

TSFS04, Elektriska drivsystem, 6 hp

Föreläsning 8 - Analys och styrning av synkronmaskinen

Andreas Thomasson

Institutionen för systemteknik
Linköpings universitet
`andreas.thomasson@isy.liu.se`

2018-02-14

Dagens föreläsning

- ▶ Effektbetraktelser
- ▶ Introduktion till styrning av synkronmaskiner

— Effektbetraktelser —

Effektbegränsning

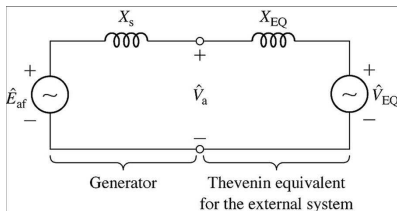
Hur mycket effekt kan synkrogeneratorn/motorn leverera?

Två varianter:

- ▶ Tillfällig maxeffekt dimensionerad av det största momentet som maskinen klarar av för att bibehålla synkroniserad rotation.
- ▶ Maxeffekt under långvarig stationär drift dimensionerad av termiska betraktelser i lindningarna.

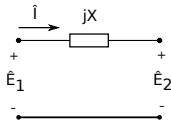
Effektbegränsning

Hur mycket effekt kan synkrogeneratorn/motorn leverera?



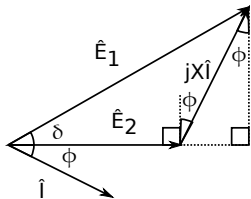
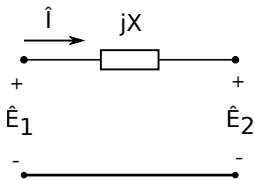
Krets för en synkrogenerator kopplad till ett externt system modellerat som en reaktans i serie med en spänningskälla.

För att beräkna hur mycket effekt som generatoren kan leverera betrakta det generellare problemet att visa begränsningarna av effektflöde genom en seriellt kopplad reaktans.



Effektöverföring

I boken betraktas en generell impedans, här försummas resistansen vilken ofta är liten i jmf med reaktansen.



Figuren ger att

$$XI \cos \phi = E_1 \sin \delta$$

Effekten kan då uttryckas som

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

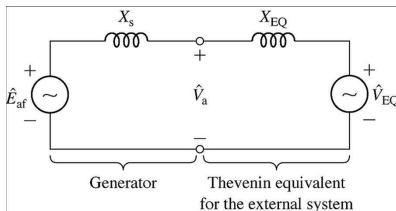
där δ kallas för synkronmaskinens effektvinkel.

Effekt för generatorfallet

Appliceras sambandet

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

på kretsen



fås

$$P = \frac{E_{af} V_{EQ}}{X_s + X_{EQ}} \sin \delta$$

där P är effekt överförd från generatören per fas till systemet.

Kommentarer

Kretsvarianten på momentekvationen beskriver i princip samma sak vid konstant varvtal och cylindrisk rotor:

$$P = \frac{\hat{E}_{af} \hat{V}_{EQ}}{X_s + X_{EQ}} \sin \delta \quad T = \frac{\pi}{2} \left(\frac{P}{2} \right)^2 \Phi_R F_f \sin \delta_{RF}$$

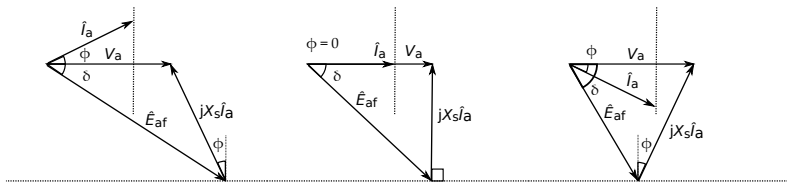
Maximalt moment fås då $\sin \delta = 1$, men i praktiken så måste δ vara betydligt mindre än $\pi/2$ för att få stabil drift.

