Synkronmaskinen

Modellering

Ekvivalent enfaskrets för en trefasmotor matad med balanserad trefasström.

Sammanlänkat flöde

Betrakta en statorlindning där energiomv. sker:

$$\lambda_a = \mathcal{L}_{aa} i_a + \mathcal{L}_{ab} i_b + \mathcal{L}_{ac} i_c + \mathcal{L}_{af} i_f \qquad (1)$$

Induktanser

- ömsinduktans mellan rotor och stator

$$\mathcal{L}_{af} = L_{af} \cos\theta_{me} \qquad (2)$$

- statorlindningarnas induktanser

$$\mathcal{L}_{aa} = \mathcal{L}_{bb} = \mathcal{L}_{cc} = L_{aa} = L_{aa0} + L_{al} \qquad (3)$$

(L_{aa0}: ges av luftgapsflödet; L_{al}: ges av läckflödet)

$$\mathcal{L}_{ab} = \mathcal{L}_{bc} = \mathcal{L}_{ca} = L_{aa0} \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) = -\frac{1}{2} L_{aa0} \qquad (4)$$

(2)-(4) i (1):

$$\lambda_a = (L_{aa0} + L_{al}) i_a - \frac{1}{2} L_{aa0} i_b - \frac{1}{2} L_{aa0} i_c + \mathcal{L}_{af} i_f =$$

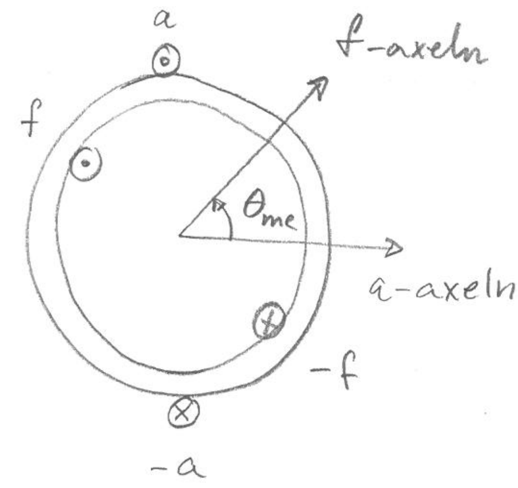
$$= \underbrace{\left(\frac{3}{2} L_{aa0} + L_{al}\right)}_{=: \text{ synkroninduktansen } L_s} i_a - \frac{1}{2} L_{aa0} \underbrace{(i_a + i_b + i_c)}_{=0} + L_{af} i_f \cos\theta_{me} \qquad (5)$$

Kretssamband

Låt:

- $i_a = \sqrt{2} I_a \cos\omega_e t$, $i_f = I_f$
- f-axeln ligga δ_{e0} elektriska radianer före statorvågens magn. axel, dvs

$$\theta_{me} = \omega_e t + \delta_{e0}$$



Statorkrets

$$V_a = R_a i_a + \frac{d\lambda_a}{dt} \overset{(5)}{=}$$

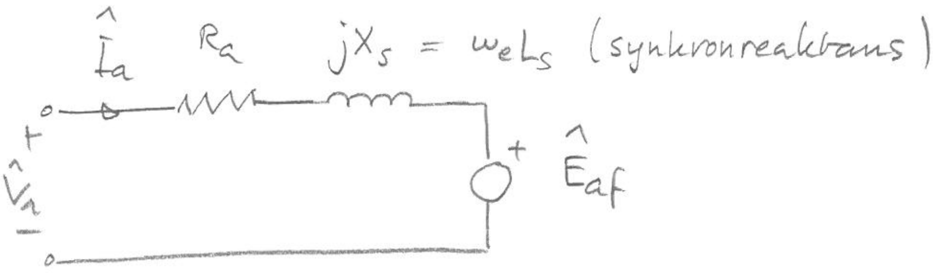
$$= R_a i_a + L_s \frac{di_a}{dt} + \underbrace{\frac{d}{dt} L_{af} I_f \cos(\omega_e t + \delta_{e0})} \Rightarrow$$

$$= -\omega_e L_{af} I_f \sin(\omega_e t + \delta_{e0}) =: e_{af}$$

$$V_a = R_a i_a + L_s \frac{di_a}{dt} + e_{af} \qquad (6)$$

sinusvågor med vinkelhastighet ω_e ⇒ $j\omega$-metoden kan användas!

