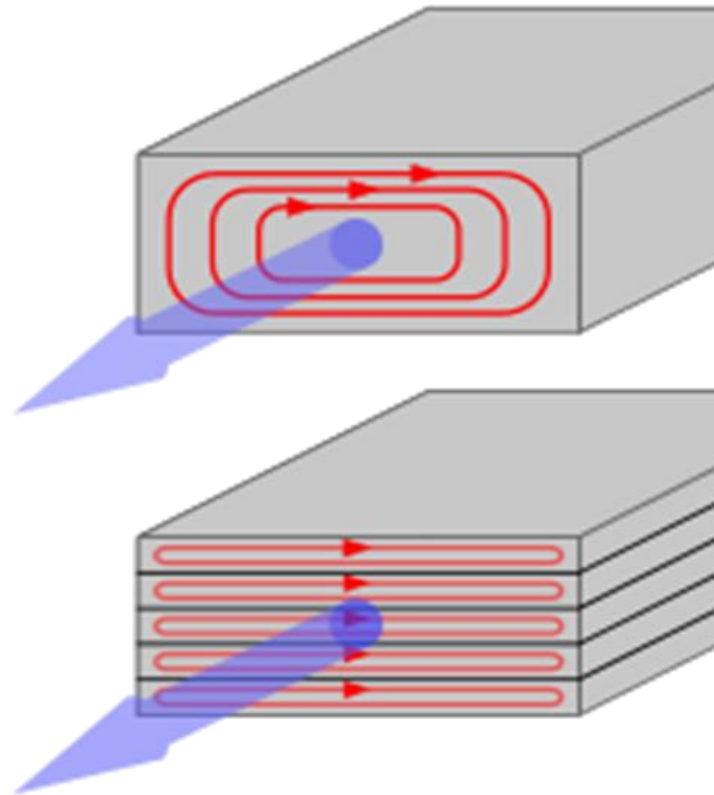
$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{I_S}{I_P} = \frac{N_P}{N_S} = n$$

- Den inducerede vekselspænding V_S er afhængig af forholdet mellem antallet af vindinger på primærsiden N_P og antallet af vindinger på sekundærsiden N_S .
- Når man påtrykker en vekselspænding på primærsiden vil der gå en vekselstrøm i spolen. Denne strøm vil frembringe et vekslende magnetfelt i den lukkede jernkerne. Som vil inducere en sekundær vekselspænding

Magnetisme

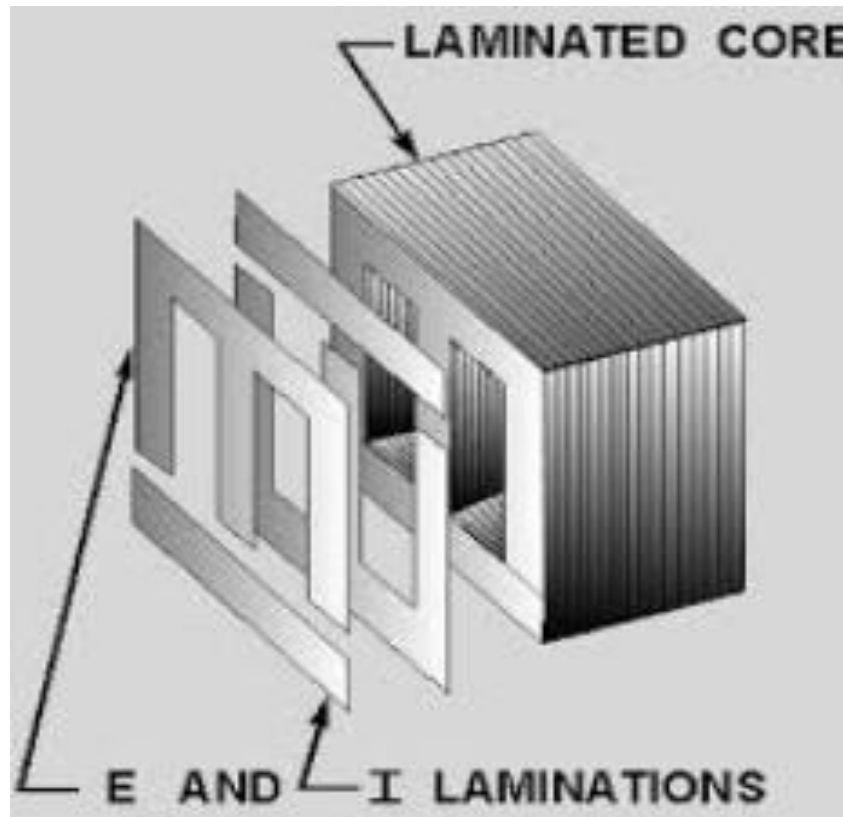
12.1.1 Hvirvelstrømstab

Når jernet udsættes for vekslende magnetfelter induceres der elektromotoriske kræfter, som fremkalder hvirvelstrømme i kernen. Dette effekttab afsættes som varme i jernkernen.



