

TRAFO DISTRIBUSI

PENDAHULUAN

- AC transformers adalah salah satu kunci untuk memungkinkan distribusi tenaga listrik secara luas.
- Transformer secara efisien mengkonversi listrik ke tegangan yang lebih tinggi untuk transmisi jarak jauh dan kembali ke tegangan rendah yang sesuai untuk penggunaan pelanggan.
- Trafo distribusi biasanya berfungsi sebagai transisi akhir ke pelanggan sesuai standar masing-masing daerah.
- Jaringan distribusi memiliki ratusan trafo distribusi.
- Feeder (Penyulang) distribusi mungkin juga memiliki transformer jenis lain:
 - regulator tegangan, feeder step bank, grounding banks.

Trafo Distribusi



Konsep Dasar

- Sebuah trafo berfungsi untuk menkonversikan daya listrik secara efisien dari satu level tegangan ke level tegangan yang lain.
- Sebuah transformator adalah dua set kumparan yang digabungkan bersama melalui medan magnet.
- Medan magnet mentransfer semua energi (kecuali dalam autotransformer).

Konsep Dasar

- Dalam transformator ideal, tegangan pada input dan output dihubungkan oleh rasio belitan transformator
 - $V_1 = \frac{N_1}{N_2} V_2$
 - N_1 dan N_2 adalah jumlah belitan, V_1 dan V_2 adalah tegangan pada belitan 1 dan 2
- Dalam kenyataannya, tidak semua fluks iberpasangan di antara belitan.

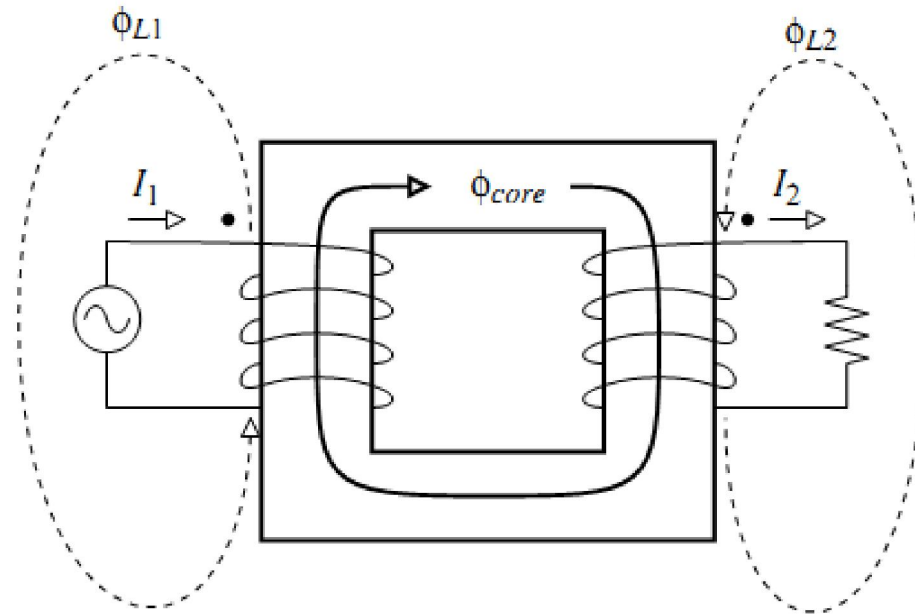
Konsep Dasar

- Terdapat fluksi bocor yang menciptakan penurunan tegangan di antara belitan, sehingga voltase menjadi:

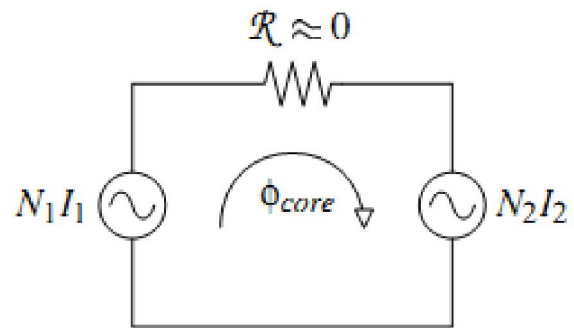
$$V_1 = \frac{N_1}{N_2} V_2 - X_L I_1$$

- X_L = leakage reactance / reaktansi bocor (ohm) dalam belitan1 dan I_1 adalah arus output dari belitan 1
- Arus juga ditransformasikan oleh rasio belitan, berlawanan dengan tegangan

