

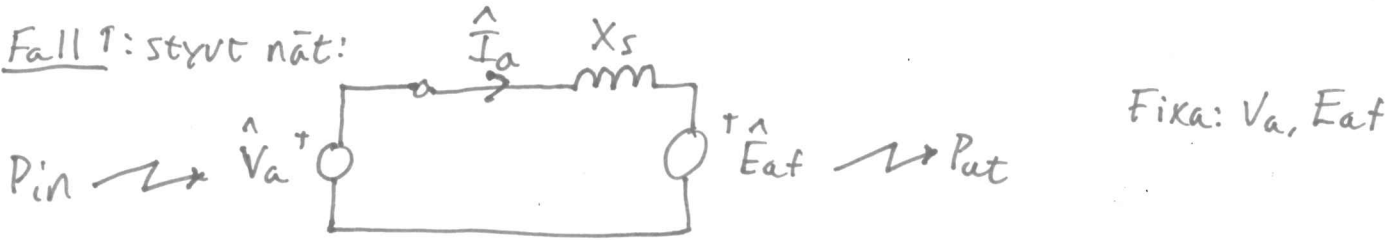
Fö8 Styrning av synkronmaskinen

①

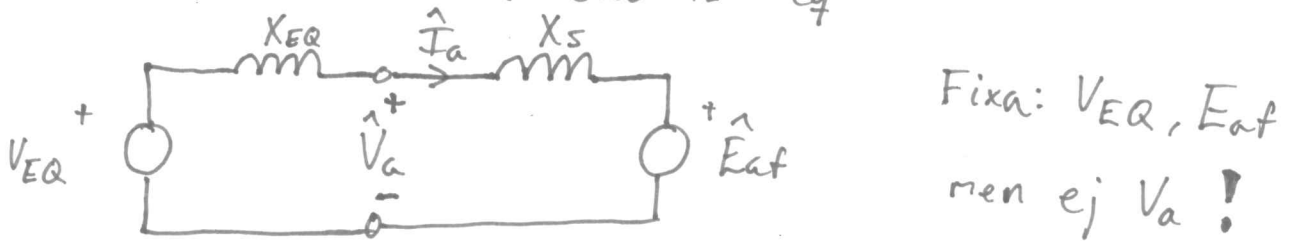
Elektromekanisk effekt

Antagande: försumma alla förluster, d.v.s $R_a = 0$

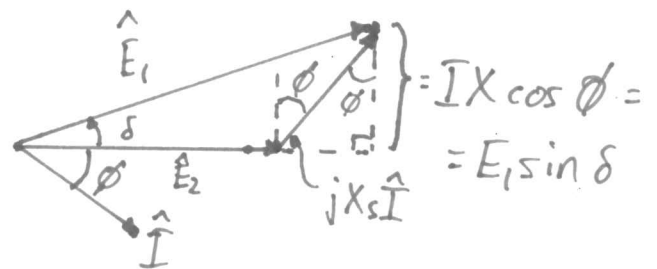
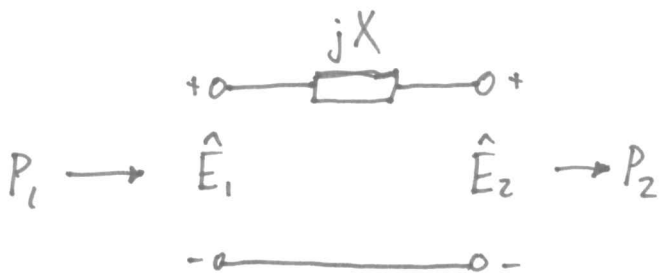
Fall 1: styvt nät:



Fall 2: Nät modellerat som ideal spänningskälla \hat{V}_{EQ} i serie med reaktans X_{EQ} :



Effektöverföring

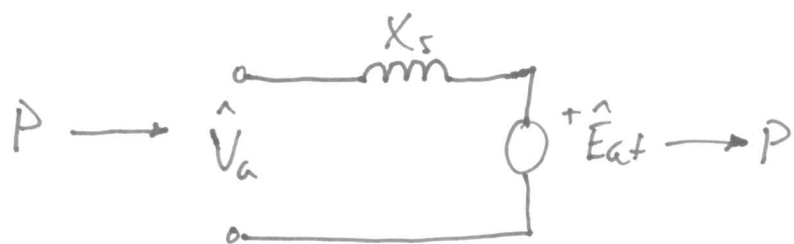


$\delta = \text{effektvinkel} = \text{fasvinkel}(\hat{E}_1) - \text{fasvinkel}(\hat{E}_2)$