Magnetisme

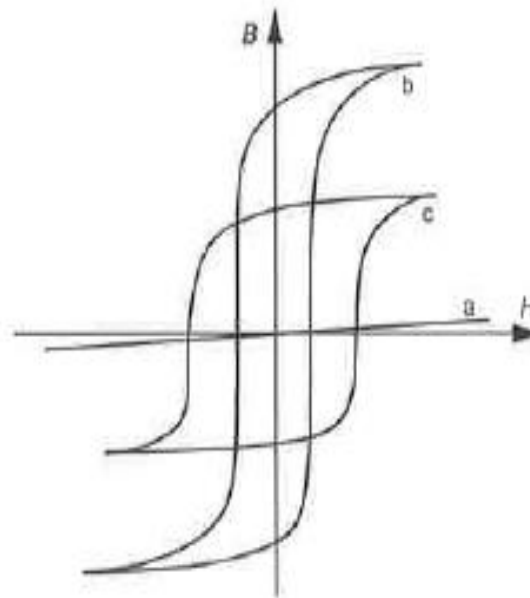
Hvirvelstrømsabet kan reduceres ved øget resistans mod hvirvelstrømmene, hvilket man opnår ved at lamellere jernkernen (d.v.s. kernen sammensættes af ca. 0,2-0,4 mm tynde plader isoleret fra hinanden) eller ved tilsætning af silicium til jernet, hvorved dets specifikke elektriske modstand øges.



Magnetisme

12.1.2 Hysteresetab

Den stadige ommagnetisering (100 gange i sekundet ved 50 Hz), der finder sted ved vekselstrøm, kræver tilførsel af energi -der udføres et arbejde. Når spolestrømmen ændres, er de magnetiske domæner i jernet kun med forsinkelse i stand til at følge ændringen. Dette fænomen kaldes hysteres. Forløbet kan for forskellige magnetisk materialer illustreres ved optegning af en magnetiseringskurve, en såkaldt hysteresesløjfe.



a. Vacuum. b. Blødt jern. c. Stål med høj coercitivkraft.

Opbygning af transformere

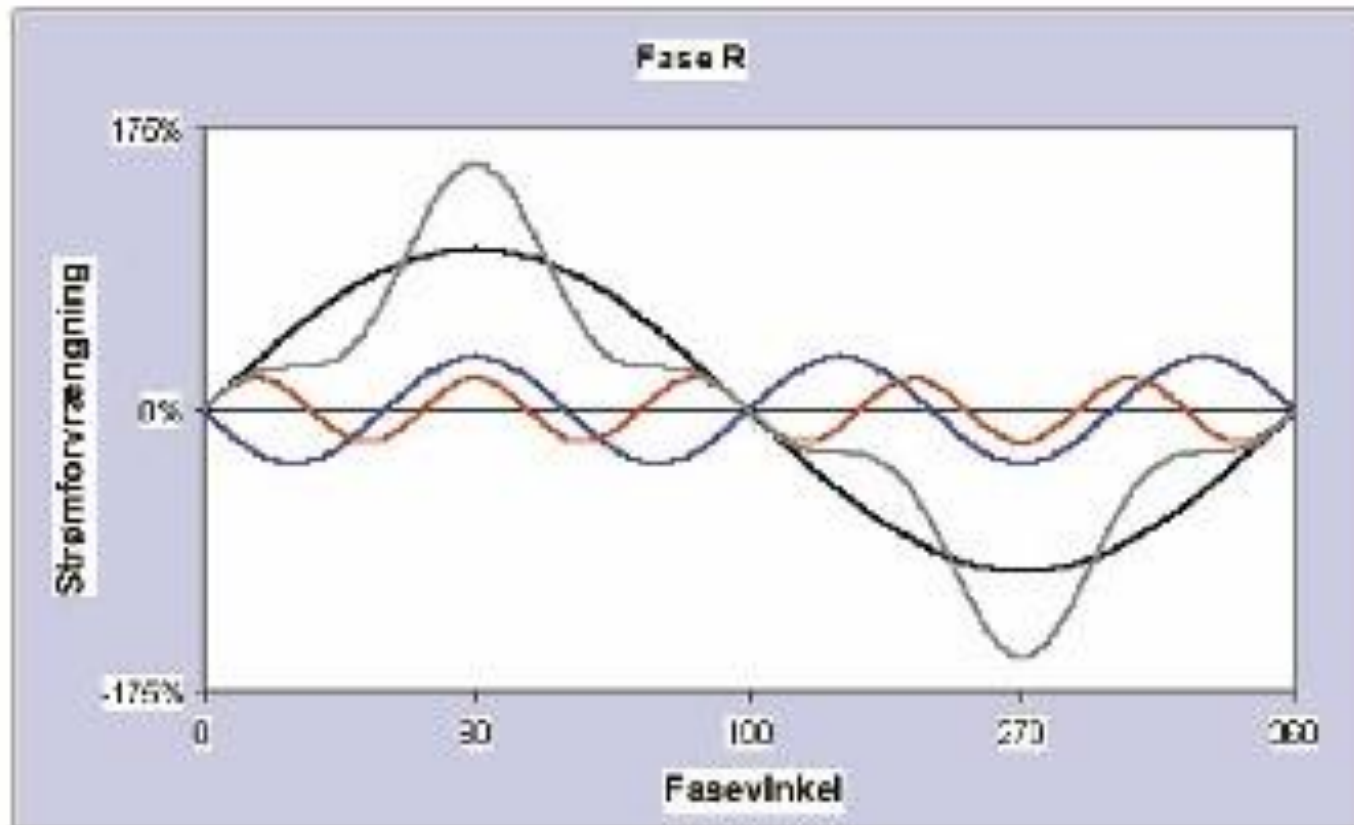
- Hvirvelstrømstab og hysteresetab kaldes jerntab (P_{FE}). Når der indsættes effekt i jernkernen er det lig varme.
- Denne ommagnetisering (100 gange ved 50 Hz) en $\frac{1}{2}$ periode der finder sted ved vekselstrøm. Den effekt der afsættes i jernkernen(strømvarmetab) gør at transformeren bliver varm.