$$I_1 = \frac{N_2}{N_1} I_2 \quad \text{or} \quad N_1 I_1 = N_2 I_2$$

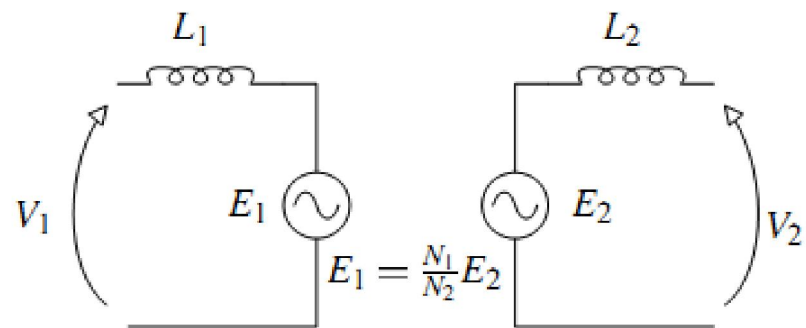


Magnetic equivalent circuit



Since $\mathcal{R} \approx 0$, $N_1 I_1 = N_2 I_2$

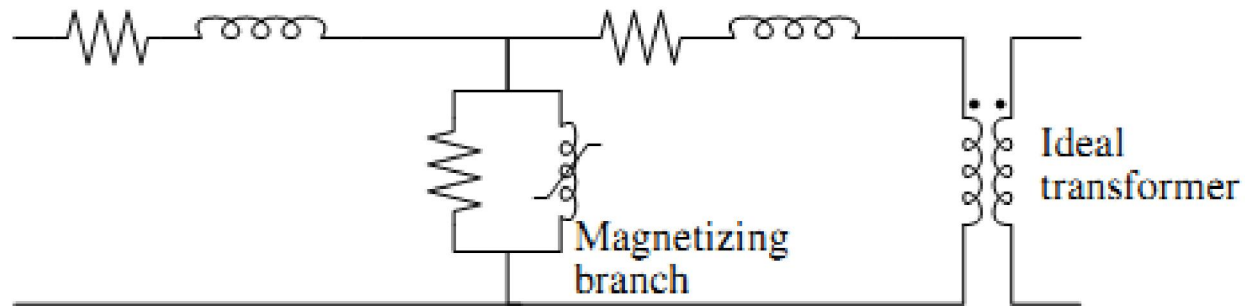
Electric circuit



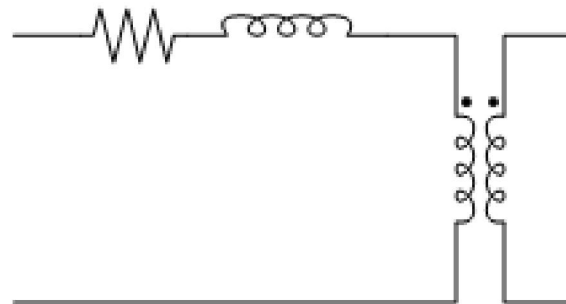
L_1 and L_2 are from the leakage fluxes, ϕ_{L1} and ϕ_{L2}

Model Trafo

Detailed transformer model



Simplified model



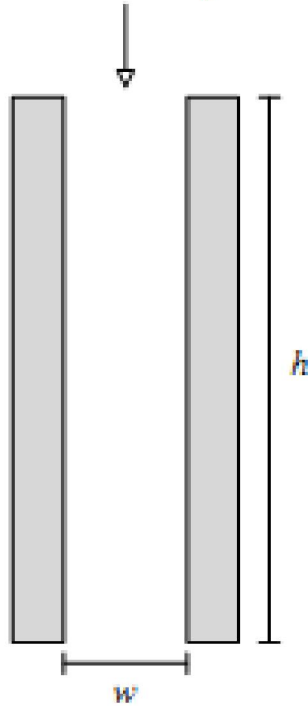
Rugi-Rugi Daya Trafo

- Hysteresis
 - Saat dipol magnetik berubah arah, inti memanas akibat gesekan molekul
- Arus Eddy (Eddy Currents)
 - Arus eddy pada material inti menyebabkan kerugian resistif. Fluks inti menginduksi arus eddy yang cenderung berlawanan dengan perubahan densitas fluksi.