$$P_1 = P_2 = E_2 I \cos \phi = I \cos \phi = \frac{E_1}{X} \sin \delta =$$

$$= \frac{E_1 E_2}{X} \sin \delta$$

Synkronmaskinens driftsfall



$$P = \frac{V_a E_{at}}{X_s} \sin \delta$$

- $P > 0 \Leftrightarrow$ Motordrift $\Leftrightarrow \delta > 0 \Leftrightarrow \hat{V}_a$ före \hat{E}_{at}
- $P = 0 \Leftrightarrow$ Tomgång $\Leftrightarrow \delta = 0 \Leftrightarrow \hat{V}_a$ i fas med \hat{E}_{at}
- $P < 0 \Leftrightarrow$ Generatordrift $\Leftrightarrow \delta < 0 \Leftrightarrow \hat{E}_{at}$ före \hat{V}_a

Maximal effekt vid tillfällig belastningsstopp

= största effekt som kan tas ut utan att förlora synkroniserad rotation

Låt V_a och E_a vara konstanta oberoende av δ , då är maxeffekten P_{max} :

$$P = \frac{V_a E_{at}}{X_s} \sin \delta \leq \frac{V_a E_{at}}{X_s} = P_{max}$$

med $P = P_{max}$ då $\delta = 90^\circ$

Notera:

- Per-fas uttryck!
- V_a konstant om nätet är styvt
- $E_{at} = \frac{\omega_e L_{af} I_f}{\sqrt{2}}$ är konstant om ω_e och I_f är konstanta
- $I > I_{rated}$ då $P = P_{max}$

Ideal effektfaktor

3.

För att minimera resistiva förluster $= R_a I_a^2$
så måste I_a minimeras.

För en given effekt P och spänning V_a gäller:

$$I_a = \frac{P}{V_a \cos \phi} \geq \frac{P}{V_a}$$

med likhet då $\cos \phi = 1$.

\Rightarrow Reglermål: Kör motorn med effektfaktor 1.

Styrning av effektfaktorn

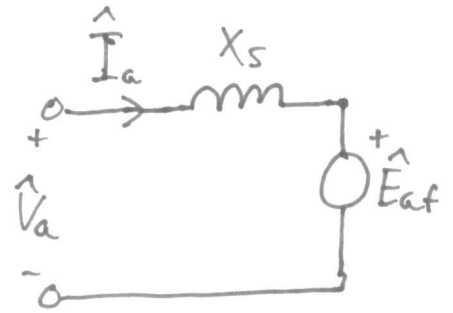
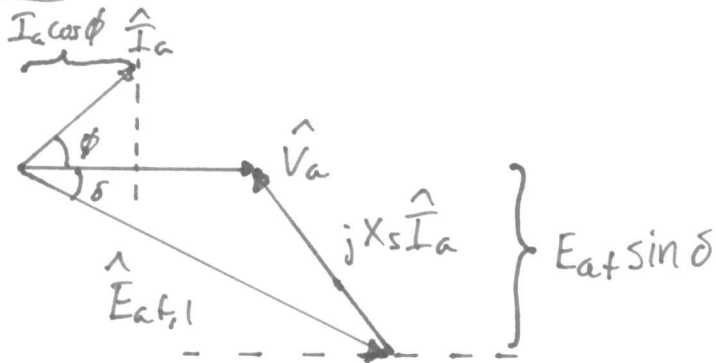
(4)

Antag att P , V_a , ω_e och X_s är givna.

Då återstår att välja magn. strömmen $I_f \propto E_{af}$ i

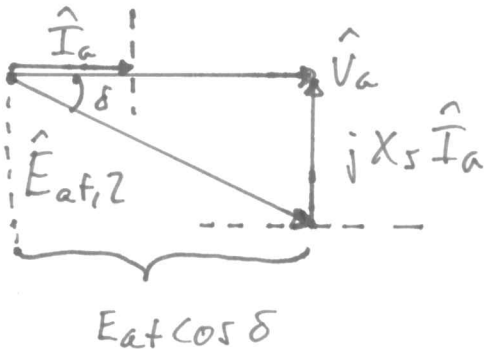
$$P = \frac{V_a E_{af}}{X_s} \sin \delta = V_a I_a \cos \phi$$

Fall 1: I_a före V_a (kapacitiv verkan)