Hvordan regerer distributionstransformer på

Overharmoniske strømme

Overharmoniske strømme

- Hvor kommer de overharmoniske strømme fra ?



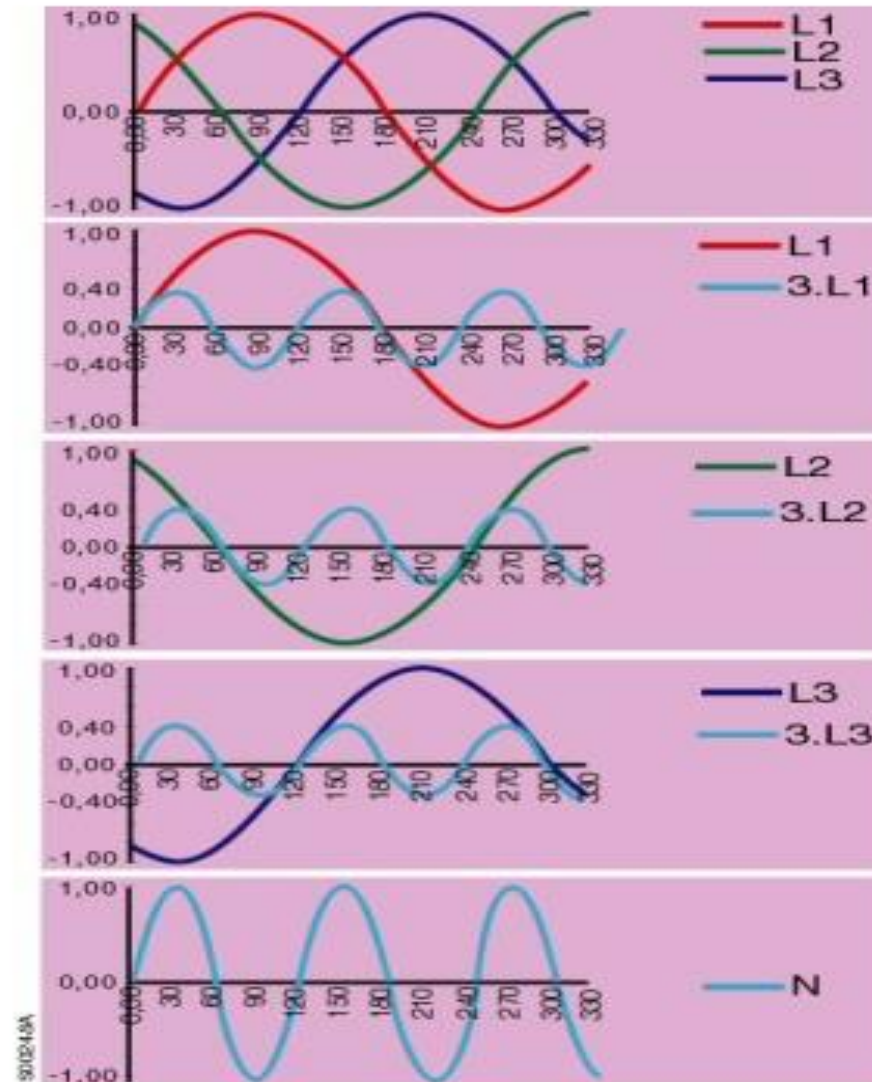
Overharmoniske strømme

Spændingsforsyninger/Ensretter-kredsløb der bliver anvendt i en lang række brugsgenstande i hjemmet og industrien. F.eks lader.