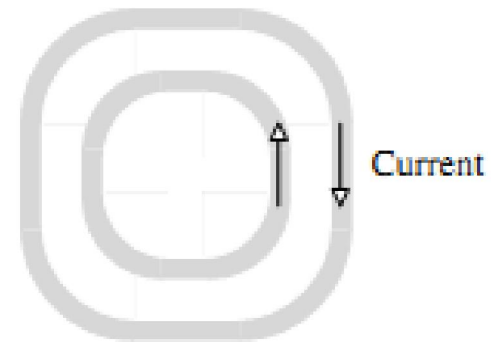
Reaktansi Bocor

Side View of Windings

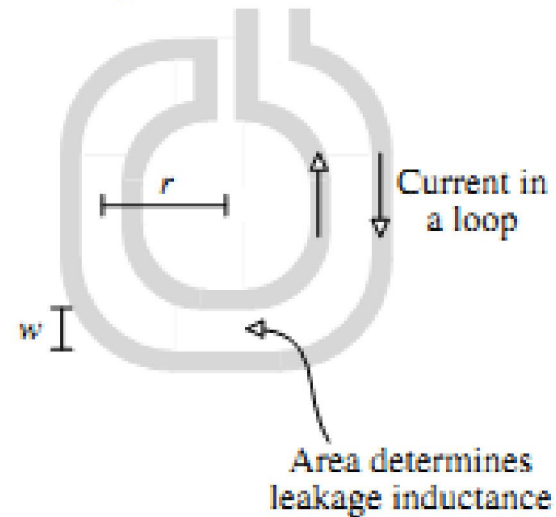
Insulation between the primary and secondary windings



Top View of Windings



Equivalent Circuit



Reaktansi Bocor

$$X_{\%} = \frac{126f(NI)^2 rw}{10^{11} h S_{kVA}}$$

where

f = system frequency, Hz

N = number of turns on one winding

I = full load current on the winding, A

r = radius to the windings, in.

w = width between windings, in.

h = height of the windings, in.

S_{kVA} = transformer rating, kVA

Trafo Distribusi

- Besarannya mulai dari KVA hingga MVA
- Mengubah tegangan primer menjadi tegangan rendah yang dapat digunakan oleh konsumen
- Ukuran trafo distribusi mengikuti beberapa ukuran standar

Standard Distribution Transformer Sizes

<u>Distribution Transformer Standard Ratings, kVA</u>	
Single phase	5, 10, 15, 25, 37.5, 50, 75, 100, 167, 250, 333, 500
Three phase	30, 45, 75, 112.5, 150, 225, 300, 500

Level Insulasi Trafo Distribusi

Insulation Levels for Distribution Transformers

Low-Frequency Test Level, kV rms	Basic Lightning Impulse Insulation Level, kV Crest	Chopped-Wave Impulse Levels	
		Minimum Voltage, kV Crest	Minimum Time to Flashover, μ s
10	30	36	1.0
15	45	54	1.5
19	60	69	1.5
26	75	88	1.6
34	95	110	1.8
40	125	145	2.25
50	150	175	3.0
70	200	230	3.0
95	250	290	3.0
140	350	400	3.0

Source: IEEE Std. C57.12.00-2000. Copyright 2000 IEEE. All rights reserved.

Kemampuan menahan Short Circuits

- I adalah arus simetris

$$t = \frac{1250}{I^2}$$

- Tangki trafo biasanya terbuat dari baja ringan
- Korosi menjadi masalah utama pada trafo

