Elektriska drivsystem
Föreläsning 10 - Styrning av asynkornmotorn

Mattias Krysander

Institutionen för systemteknik
Linköpings universitet
matkr@isy.liu.se

2012-02-24

Dagens föreläsning

- Vridmoment
- Varvtalsstyrning

Vridmoment

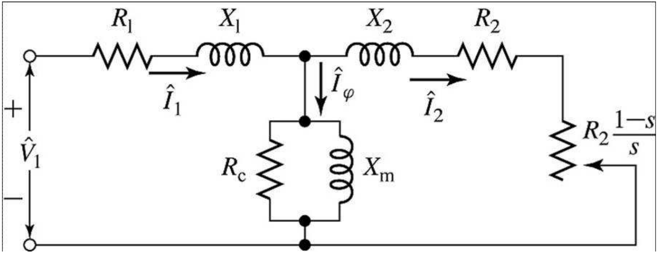
Moment som funktion av statorspänning

Enligt kretsen så kan effekten och momentet uttryckas som

$$P_{\text{mech}} = n_{ph} I_2^2 R_2 \frac{1-s}{s} \qquad T_{\text{mech}} = \frac{P_{\text{mech}}}{\omega_m} = \frac{1}{\omega_s} n_{ph} \frac{R_2}{s} I_2^2$$

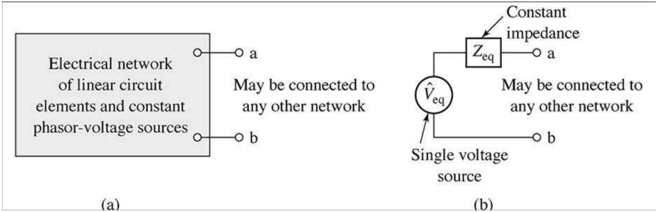
Vi ska härleda ett momentuttryck som funktion av terminalspänning istället för strömmen genom rotorn.

Egentligen bara att räkna på, men för att få ett snyggt uttryck som är enkelt att analysera kommer vi att försumma R_c.

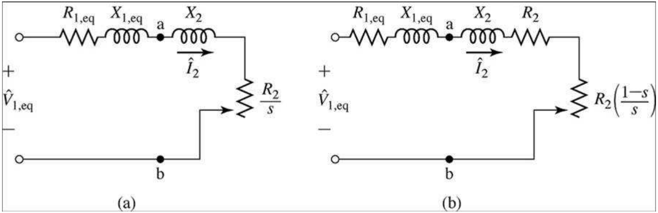


Förenkling av statorsidan

Thevinins sats:

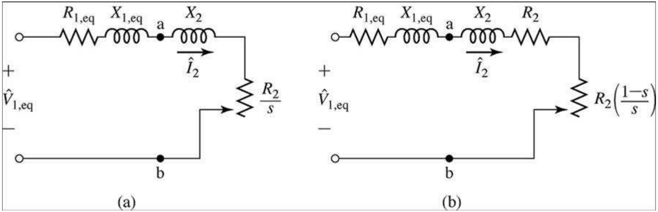


applicerad på statorsidan:



$$\hat{V}_{1,eq} = \hat{V}_1 \frac{jX_m}{R_1 + j(X_1 + X_m)}, \quad Z_{1,eq} = (jX_m//Z_1) = \frac{jX_m(R_1 + jX_1)}{R_1 + j(X_1 + X_m)}$$