Komplex representation



$$\hat{V}_a = R_a \hat{I}_a + jX_s \hat{I}_a + \hat{E}_{af} \qquad (7)$$

$\hat{E}_{af}$: Låt $i_a = \sqrt{2} I_a \cos(\omega_e t)$ vara riktfas, dvs

$$\hat{I}_a = I_a$$

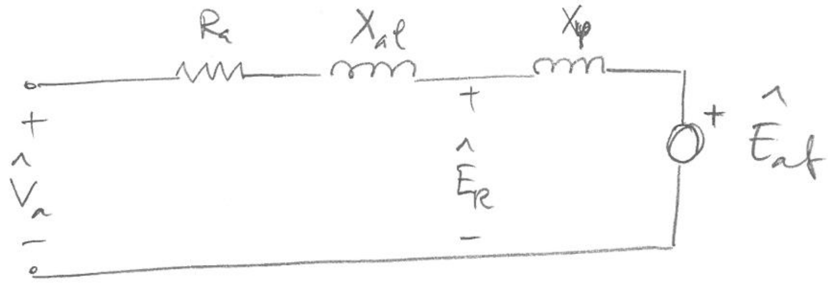
$$e_{af} = -\omega_e L_{af} I_f \sin(\omega_e t + \delta_{e0}) = \left/ -\sin\alpha = \cos\left(\alpha + \tfrac{\pi}{2}\right) \right/$$

$$= \omega_e L_{af} I_f \cos\left(\omega_e t + \tfrac{\pi}{2} + \delta_{e0}\right) \Rightarrow$$

$$\hat{E}_{af} = \frac{\omega_e L_{af} I_f}{\sqrt{2}} \cdot e^{j\left(\frac{\pi}{2} + \delta_{e0}\right)} = j \cdot \frac{\omega_e L_{af} I_f}{\sqrt{2}} e^{\delta_{e0}} \qquad (8)$$

Ibland delas $X_s = \omega_e \left(\frac{3}{2} L_{aa0} + L_{al}\right)$ upp i

- $X_\varphi = \frac{3}{2} L_{aa0} \omega_e$ = magnetiseringsreaktansen
- $X_{al} = L_{al} \omega_e$ = läckreaktansen

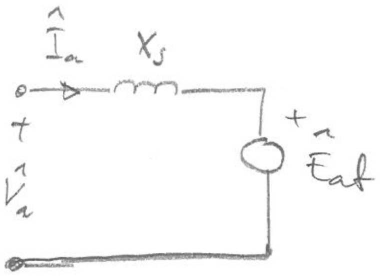


$\hat{E}_R$ = luftgapsspänningen = den inducerade spänningen av det totala luftgapsflödet från rotor + stator

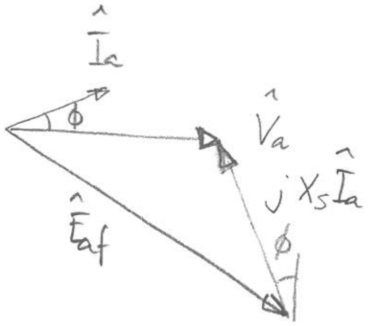
Driftfall

Antag att $R_a \approx 0\,\Omega$.