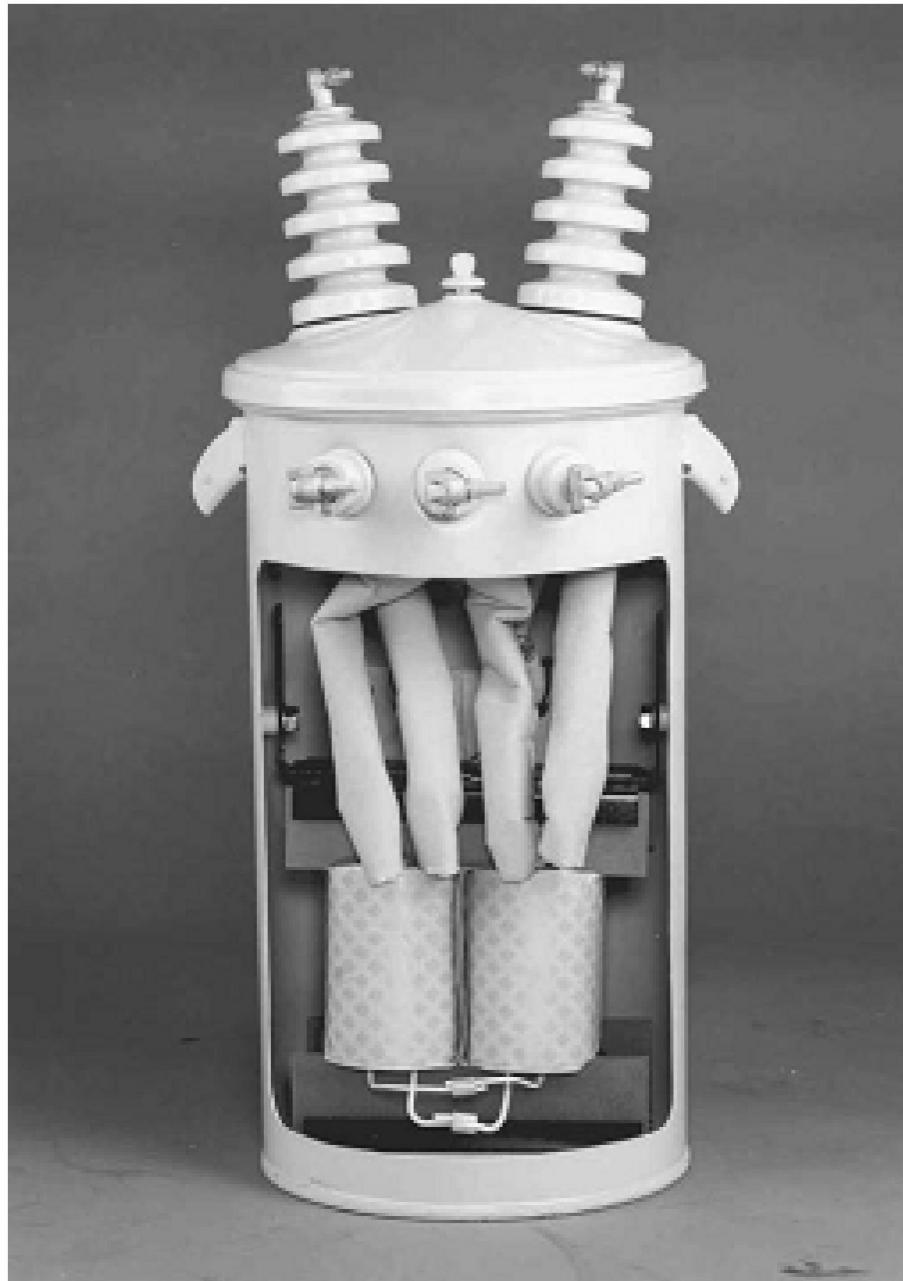
Through-Fault Capability of Distribution Transformers

Single-Phase Rating, kVA	Three-Phase Rating, kVA	Withstand Capability in per Unit of Base Current (Symmetrical)
5-25	15-75	40
37.5-110	112.5-300	35
167-500	500	25

Source: IEEE Std. C57.12.00-2000, *IEEE Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers*.

Trafo Fasa Tunggal

- Trafo fase tunggal menyediakan layanan fase tunggal;
- kita dapat menggunakan dua atau tiga unit fase tunggal dalam berbagai konfigurasi untuk memasok tiga fase
- Papan nama (name plate) transformator memberikan peringkat kVA, peringkat tegangan, persen impedansi, polaritas, beban, diagram koneksi, dan kelas pendinginan.



Trafo Fasa Tunggal

- Untuk transformator fase tunggal yang memasok layanan fase tunggal, arus beban penuh dalam ampere adalah





$$I = \frac{S_{kVA}}{V_{kV}}$$

where

S_{kVA} = Transformer kVA rating

V_{kV} = Line-to-ground voltage rating in kV

Winding Designations for Single-Phase Primary and Secondary Transformer Windings with One Winding

Nomenclature	Examples	Description
E	13800 	E shall indicate a winding of E volts that is suitable for Δ connection on an E volt system.
E/E ₁ Y	2400/4160Y 	E/E ₁ Y shall indicate a winding of E volts that is suitable for Δ connection on an E volt system or for Y connection on an E ₁ volt system.
E/E ₁ GrdY	7200/12470GrdY 	E/E ₁ GrdY shall indicate a winding of E volts having reduced insulation that is suitable for Δ connection on an E volt system or Y connection on an E ₁ volt system, transformer, neutral effectively grounded.
E ₁ GrdY/E	12470GrdY/7200 480GrdY/277 	E ₁ GrdY/E shall indicate a winding of E volts with reduced insulation at the neutral end. The neutral end may be connected directly to the tank for Y or for single-phase operation on an E ₁ volt system, provided the neutral end of the winding is effectively grounded.

$$E_1 = \sqrt{3} E$$

Note: E is line-to-neutral voltage of a Y winding, or line-to-line voltage of a Δ winding.

Source: IEEE Std. C57.12.00-2000. Copyright 2000 IEEE. All rights reserved.

