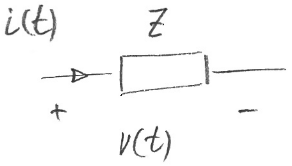
Fö2 Växelström, 3-fassystem, transformatorer



$$i(t) = I_{peak} \sin(\omega t + \varphi_i)$$

$$v(t) = V_{peak} \sin(\omega t + \varphi_v)$$

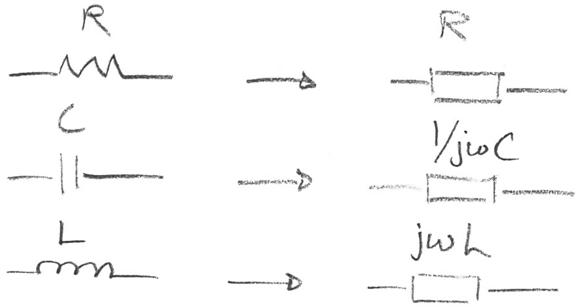
Effektivvärde

$$I_{rms} = \frac{I_{peak}}{\sqrt{2}} \quad , V_{rms} = \frac{V_{peak}}{\sqrt{2}}$$

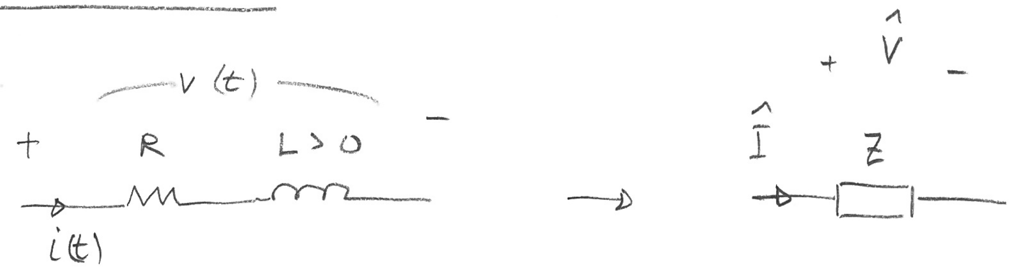
jω-metoden

$$x(t) = X_{peak} \sin(\omega t + \varphi) \longleftrightarrow \hat{X} = X_{peak} e^{j\varphi}$$ toppvärdesskala

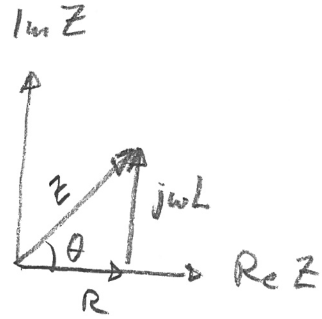
$$\hat{X} = X_{rms} e^{j\varphi}$$ effektivvärdesskalan



Induktiv last

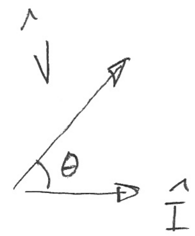


$$Z = R + j\omega L = |Z| e^{j\theta} \quad \text{där} \quad 0 < \theta \leq \frac{\pi}{2}$$



Välj $i(t)$ som riktfas dvs $\varphi_i = 0$: $\hat{I} = I_{rms}$

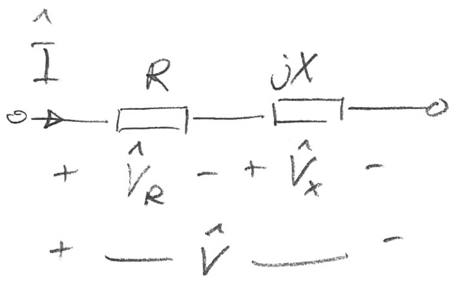
$$\hat{V} = Z \cdot \hat{I} = \underbrace{|Z| \cdot I_{rms}}_{= V_{rms}} e^{j\theta} = V_{rms}\, e^{j\theta}$$

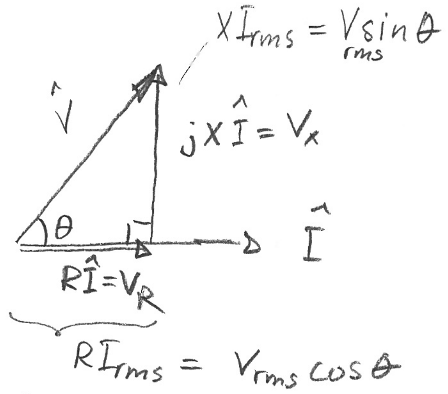


$\theta = \varphi_v - \varphi_i$ kallas för effektfaktorvinkel

Då $\varphi_v > \varphi_i$ är strömmen efter spänning (lagging)