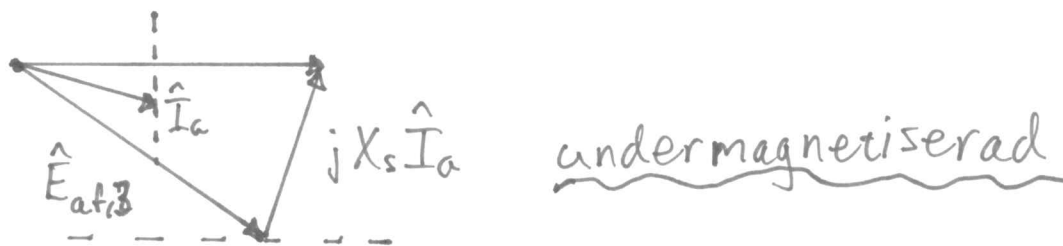


överbmagnetiserad

Fall 2: I_a i fas med V_a , d.v.s. $\cos \phi = 1$



Fall 3: I_a efter V_a (induktiv verkan)



$$E_{af,1} > E_{af,2} > E_{af,3} \Rightarrow I_{f1} > I_{f2} > I_{f3}$$

Strömmen I_f som ger effektfaktor 1

⑤

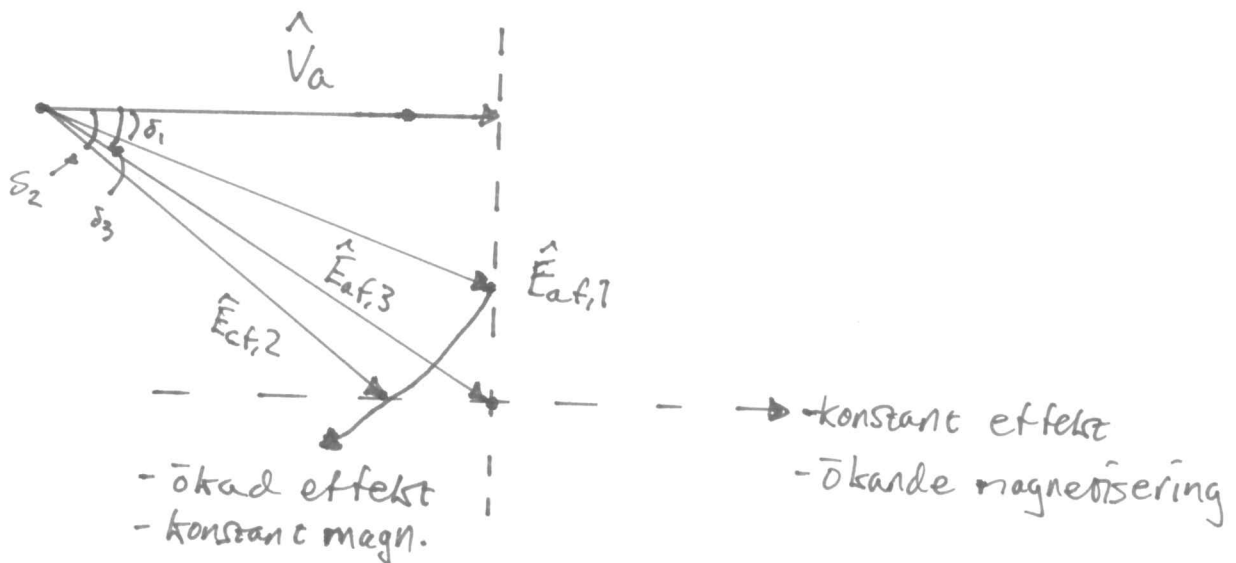
$$I_a: P = V_a I_a \underbrace{\cos \phi}_{=1}$$

$$E_{af}: E_{af}^2 = V_a^2 + (X_s I_a)^2 \quad (\text{pytagoras})$$

$$I_f: I_f = \frac{\sqrt{2} E_{af}}{\omega_e L_{af}}$$

Magnetiseringens beroende på last

(se animeringar: 27, 28)



\Rightarrow ökad last kräver ökad magnetisering för att bibehålla $\cos \phi = 1$

alt: $P \uparrow \Rightarrow I_a \uparrow \Rightarrow E_{af} \uparrow \Rightarrow I_f \uparrow$

Exempel 1: Maxeffekt

(6)