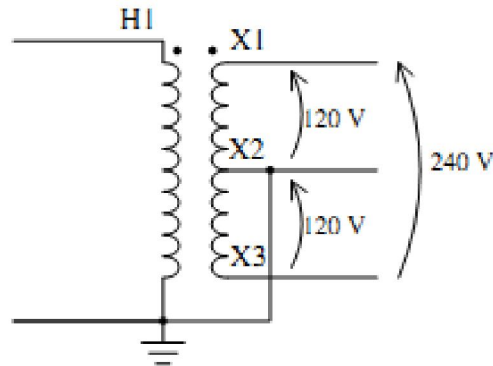
- Jadi, transformator 50-kVA fase tunggal dengan belitan tegangan tinggi 12470GrdY / 7200 V memiliki arus beban penuh 6,94 A pada primer. Pada 240/120-V sekunder, arus beban-penuh melintasi belitan 240-V adalah 208,3 A.
- Polaritas adalah tambahan tegangan yang terjadi akibat peningkatan tegangan pada belitan yang terhubung secara seri

- Standar polaritas untuk industri adalah

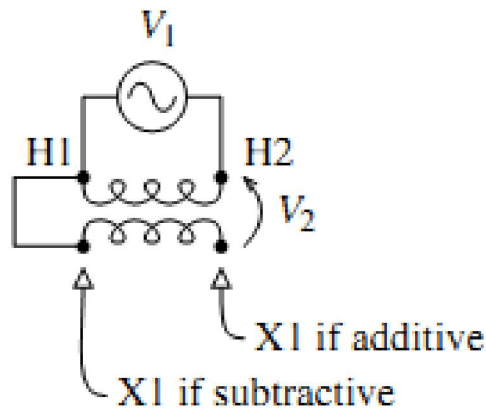
$$\text{kVA} \leq 200 \text{ and } V \leq 8660$$

- Semua trafo distribusi memiliki polaritas subtraktif.
- Pada dasarnya transformator distribusi memiliki polaritas aditif dan semua transformator daya memiliki polaritas subtraktif.
- Meningkatnya ukuran trafo distribusi menyebabkan tumpang tindih antara trafo “distribusi” dan “daya”, sehingga trafo distribusi yang lebih besar dibuat dengan polaritas subtraktif untuk konsistensi.
- Polaritas penting saat menghubungkan unit fase tunggal di tiga fase penyimpanan dan untuk unit paralel.

Diagram Trafo Distribusi fase tunggal



- Penjumlahan dan Pengurangan Polaritas



Additive:

$$V_1 > V_2$$

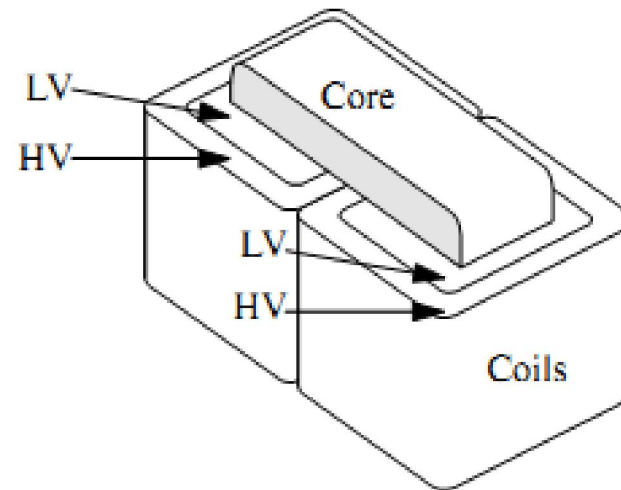
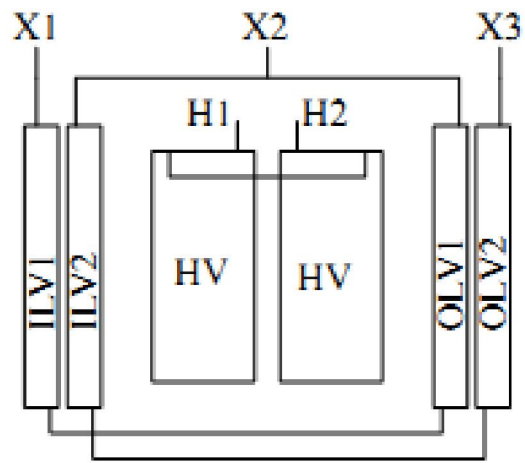
Subtractive:

(>200kVA or >8660V)

$$V_2 > V_1$$

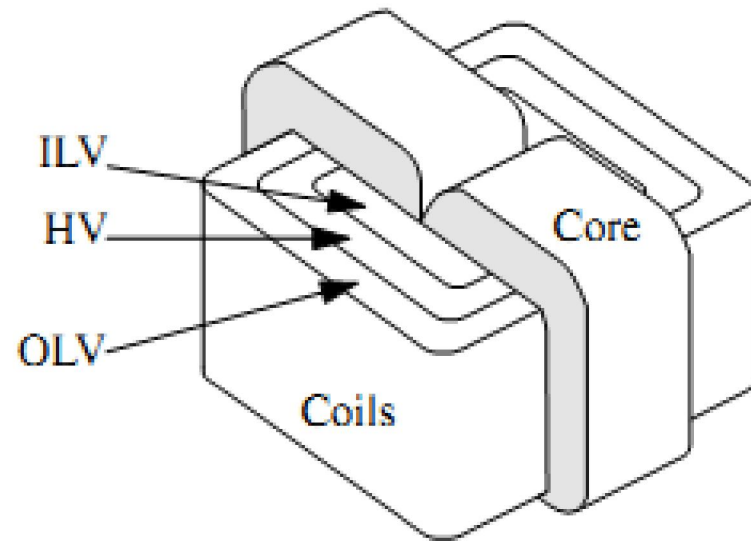
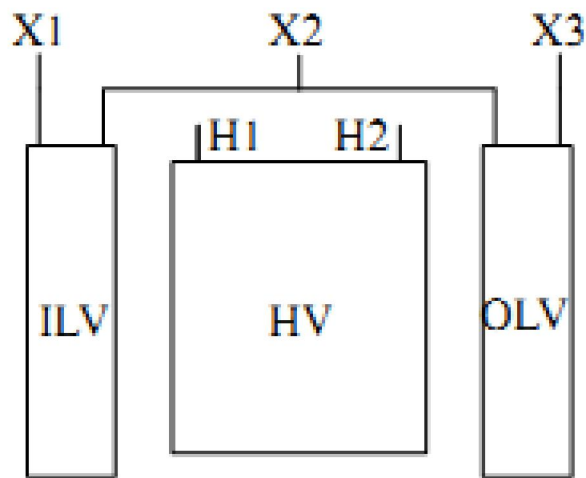
Inti Trafo

Core form, interlaced



Bentuk Cangkang

Shell form, non-interlaced



Desain Cangkang Trafo

- Desain bentuk cangkang tidak perlu memiliki belitan jalinan (interlaced), sehingga konfigurasi non interlaced biasanya digunakan pada transformator bentuk cangkang karena lebih sederhana.
- Sekunder noninterlaced memiliki dua hingga empat kali reaktansi: gulungan sekunder dipisahkan oleh belitan tegangan tinggi dan insulasi di antaranya.
- Interlacing mengurangi reaktansi karena belitan tegangan rendah tepat di sebelah satu sama lain.

Impedansi Trafo

- Dengan mempertimbangkan besarnya impedansi transformator dan beban yang hilang, impedansi nyata dan reaktif dalam persen dapat dihitung sebagai :

$$R = \frac{W_{Cu}}{10S_{kVA}}$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