Effekt





Momentan effekt: $p(t) = v(t) \cdot i(t)$ [W]

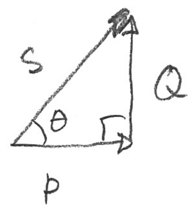
Aktiv effekt = medeleffekt = $P = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)\,dt$ =>

$$P = R I_{rms}^2 = V_{rms} I_{rms} \underbrace{\cos\theta}_{\text{effektfaktor}} \quad [W]$$

Reaktiv effekt: $Q = X I_{rms}^2 = V_{rms} I_{rms} \sin\theta$ [VAr]

Skenbar effekt: $S = V_{rms} I_{rms}$ [VA]

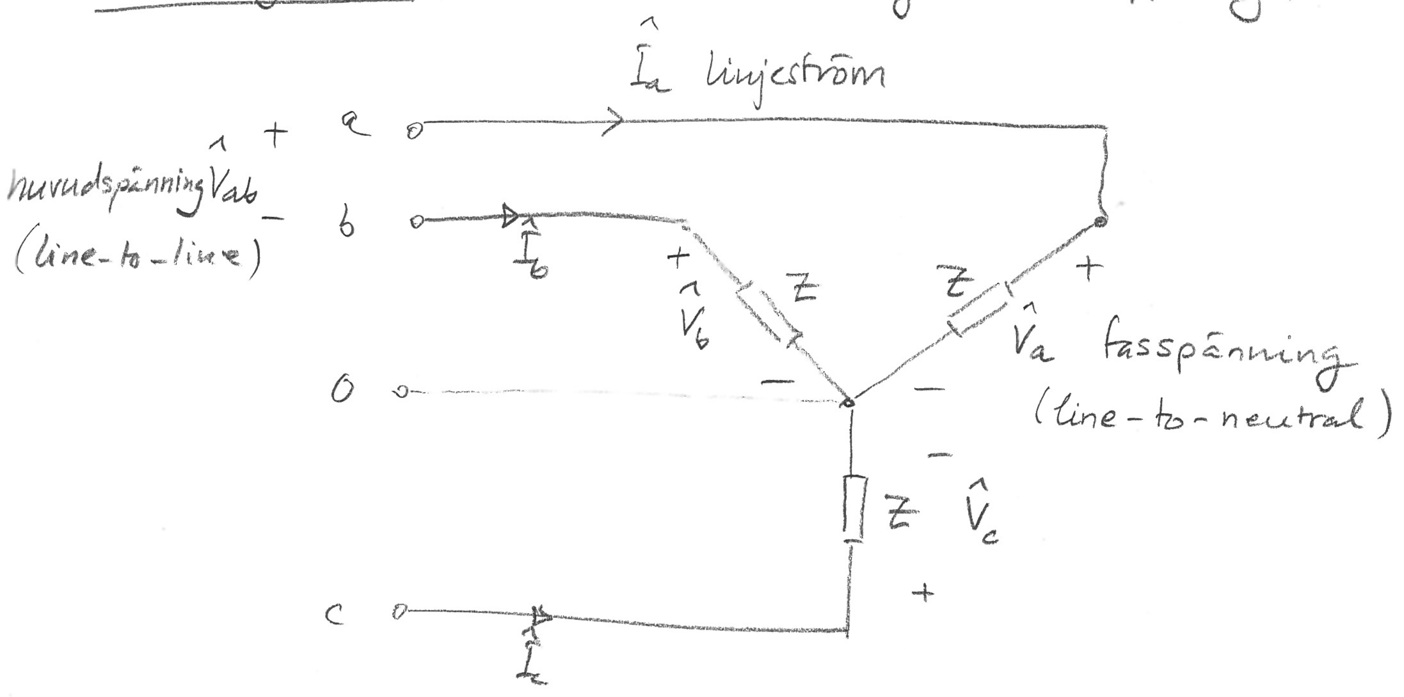
Effekttriangeln:



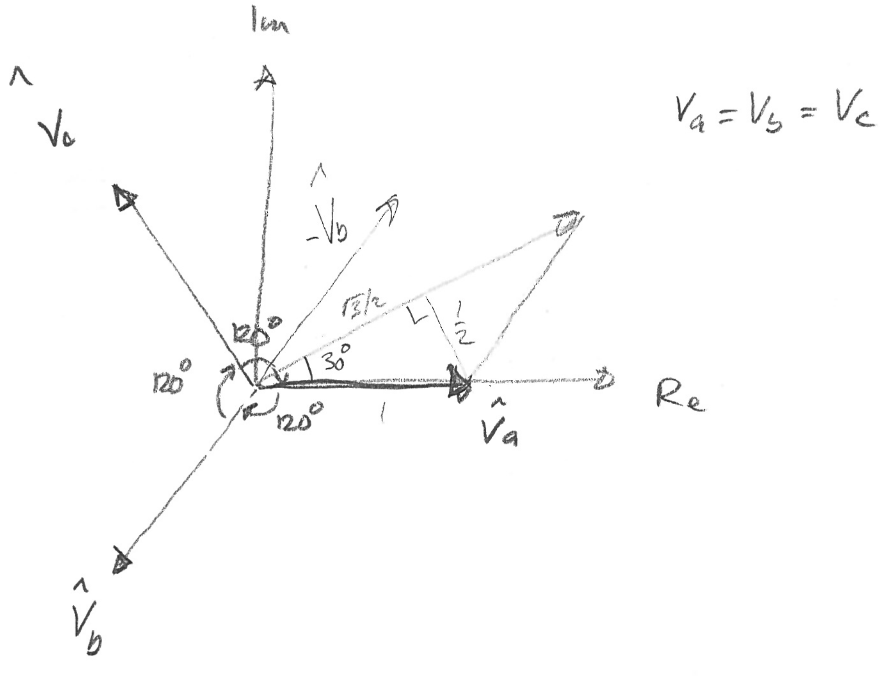
$S^2 = P^2 + Q^2$

Trefassystem

Y-koppling (Δ-koppling)



Symmetriskt trefassystem



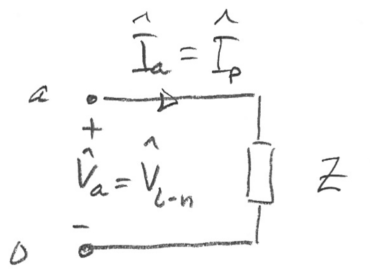
$V_a = V_b = V_c$

Huvudspänning: $\hat{V}_{ab} = \hat{V}_a - \hat{V}_b = \underline{\sqrt{3}\, V_a e^{j\frac{\pi}{6}}}$

$\hat{I}_a + \hat{I}_b + \hat{I}_c = 0$ $\quad (\hat{V}_a + \hat{V}_b + \hat{V}_c = 0)$

Beräkning av symmetriskt belastade trefassystem

Räkna per ekv. Y-fas (fasspänning)



Trefaseffekt

$$P = 3\, V_{l-n,rms}\, I_{p,rms} \cos\theta$$

$$Q = 3\, V_{l-n,rms}\, I_{p,rms} \sin\theta$$

$$S = 3\, V_{l-n,rms}\, I_{p,rms}$$

Märkdata

Motor 8.3 kVA 400V 12A

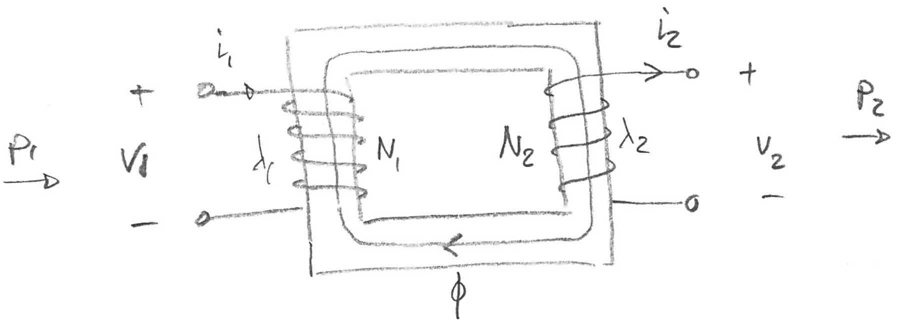
- Effekt : 3-faseffekt P
  3-fas skenbar effekt S
- Spänning : huvudspänningens effektivvärde $V_{l-l,rms}$
- Ström : linjeströmmens effektivvärde $I_{p,rms}$