Frekvensomformer.
Varmepumper ?

Lysarmaturer er bestykket med LED-lyskilder
Inverter til ladestander
Invertere for solcelleanlæg

Overharmoniske strømme



Overharmoniske strømme



Måling af de overharmoniske strømme

Overharmoniske strømme

De overharmoniske strømme angives i procent af grundtonen.

Fasestrømmens indhold udgør f.eks 20 % af grundtonen.

Overharmoniske strømme

Tabel E.52.1 – Reduktionsfaktorer for harmoniske strømme i fire- og femleder kabler

Fasestrømmens indhold af tredje harmoniske %	Reduktionsfaktor	
	Valg af tværsnit baseret på fasestrøm	Valg af tværsnit baseret på nulstrøm
0 - 15	1,0	–
15 - 33	0,86	–
33 - 45	–	0,86
> 45	–	1,0

NOTE – Fasestrømmens indhold af tredje harmoniske er forholdet mellem tredje harmoniske og den grundlæggende (første harmoniske), udtrykt i %.

Indholdet af tredje harmoniske i nullen er lig summen af de tredje harmoniske i faserne.

$$I_{150, Nul} = 3 \cdot I_{150, Fase}$$

Overharmoniske strømme

- *Formler:*

- Fasestrømmens indhold: 20%

$$I_b = \frac{I_{1/1}}{k}$$

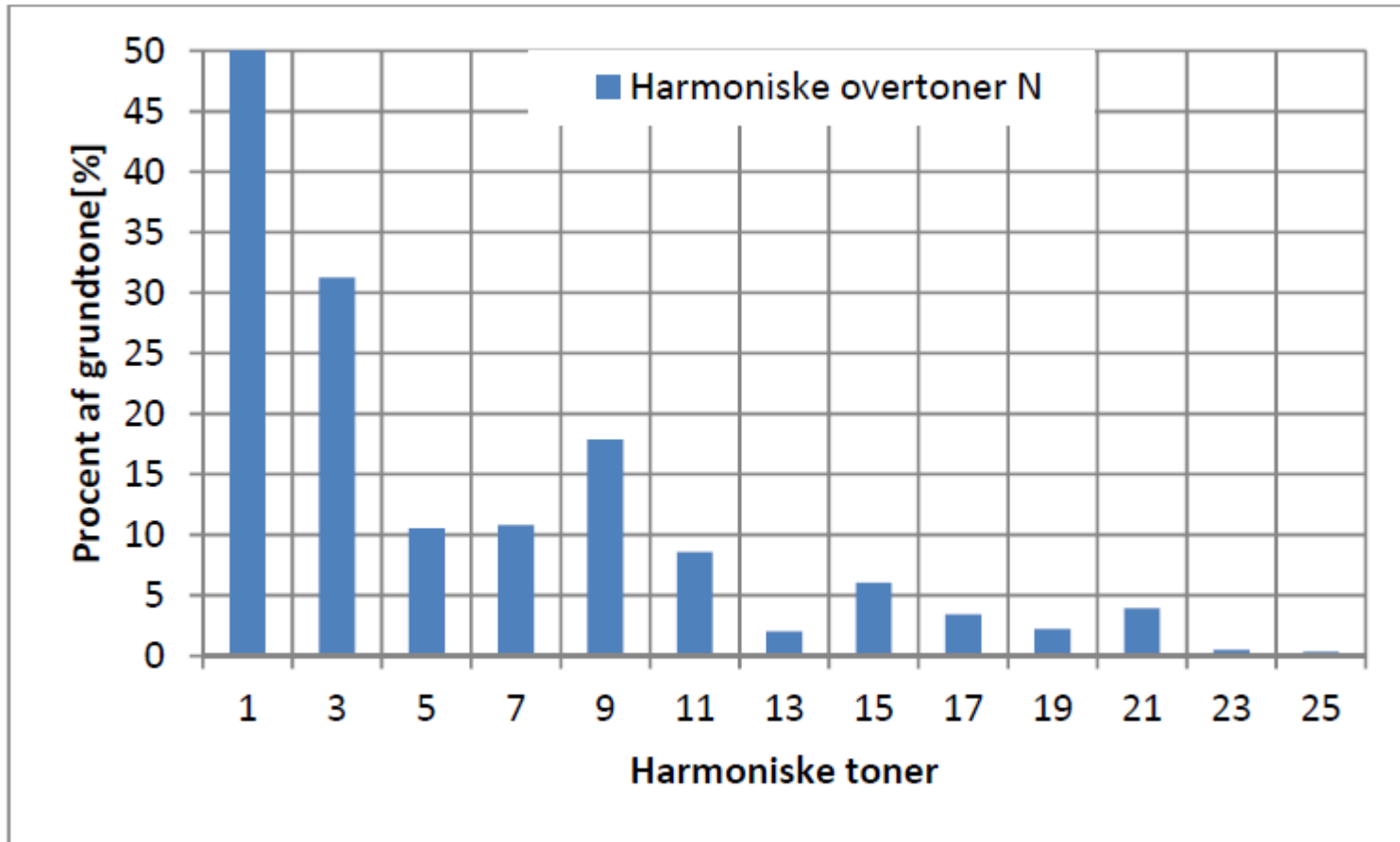