Motordrift

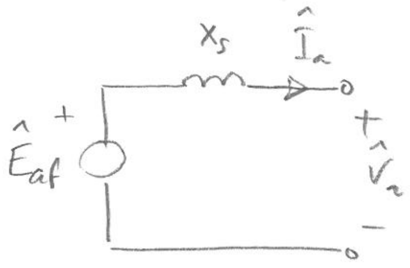


Visardiagram

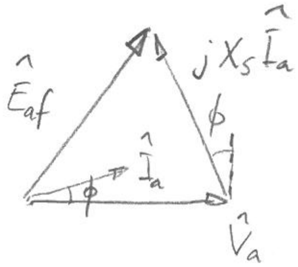


$\hat{V}_a$ är före $\hat{E}_{af}$

Generatordrift



Visardiagram



$\hat{E}_{af}$ före $\hat{V}_a$

Parameterisering

$$\hat{V}_a = R_a \hat{I}_a + jX_s \hat{I}_a + \hat{E}_{af}$$

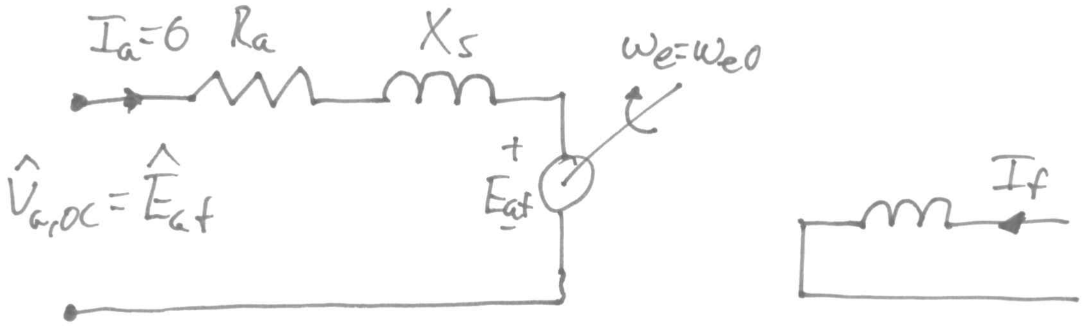
där $X_s = \omega_e L_s$

$$\hat{E}_{af} = j\left(\frac{\omega_e L_{af} I_f}{\sqrt{2}}\right) e^{j\delta_{e0}}$$

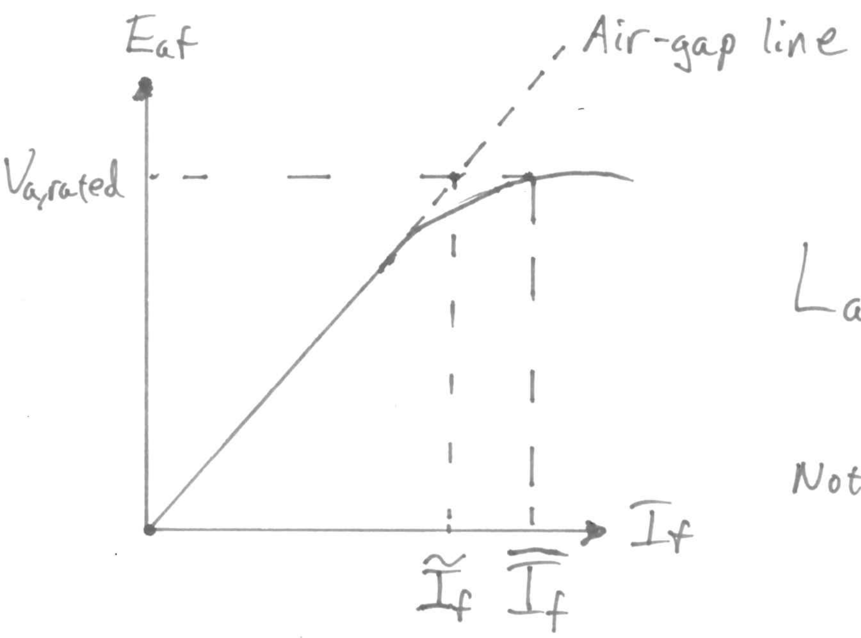
Parametrar

R_a, X_s, L_{af}
(L_s)

- R_a kan mätas
- L_{af}: Tomgångsprov (mättningskaraktäristik)