Magnetiseringsströmmens inverkan på effektfaktorvinkeln

Konstant polspänning V_a , konstant effekt P och konstant varvtal ω_m ger enligt

$$P = \frac{V_a E_{af}}{X_s} \sin \delta \quad \text{att} \quad E_{af} \sin \delta = \text{konst.}$$

Sambandet mellan magnetiseringsström och inducerad spänning är $E_{af} \sim I_f$, dvs förändrad ström ger förändrad spänning.



övmagnetiserad

effektfaktor 1

undermagnetiserad

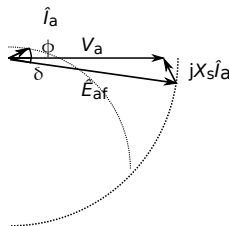
Genom att välja magnetiseringsströmmen I_f så att effektfaktorn blir 1 minimeras ankarströmmen I_a .

Varierande moment, fix magnetisering

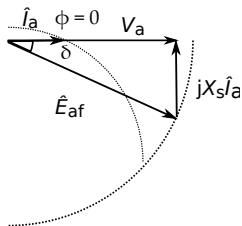
Konstant polspänning V_a , konstant varvtal ω_m och konstant magnetisering $I_f \sim E_{af}$.

Momentet varieras genom att förändra effektvinkeln δ eftersom

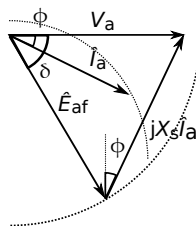
$$P = \frac{V_a E_{af}}{X_s} \sin \delta \quad \text{ger att} \quad P \sim \sin \delta$$



liten effekt
övermagnetiserad



effektfaktor 1



stor effekt
undermagnetiserad

För att uppnå effektfaktor 1, så måste magnetiseringen ökas med ökad effekt.

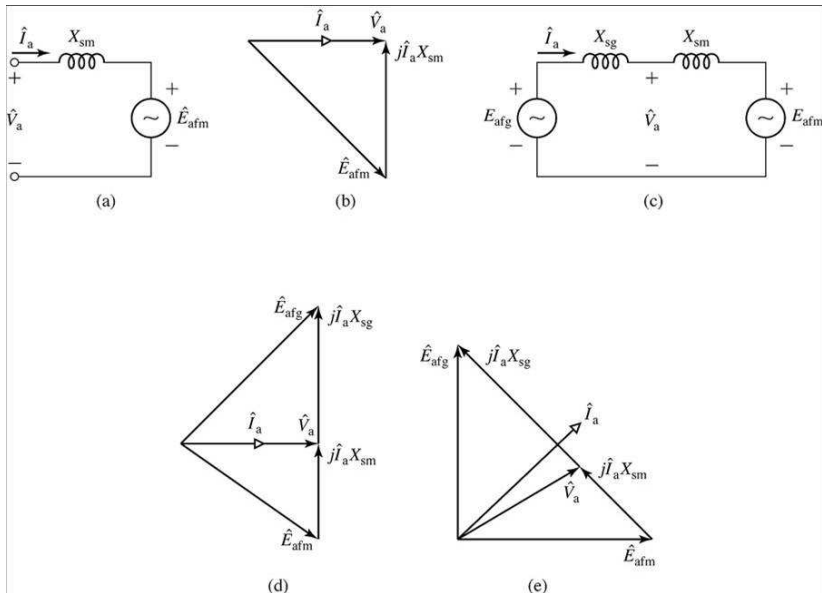
Maxeffekt - exempel

Givet: En 2000 hk, 2300 V, 3-fas, Y-kopplad, 30-polig, 60 Hz synkronmotor har synkronreaktansen $1.95 \Omega/\text{fas}$. Alla förluster kan försummas.

Sökt: Beräkna maximal effekt och moment då motorn är matad med ett 60 Hz 2300 V, oändligt starkt nät (fix spänning och frekvens) och fältströmmen är vald så att effektfaktorn är 1 för märkeffekten.

Maxeffekt - exempel lösning

Kretsar och visardiagram tillhörande exemplet.



Maxeffekt

Krets a) och visardiagrammet b) i föregående oh beskriver fallet då märkeffekten genereras med effektfaktor 1.