- $$I_b = \frac{I_{1/1}}{0,86}$$

- Fasestrømmens indhold: 40 %

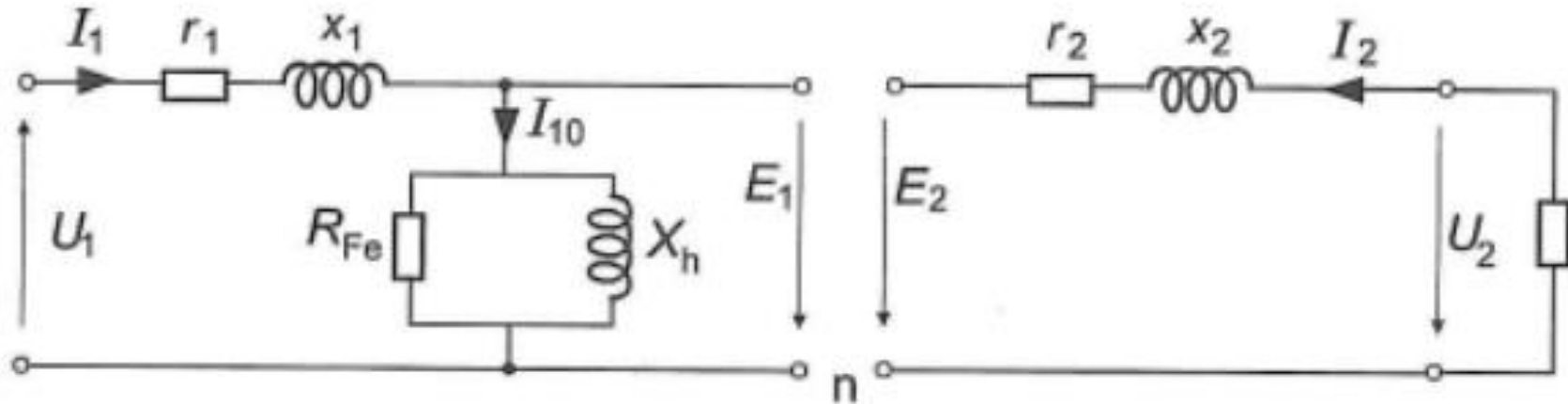
$$I_{150, Nul} = 3 \cdot I_{150, Fase}$$

- $$I_b = \frac{I_{150, nul}}{0,86}$$

Overharmoniske strømme



Overharmoniske strømme



Transformerens effekttab består af strømvarmetabet P_{cu} og af jerntabet P_{fe} , som udgøres af hysteres- og hvirvelstrømstab.

I forbindelse med effekttabet som følge af overharmoniske strømme er det imidlertid knapt så simpelt, fordi resistansen vil variere i forhold til frekvensen på de enkelte harmoniske overtoner. Hvis man henføre de primære resistanser til sekundærsiden kan formelen for de overharmoniske strømme bidrag til strømvarmetabet beregnes på følgende måde:

$$P_{cu} = 3 * I_{2,h3}^2 * R_{2,h3} + 3 * I_{2,h5}^2 * R_{2,h5} + 3 * I_{2,h7}^2 * R_{2,h7} \dots\dots$$

Overharmoniske strømme

Det viser sig at der er tale om en eksponentiel stigning af hvirvelstrømstabet $(I_h \cdot h)^2$ op til omkring den 15. harmoniske, og det bidrager til en varmeudvikling i transformeren.