Givet: • 1500 kW, 2300 V, 3-fas, Y-kopplad,
30 polig, 60 Hz synkronmotor

• $X_s = 1,95 \Omega/\text{fas}$

• Märkspänning $V_a = V_{\text{rated}} = \frac{2300}{\sqrt{3}} \text{ V}$

• I_f vald så att $\cos \phi = 1$ då $P = P_{\text{rated}}$ (1)

Sökt: P_{max} , T_{max}

Lösning:

$$P_{\text{max}} = n_{\text{ph}} \cdot \frac{V_a \cdot E_{\text{af}}}{X_s} \quad \text{då } V_a \text{ och } E_{\text{af}} \text{ ei (2)}$$

beror på δ

$$I_{\text{rated}} = \frac{P_{\text{rated}}}{n_{\text{ph}} V_a \cos \phi} = \frac{1500 \cdot 10^3}{3 \cdot \frac{2300}{\sqrt{3}} \cdot 1} = 377 \text{ A}$$

$$E_{\text{af}} = \sqrt{V_{a,\text{rated}}^2 + (X_s I_{a,\text{rated}})^2} = \sqrt{\left(\frac{2300}{\sqrt{3}}\right)^2 + 1,95^2 \cdot 377^2} = 1517 \text{ V}$$

$$P_{\text{max}} = 3 \cdot \frac{\frac{2300}{\sqrt{3}} \cdot 1517}{1,95} = \underline{\underline{3100 \text{ kW}}} > 2 \text{ ggr märkeffekt!}$$

$$T_{\text{max}} = P_{\text{max}} / \omega_m = \left/ \begin{array}{l} \omega_m = \frac{2}{p} \omega_{\text{me}} \\ \omega_{\text{me}} = 2\pi f_e \end{array} \right/ = \frac{P_{\text{max}}}{\frac{2}{p} \cdot 2\pi \cdot f_e}$$

$$= \frac{3,1 \cdot 10^6}{\frac{4\pi}{30} \cdot 60} = \underline{\underline{123,3 \text{ kNm}}}$$

Hastighetsstyrning

(7)

Princip

Låt ω_s vara rotorns mek. vinkelhastighet och ω_e den elektriska vinkelhastigheten, då är

$$\omega_s = \frac{2}{p} \omega_e$$

∴ Hastighetsstyrning genom att variera ω_e (f_e)

Spänningen V_a måste styras då f_e ändras

Le 4 övn 4.5 ⇒

$$V_a = k B_{peak} f_e$$

För märkvärden:

$$V_{rated} = k B_{rated} f_{rated}$$

Rimligt att köra motorn med största tillåtna flödestäthet, d.v.s. $B_{peak} = B_{rated}$. Detta ger

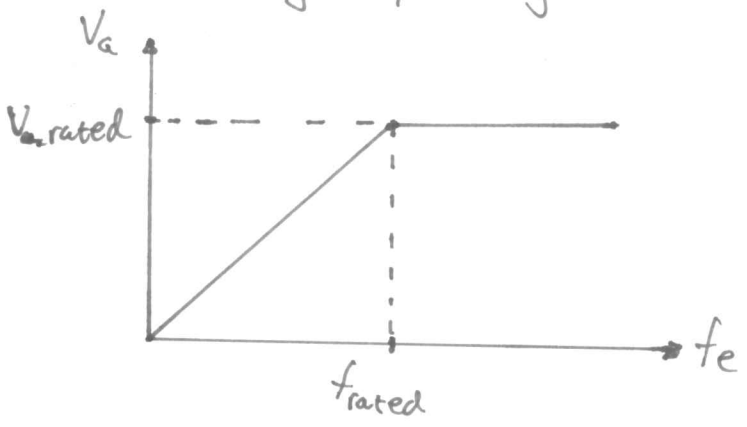
$$\boxed{\frac{V_a}{f_e} = \frac{V_{rated}}{f_{rated}}} \quad (3)$$

d.v.s. konstant V/Hz -styrning

Då $f_e \leq f_{rated}$ så gäller (3)

Då $f_e > f_{rated}$ ger konstant V/Hz -styrning $V_a > V_{rated}$,
därför väljs då $V_a = V_{rated}$