Ex Beräkna märkströmmen för en trefaslast med märkdata 9 kVA, 400V.

$$S = 3 \cdot V_{l-n,rms}\, I_{p,rms} \Leftrightarrow$$

$$I_{p,rms} = \frac{S}{3 \cdot V_{l-n,rms}} = \frac{9000}{3 \cdot \frac{400}{\sqrt{3}}} \approx 13 \text{ A}$$

Ideal transformator



Antagande

förlustfri

$\mu \to \infty$

$$w = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{omsättningstalet}$$

Spänningstransf.

ind. lagen

$$v_1 = \frac{d\lambda_1}{dt} = N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

$$v_2 = \frac{d\lambda_2}{dt} = N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{v_1}{v_2} = \frac{N_1}{N_2} = w}$$

Strömtransf.

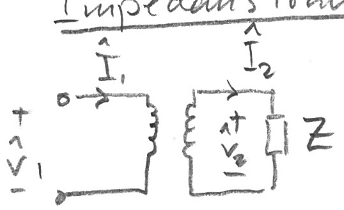
magn. strömlag $\quad N_1 i_1 - N_2 i_2 = 0 \iff \boxed{\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{w}}$

Effekttransf.

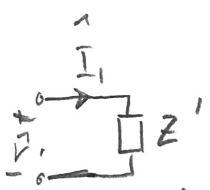
$$P_1 = v_1 i_1 = w \cdot v_2 \cdot \frac{1}{w} i_2 = v_2 i_2 = P_2$$

All energilagringsförmåga har försummats.

Impedanstransf.



$\Rightarrow$



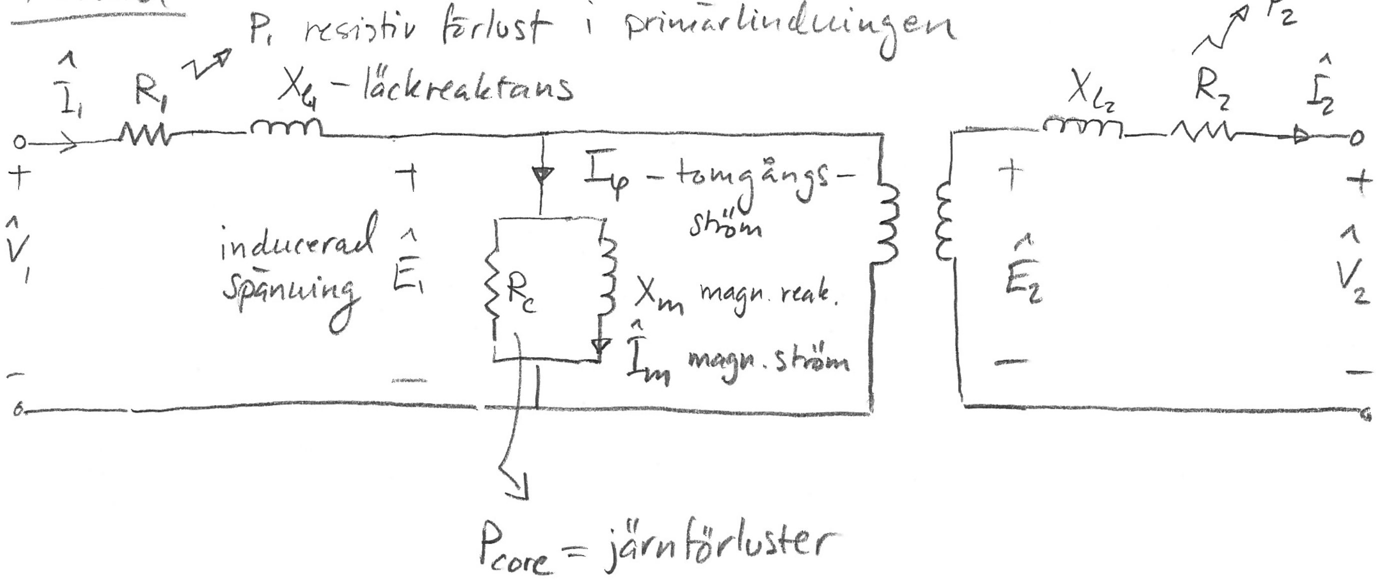
$$Z' = \frac{\hat{V}_1}{\hat{I}_1} = \frac{w \hat{V}_2}{\frac{1}{w}\hat{I}_2} = w^2 \frac{\hat{V}_2}{\hat{I}_2} = w^2 Z$$