Den angivne sammenhæng betyder, at hvis en strømstyrke ved grundtonen udvikler en bestemt varmemængde, så vil fx den 3. harmoniske ved samme effektive strømstyrke udvikle 9 gange så meget varme, den 5. harmoniske vil forårsage 25 gange så meget varme osv.

Hysteresetabet angives i samme kilde at være lineært tilknyttet ordenstallet for den harmoniske $(I_h \cdot h)$. Dvs, at hvis en strømstyrke ved grundtonen udvikler en varmemængde, så vil fx den 3. harmoniske ved samme effektive strømstyrke udvikle 3 gange så meget varme, den 5. harmoniske vil forårsage 5 gange så meget varme osv.

Opbygning af transformere



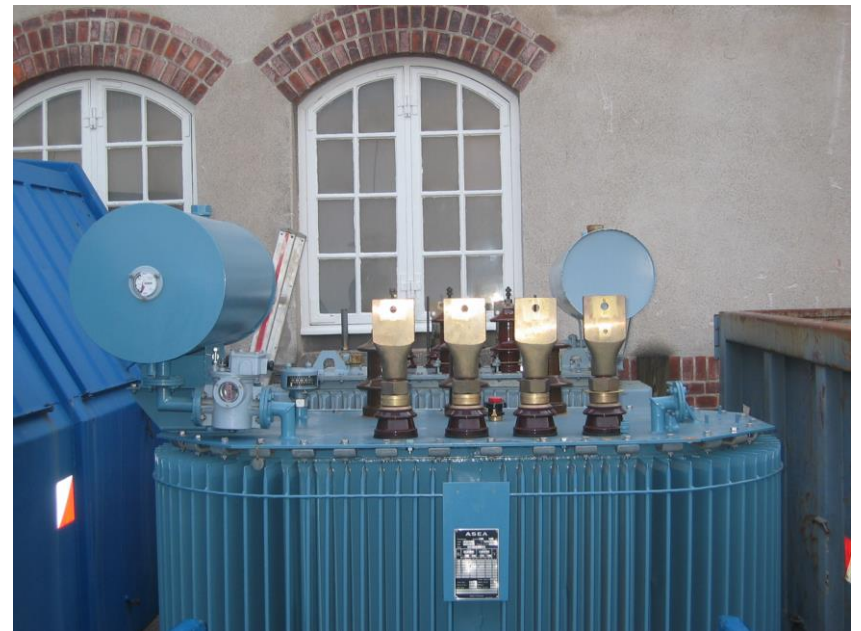
Lavspændingsviklingerne anbringes altid inderst og udføres som en enkelt cylindrisk spole, mens højspændingsviklingerne som regel er delt i flere spoler, der forbindes i serie, der hver er svarende til 400 – 800 V.

En højspændingsvikling for 10000 V kan f.eks. indeholde 20 spoler.

Opbygning af transformere



For at optage kortslutningskræfter afstives samtlige viklinger med isolationsmellemlæg og stålprofiler



Opbygning af transformer

- Viklingskobler:

- Der er 5 trin

+ 2,5 %	- 2,5 %
+ 5,0 %	0 - 5,0 %

- Hvert trin 2,5 % Ændringen på antal viklinger sker på primærsiden.

- $10 / 0,4 \text{ kV} \quad n = 25 \quad 2,5 \% \text{ af } 25 = 0,625$

- $+ 2,5 \% = 25 + 0,625 = 25,625$

- $+ 5,0 \% = 25 + 1,25 = 26,25$

- $- 2,5 \% = 25 - 0,625 = 24,375$

- $- 5,0 \% = 25 - 1,25 = 23,75$

Rekommandation 6A

Tekniske bestemmelser mv. for 10-20 kV olieisolerede distributionstransformere

Rekommandationen har gyldighed for trefasede, olieisolerede distributionstransformere med normalt tilbehør.

Transformeren er beregnet for installation ved omgivelsestemperaturer i intervallet -25°C til $+40^{\circ}\text{C}$.



Elektriske hoveddata

Mærkeeffekter:


50 – 100 – 200 – 400 – 500 – 630 – 800 – 1000 – 1250 – 1600 – 2000 – 2500

Belastning af nulpunkt:

Nulpunkt og nulleder skal vedvarende kunne belastes med sekundærsidens mærkestrøm.