Synkronmotorns magnetiseringskurva

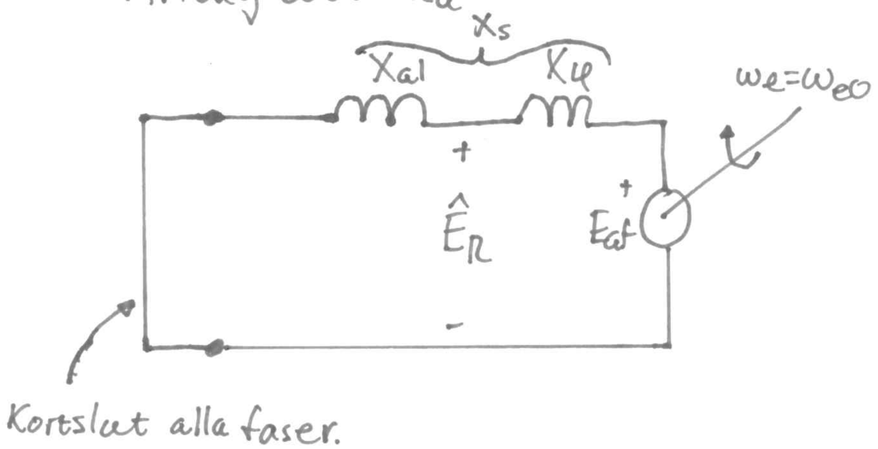


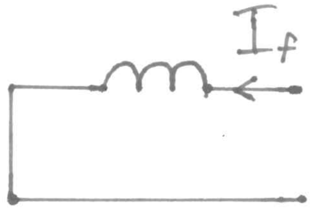
$$L_{af} = \frac{\sqrt{2}\, E_{af}}{\omega_{e0} I_f}$$

Notera: L_{af} minskar vid mättning

• L_s: Belastningsprov (kortslutnings karaktäristik) (scc)

• Antag att $R_a \approx 0$

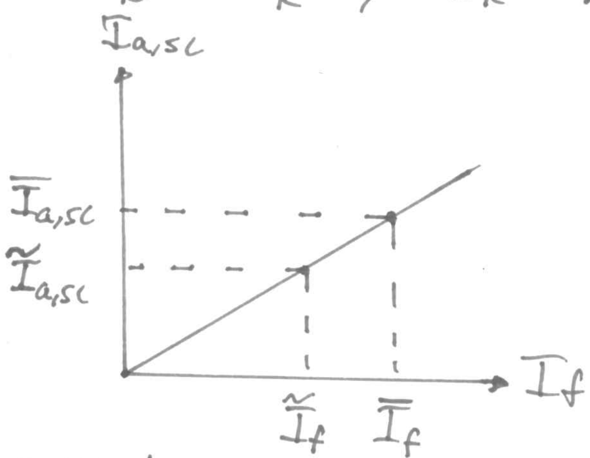




$$\hat{E}_{af} = j X_s \hat{I}_{a,sc} \Rightarrow X_s = \frac{E_{af}}{I_{a,sc}}$$

Motor omättad ty:

$$B \sim E_R \,, \quad E_R \ll E_{af} \quad \text{ty} \quad X_{al} \ll X_\varphi$$



Omättad synkronreaktans

$$X_{s,u} = \frac{E_{af}(I_f)}{I_{a,sc}(I_f)} = \Big/ \begin{matrix}\text{väl}\\ I_f = \tilde{I}_f\end{matrix} \Big/ = \frac{V_{a,ag}(\tilde{I}_f)}{\tilde{I}_{a,sc}(\tilde{I}_f)}$$

Då motorn är omättad gäller att

$$X_{s,u} = \frac{V_{a,ag}(I_f)}{I_{a,sc}(I_f)}, \text{ för alla } I_f$$

Mättad synkronreaktans

$$X_s = \frac{E_{af}(I_f)}{I_{a,sc}(I_f)} = \Big/ \begin{matrix}\text{väl}\\ I_f = \bar{I}_f\end{matrix} \Big/ = \frac{V_{a,\text{rated}}}{\bar{I}_{a,sc}}$$

Ex 45 kVA, 220 V, 3-fas, 60 Hz synkronmotor ⑦

$f_c = 60$ Hz	Prov 1 (omättad)	Prov 2 (mättad)
I_f [A]	2,2	2,84 ← $\bar{I}_f$
oc $V_{a,L-L}$ [V]	—	220 (märkspänning)
oc $V_{a,ag,L-L}$ [V]	202	—
sc I_a [A]	118 (märkström)	152 ($\bar{I}_{a,sc}$)

Sökt: $X_{s,u}$, X_s

$$V_{a,ag,L-n} = \frac{V_{a,ag,L-L}}{\sqrt{3}}$$

$$X_{s,u} = \frac{V_{a,ag}(I_f)}{I_{a,sc}(I_f)} = \frac{202/\sqrt{3}}{118} = 0{,}99\ \Omega/\text{fas}$$

$$X_s = \frac{V_{a,rated}}{\bar{I}_f} = \frac{220/\sqrt{3}}{152} = 0{,}84\ \Omega/\text{fas}$$