where

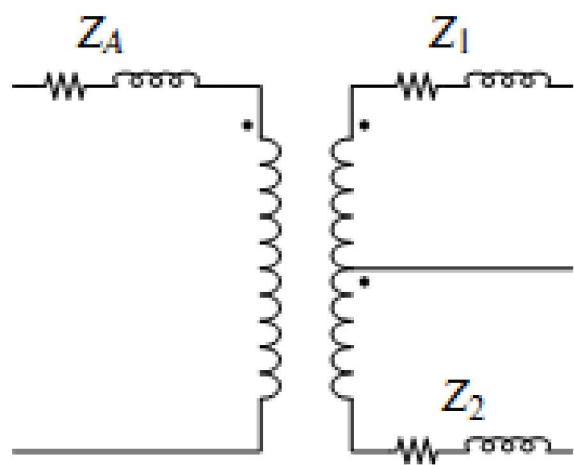
S_{kVA} = transformer rating, kVA

W_{Cu} = $W_{TOT} - W_{NL}$ = load loss at rated load, W

W_{TOT} = total losses at rated load, W

W_{NL} = no-load losses, W

Z = nameplate impedance magnitude, %



Full-winding impedance = $R + jX$

Interlaced secondary winding

$$Z_A = 0,5R + j0,8X$$

$$Z_1 = Z_2 = R + j0,4X$$

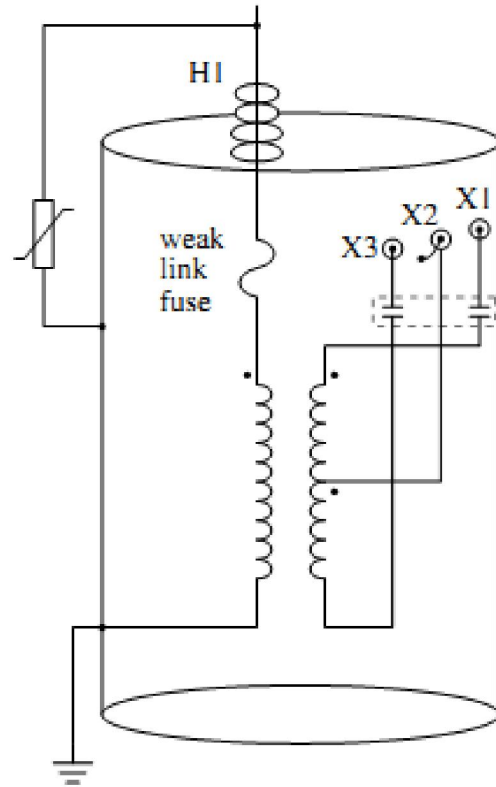
Noninterlaced secondary winding

$$Z_A = 0,25R - j0,6X$$

$$Z_1 = 1,5R + j3,3X$$

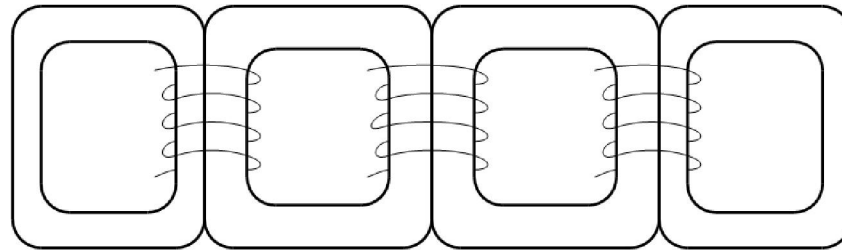
$$Z_2 = 1,5R + j3,1X \text{ (inner winding)}$$