Overbelastningsevne:

Transformeringens overbelastningsevne skal være i overensstemmelse med IEC 60076 – 1 (Power transformers)


$$\theta_h(t) = \theta_a + \Delta\theta_{oi} + \left\{ \Delta\theta_{or} \times \left[\frac{1 + R \times K^2}{1 + R} \right]^x - \Delta\theta_{oi} \right\} \times f_1(t) + \Delta\theta_{hi} + \left\{ HgrK^y - \Delta\theta_{hi} \right\} \times f_2(t)$$

IEC 60076-1

Table 4 – Current and temperature limits applicable to loading beyond nameplate rating

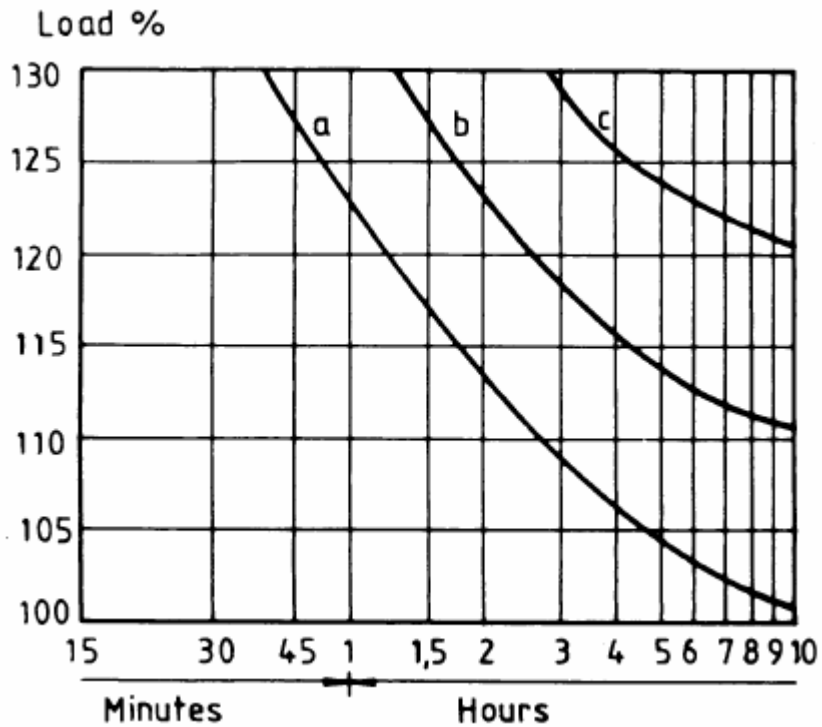
Types of loading	Distribution transformers (see Note)	Medium power transformers (see Note)	Large power transformers (see Note)
Normal cyclic loading			
→ Current (p.u.)	1,5	1,5	1,3
Winding hot-spot temperature and metallic parts in contact with cellulosic insulation material (°C)	120	120	120
Other metallic hot-spot temperature (in contact with oil, aramid paper, glass fibre materials) (°C)	140	140	140
Top-oil temperature (°C)	105	105	105
Long-time emergency loading			
→ Current (p.u.)	1,8	1,5	1,3
Winding hot-spot temperature and metallic parts in contact with cellulosic insulation material (°C)	140	140	140
Other metallic hot-spot temperature (in contact with oil, aramid paper, glass-fibre materials) (°C)	160	160	160
Top-oil temperature (°C)	115	115	115
Short-time emergency loading			
→ Current (p.u.)	2,0	1,8	1,5
Winding hot-spot temperature and metallic parts in contact with cellulosic insulation material (°C)	See 7.2.1	160	160
Other metallic hot-spot temperature (in contact with oil, aramid paper, glass fibre materials) (°C)	See 7.2.1	180	180
Top-oil temperature (°C)	See 7.2.1	115	115
NOTE The temperature and current limits are not intended to be valid simultaneously. The current may be limited to a lower value than that shown in order to meet the temperature limitation requirement. Conversely, the temperature may be limited to a lower value than that shown in order to meet the current limitation requirement.			