Icke-ideal transformator

Modellerade effekter

- resistiva förluster i lindningar, $P_{winding}$
- järnförluster P_{core} (hysteres, virvelströmsf.)
- läckflöde
- magnetisering

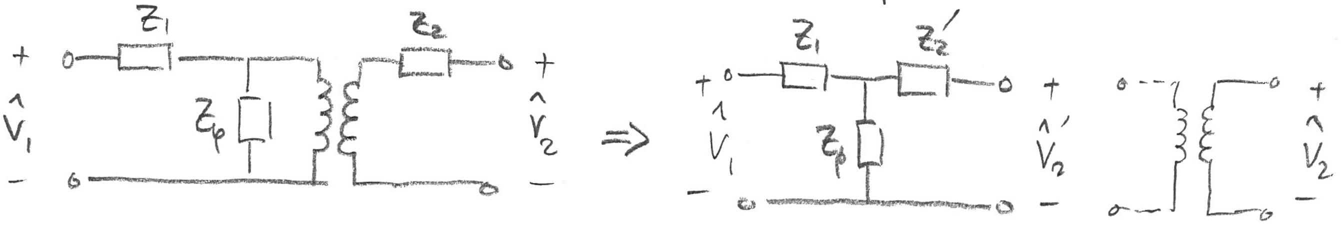
Modell



$$P_{winding} = P_1 + P_2$$

T-ekvivalent krets

Sätt $Z_1 = R_1 + jX_{\ell_1}$, $Z_2 = R_2 + jX_{\ell_2}$, $Z_\varphi = R_c // jX_m$

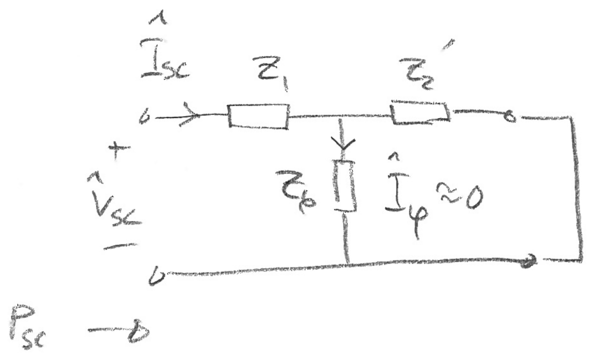


där $Z_2' = w^2 Z_2$, $\hat{V}_2' = w\hat{V}_2$

Vanligtvis är $Z_1 \approx Z_2'$ och $|Z_1| \ll |Z_\varphi|$.

Uppskattning av förlosteffekter

Kortslutningsprov för lindningsförluster

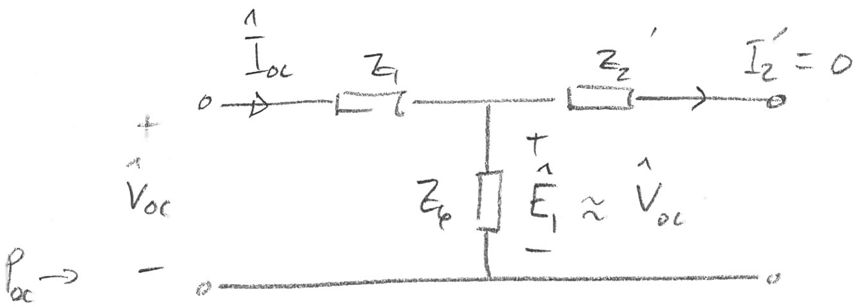


V_{sc} ställs in så att I_{sc} antar märkström.

$$|Z_2'| << |Z_\varphi| \Rightarrow \hat{I}_\varphi \approx 0 \Rightarrow P_{core} = 0 \Rightarrow$$

$$P_{sc} = (R_1 + R_2')\, I_{sc,rms}^2 = P_1 + P_2 = P_{winding}$$

Tomgångsprov för järnförluster



$$|Z_1| << |Z_\varphi| \Rightarrow \hat{E}_1 \approx \hat{V}_{oc} \Rightarrow P_{winding} \approx 0$$

$$P_{oc} = \frac{V_{oc,rms}^2}{R_c} = P_{core}$$