Pengaman Trafo

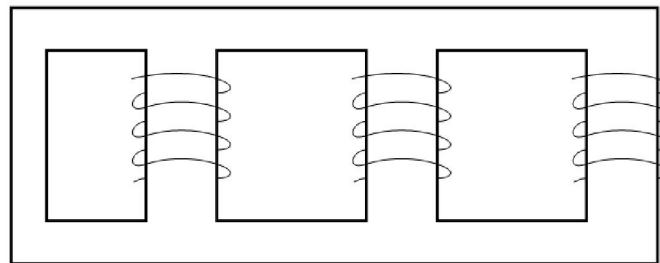


Trafo Tiga Fasa

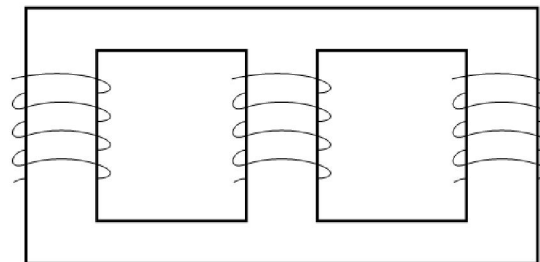
Five-legged wound core



Four-legged stacked core

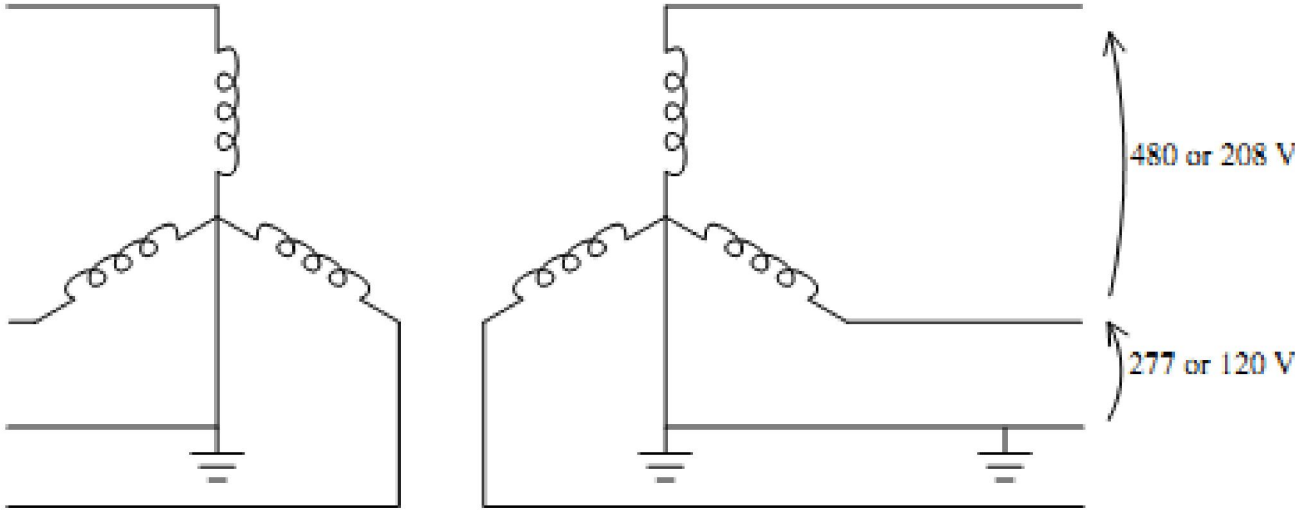


Three-legged stacked core



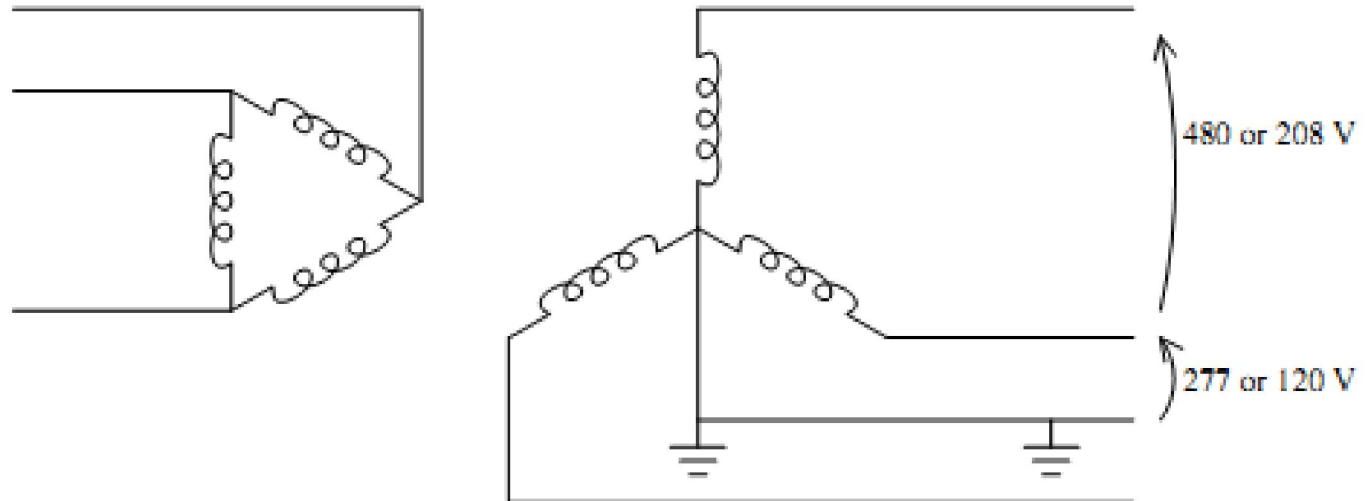
Konfigurasi

Grounded Wye -- Grounded Wye

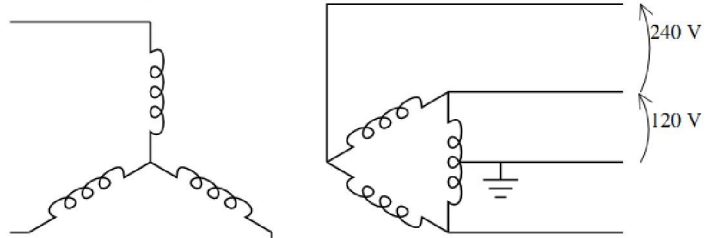


Konfigurasi

Delta -- Grounded Wye

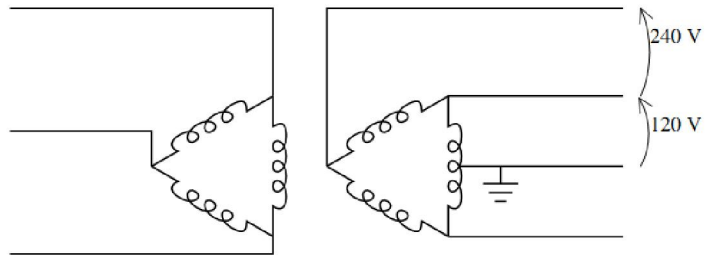


Floating Wye -- Delta



Common delta secondary connections:
240-V 3-wire
480-V 3-wire
240/120-V 4-wire (shown)

Delta -- Delta



Open Wye -- Open Delta