fabrikantkurver

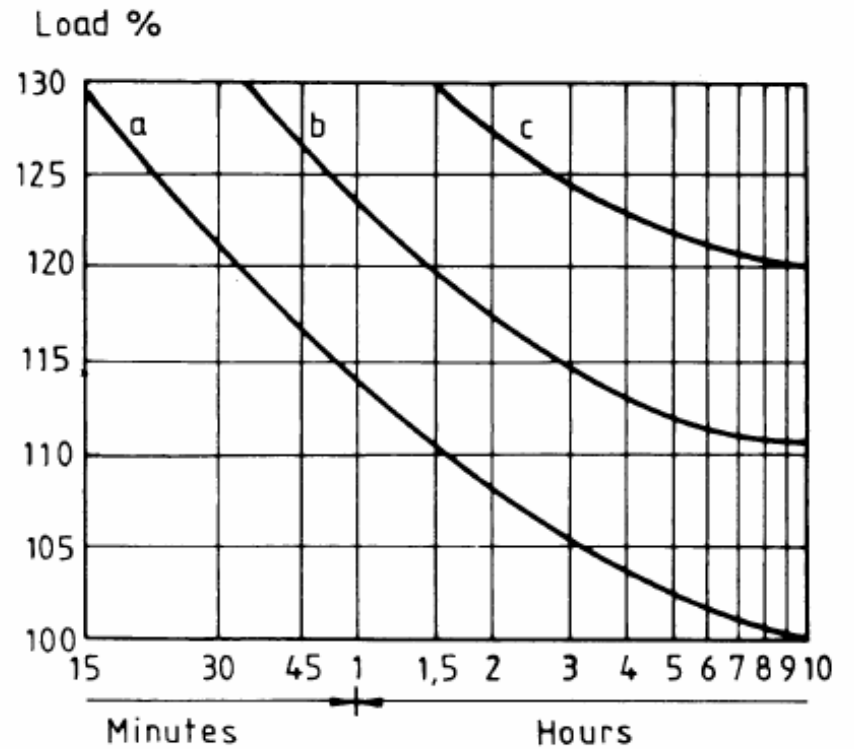
a = 30° C omgivelsestemperatur

b = 20° C //

c = 10° C //



Belastningsevne efter 50 % vedvarende last



Belastningsevne efter 75 % vedvarende last

Elektriske hoveddata - Rekommandation 6A

Mærkespænding:

Primærvikling: 10,5 kV med udtag der muliggør $\pm 2 \cdot 2,5 \%$

Sekundærvikling: 420 V

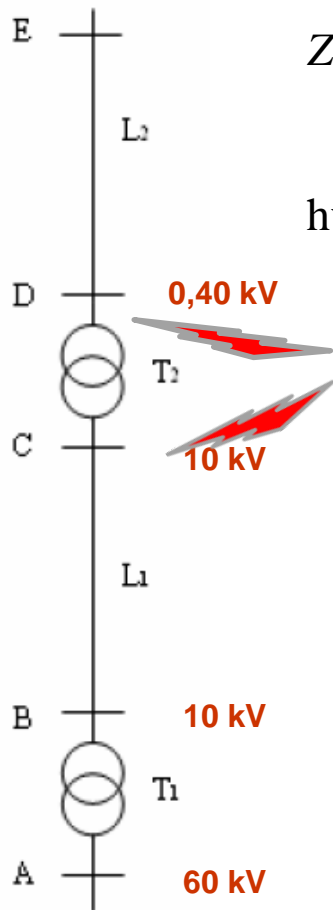
Koblingsgruppe:

Dyn 5 eller Dyn 11 - ved en mærkeeffekt på 200 kVA eller mindre kan Yzn 5 eller Yzn11 i stedet anvendes.

Kortslutningsspænding:

Mærkeeffekt [kVA]	< 500	500 – 630	800 – 1600	2000 – 2500
e_K [%]	3 til 4	4 til 5	5 til 6	6 til 10

Strømbanens impedanser



$$Z_{sekundær} = Z_{primær} \cdot \frac{1}{n^2}$$

hvor n er transformerens omsætningsforhold

Hvilke kortslutningsstrømme kan forekomme

$$I_{k,max} = U_n / 1,73 \times Z_{tr}$$

Stedet i nettet	Kendte oplysninger	Formler
A, B eller C	S_{KN}	$Z_N = \frac{U_n^2}{S_{KN}}$ $X_N \approx Z_N$ $R_N = 0,1 \cdot Z_N$
A, B eller C	S_{KN} $\frac{R}{X}$ eller $\cos \varphi_N$	$\tan \varphi = \frac{1}{\frac{R}{X}}$ $Z_N = \frac{U_n^2}{S_{KN}}$ $X_N = Z_N \cdot \sin \varphi$ $R_N = Z_N \cdot \cos \varphi$
T ₁ og T ₂	S_n U_{n1} / U_{n2} e_R $P_{CU1/1}$ eller e_R	$Z = \frac{U_n^2 \cdot e_X}{S_n \cdot 100}$ $I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n}$ $R = \frac{P_{CU1/1}}{3 \cdot I_n^2}$ $R = \frac{U_n^2 \cdot e_R}{S_n \cdot 100}$ $X = \sqrt{Z^2 - R^2}$

Elektriske hoveddata

3.10 Isolationsniveua

Transformeren skal være udført med ensartet isolation og være dimensioneret for følgende spændinger:

Nominel spænding, U_r [kV]	Højeste spænding for udstyr, U_m [kV]	1 min. veksel-spænding [kV]	Stød $1,2/50 \mu s$ [kV]
0,4	1,1	3	-
0,69	1,1	3	-
10	12	28	75
15	17,5	38	95
20	24	50	125