Märkspänning:

$$V_{a,rated} = \frac{2300}{\sqrt{3}} \text{ V fasspänning}$$

Eftersom förlusterna försummas blir märkströmmen

$$I_{a,rated} = \frac{P_{rated}}{V_{a,rated}} = \frac{2000 \cdot 0.746/3}{2300/\sqrt{3}} = 374 \text{ A/fas}$$

Då kan den inducerade spänningen beräknas enligt

$$E_{afm} = |V_{a,rated} + jX_{sm}I_{a,rated}|$$

Eftersom $V_{a,rated}$ och E_{afm} är fixa då δ varierar fås maxeffekten då $\sin \delta = 1$, dvs

$$P_{max} = \frac{V_{a,rated}E_{afm}}{X_{sm}} = 1032 \text{ kW/fas} = 3096 \text{ kW}$$

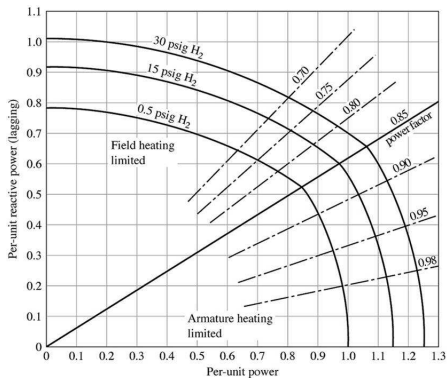
Maxmoment

Maxmomentet blir

$$\begin{aligned} T_{\max} &= \frac{P_{\max}}{\omega_s} = \frac{P_{\max}}{2\pi f_e} = \left(\frac{2}{p}\right) 2\pi f_e, p = 30, f_e = 60 / = \\ &= \frac{P_{\max} p}{4\pi f_e} = 123.2 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Effektbegränsning vid långvarig stationär drift

Exempel på en prestandakurva för en vätekyld turbingenerator.



Kurvan visar i vilket effektområde som generatoren kan arbeta vid märkspänning.

Ankarströmmens uppvärmning begränsar maxeffekten för effektfaktor över 0.85, fältströmmen under 0.85.

Högre övertryck ökar kyleffekten varför maxeffekten kan ökas.

Introduktion till styrning av synkronmaskiner

Naiv princip för hastighetsreglering

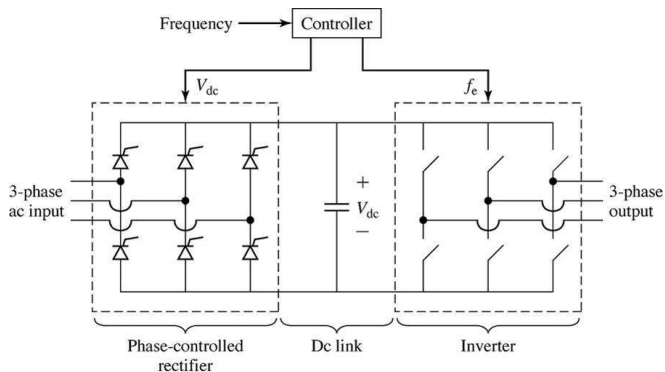
Hastighetsstyrning i sin enklaste form ges av

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

där ω_s är rotorns vinkelhastighet och ω_e den elektriska vinkelhastigheten.

Hastighetsstyrning kan alltså åstadkommas mha styrning av den pålagda spänningens frekvens.

Kraftelektronik för varvtalsstyrning



För att skapa en styrbar frekvens och amplitud på spänningen används typiskt en faststyrd likriktare med spänningstyvt mellanled följt av en växelriktare som antingen genererar en stegformad växelspanning eller en pulsbreddsmodulerad vågform med variabel frekvens.

Amplituden måste styras när frekvensen ändras

Amplituden måste justeras när frekvensen ändras enligt följande:

Om vi försummar resistansen R_a och applicerar spänningen V_a med frekvensen f_e så gäller

$$V_a = kB_{\text{peak}}f_e \qquad V_{\text{rated}} = kB_{\text{rated}}f_{\text{rated}}$$

där B_{peak} är det resulterande maximala flödestätheten.