Spänningsstyrning

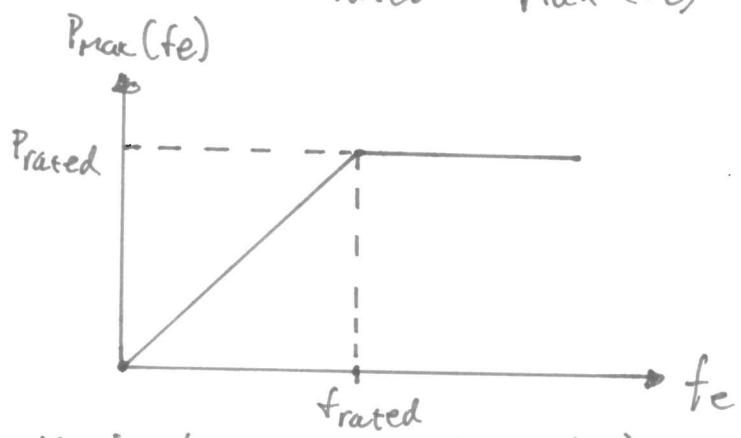


Maximal effekt $P_{max}(f_e)$ (stationär drift)

• $f_e \leq f_{rated}$: $P_{max}(f_e) = 3 \cdot V_a \cdot I_{rated} =$

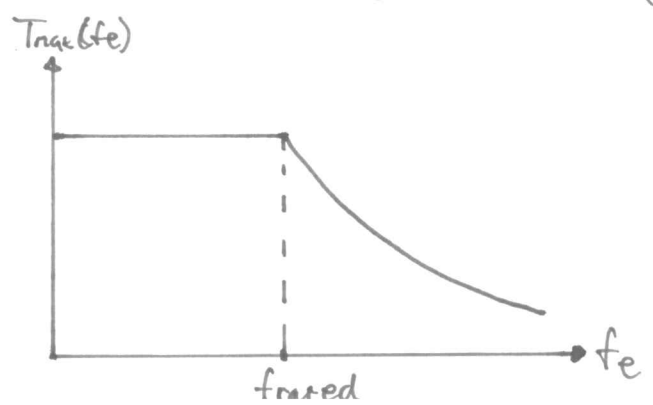
$$= \left/ V_a = \frac{f_e}{f_{rated}} \cdot V_{rated} \right/ = \frac{f_e}{f_{rated}} \cdot \underbrace{3 \cdot V_{rated} \cdot I_{rated}}_{P_{rated}} = \frac{f_e}{f_{rated}} \cdot P_{rated}$$

• $f_e > f_{rated}$: $P_{max}(f_e) = 3 \cdot V_{rated} \cdot I_{rated} = P_{rated}$



Maximalt moment $T_{max}(f_e)$ (stationär drift)

$$T_{max}(f_e) = \frac{P_{max}(f_e)}{\omega_s} \propto \frac{P_{max}(f_e)}{f_e}$$



Ex 2 Givet: Samma motor som ex 1 körs enligt

9

- i) $f_{el} = 30 \text{ Hz}$ (halverad mot)
- ii) konstant V/Hz -styrning
- iii) $P_i = 1 \text{ MW}$
- iv) Samma magnetiseringsström som tidigare

Sökt: Effektivvinkeln δ

Låt körfallet som det i)-iv) indexeras ?

δ kan beräknas ur

$$P_i = 3 \cdot \frac{E_{af} V_{al}}{X_{s1}} \cdot \sin \delta \quad (4)$$

$$\bullet E_{af} = \frac{\omega_e \underbrace{L_{af} I_f}_{= \text{konst}}}{\sqrt{2}} \Rightarrow E_{af} \propto f_e \Rightarrow$$

$$E_{af1} = E_{af} \cdot \frac{f_e}{f_{rated}} = E_{af} \cdot \frac{30}{60} = \frac{1}{2} E_{af}$$

$$\bullet V_{al} = V_{rated} \cdot \frac{f_e}{f_{rated}} = \frac{1}{2} V_{rated}$$

$$\bullet X_{s1} = L_s \omega_{e1} = \underbrace{L_s \omega_{rated}}_{= X_s} \cdot \frac{\omega_{e1}}{\omega_{rated}} = \frac{1}{2} X_s$$

$$(4): P_i = 3 \cdot \frac{\frac{1}{2} E_{af} \cdot \frac{1}{2} V_{rated}}{\frac{1}{2} X_s} \sin \delta = \frac{1}{2} P_{max} \sin \delta \Rightarrow \quad (2)$$

$$\delta = \arcsin \left(\frac{2 P_i}{P_{max}} \right) = \arcsin \left(\frac{2 \cdot 10^6}{3,1 \cdot 10^6} \right) \approx 40,2^\circ$$

Notera att E_{af} , V_{al} , X_s typiskt beror på f_e