Om $V_a = V_{\text{rated}}$ så blir

$$B_{\text{peak}} = \frac{V_{\text{rated}}}{kf_e} = \frac{f_{\text{rated}}}{f_e} B_{\text{rated}}$$

dvs flödestätheten ökar då frekvensen sänks vilket kan skada maskinen.

Principer för hastighetsstyrning

För frekvenser under märkfrekvens styrs oftast maskinen med konstant maxflöde, dvs $B_{\text{peak}} = B_{\text{rated}}$.

Detta tillsammans med

$$V_a = kB_{\text{peak}}f_e \qquad V_{\text{rated}} = kB_{\text{rated}}f_{\text{rated}}$$

ger att

$$V_a = kB_{\text{rated}}f_e = \frac{f_e}{f_{\text{rated}}} V_{\text{rated}}$$

Denna princip används ner till frekvenser där R_a får signifikant betydelse och ger konstant volt/hertz.

För frekvenser större än märkfrekvens fixeras spänningen $V_a = V_{\text{rated}}$ så att inte märkspänningen överskrids.

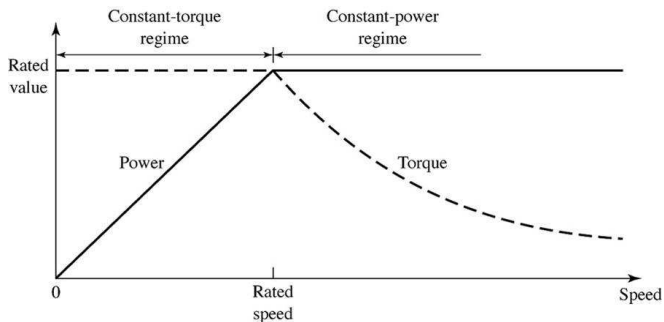
Styrningsmoder

Maxeffekten för frekvenser under märkfrekvens är

$$P_{\max}(f_e) = 3V_a I_{\text{rated}} = \omega V_a = \frac{f_e}{f_{\text{rated}}} V_{\text{rated}} \omega_{\text{rated}} = \frac{f_e}{f_{\text{rated}}} P_{\text{rated}}$$

För frekvenser över märkfrekvens gäller

$$P_{\max}(f_e) = 3V_{\text{rated}} I_{\text{rated}} = P_{\text{rated}}$$



Naiv varvtalsstyrning

Hastighetsstyrning via frekvensreglering fungerar inte om frekvensen ska förändras nämnvärt eftersom vid ändring av frekvensen förloras synkroniseringen.

Om man kör på med den diskuterade metoden är start ett stort problem som ibland löses med en kortsluten lindning för att få en induktiv effekt. Om lasten är liten kommer rotorn att synkroniseras när fältlindningen gradvis exciteras.

Vid mer dynamisk drift måste mer avancerad styrning användas som syftar till att direkt styra förhållandet mellan stator- och rotorflödet vilket leder till momentreglering. Ingår ej i kursen.

Sammanfattning

- ▶ Effektivvinkelkaraktäristik:

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

Effekten överförs från pol 1 till 2 om \hat{E}_1 är före \hat{E}_2 .

- ▶ Maxeffekt: Om E_1 och E_2 är oberoende av δ ges maxeffekten av $P_{\max} = P(\delta = 90^\circ)$.
- ▶ Givet ett moment och varvtal så är en motor
 - ▶ övermagnetiserad om fältströmmen är större än den fältström som skulle ge effektfaktor 1 och
 - ▶ undermagnetiserad i det motsatta fallet.
- ▶ Styrning
 - ▶ Under märkvarvtal används V/Hz-reglering.
 - ▶ Över märkvarvtal är statorspänningen satt till märkspänning.
- ▶ Notera att V_a , X_s och E_{af} beror på den elektriska vinkelhastigheten ω_e .