Moment



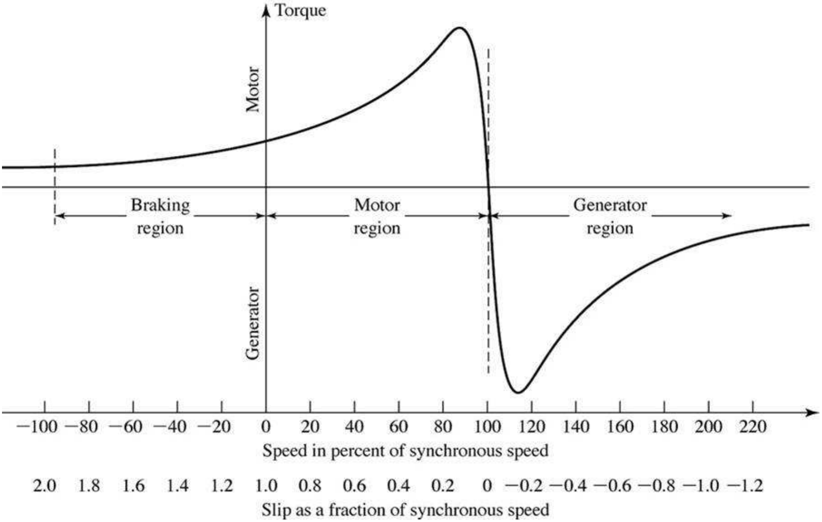
Ohms lag ger

$$\hat{I}_2 = \frac{\hat{V}_{1,eq}}{Z_{1,eq} + R_2/s + jX_2}$$

Insättning av strömmen i momentformeln ger

$$T_{\text{mech}} = n_{ph} I_2^2 \frac{R_2}{s\omega_s} = \frac{1}{\omega_s}\left[\frac{n_{ph} V_{1,eq}^2 (R_2/s)}{(R_{1,eq} + (R_2/s))^2 + (X_{1,eq} + X_2)^2}\right]$$

Momentkurvan



$$T_{\text{mech}} = \frac{1}{\omega_s}\left[\frac{n_{ph} V_{1,eq}^2 (R_2/s)}{(R_{1,eq} + (R_2/s))^2 + (X_{1,eq} + X_2)^2}\right]$$

Momentegenskaper

Då s är liten, dominerar R_2/s nämnaren och momentet kan approximativt beräknas som

$$T_{\mathrm{mech}} = \frac{1}{\omega_s}\left[\frac{n_{ph}V_{1,eq}^2(R_2/s)}{(R_{1,eq}+(R_2/s))^2+(X_{1,eq}+X_2)^2}\right] \approx$$
$$\approx \frac{1}{\omega_s}\left[\frac{n_{ph}V_{1,eq}^2(R_2/s)}{(R_2/s)^2}\right] = \frac{n_{ph}V_{1,eq}^2}{R_2\omega_s}s$$

där momentet blir proportionellt mot slippet.

Då slippet $s = 0$ så är momentet $T_{\mathrm{mech}} = 0$.

Då $s \to \pm\infty$ så $T_{\mathrm{mech}} \to 0$.

Det finns ett maximalt moment och det ska vi studera härnäst.

Slipp som genererar maximalt moment

$$T_{\text{mech}} = \frac{1}{\omega_s}\left[\frac{n_{ph}V_{1,eq}^2(R_2/s)}{(R_{1,eq}+(R_2/s))^2+(X_{1,eq}+X_2)^2}\right]$$

Låt $\xi = R_2/s$, $K = \frac{1}{\omega_s}n_{ph}V_{1,eq}^2$. Då kan T_{mech} samt dess derivata skrivas

$$T_{\text{mech}}(\xi) = K\frac{\xi}{(R_{1,eq}+\xi)^2+(X_{1,eq}+X_2)^2}$$

$$\frac{dT_{\text{mech}}}{d\xi} = K\frac{R_{1,eq}^2+(X_{1,eq}+X_2)^2-\xi^2}{((R_{1,eq}+\xi)^2+(X_{1,eq}+X_2)^2)^2}$$

Slippet som ger maximalt moment ges av $dT_{\text{mech}}(\xi_{\text{max}})/d\xi = 0$ och är

$$\xi_{\text{max}} = \frac{R_2}{s_{\text{maxT}}} = \sqrt{R_{1,eq}^2+(X_{1,eq}+X_2)^2}$$

Maximalt moment

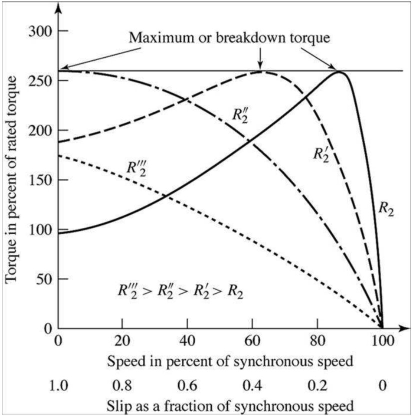
Sätter vi in det beräknade slippet i momentekvationen erhålls maxmomentet

$$T_{\mathrm{mech}}(\xi_{\mathrm{max}}) = \cdots = \frac{1}{2\omega_s}\left[\frac{n_{ph}V_{1,eq}^2}{R_{1,eq} + \sqrt{R_{1,eq}^2 + (X_{1,eq} + X_2)^2}}\right]$$

Notera att maxmomentet inte beror av rotorns resistans R_2.

Rotorresistansens inverkan på momentet

Som vi har sätt tidigare kan momentet ses som en funktion av $\xi = R_2/s$. En ändring av R_2 kommer därför bara att skala momentkurvan längs slippaxeln



Speciellt gäller att maxmomentet är oberoende av R_2 men infaller för ett slipp proportionellt mot rotorlindningens resistans, $s = \frac{R_2}{\xi_{\text{max}}}$.

—— Varvtalsstyrning ——

Metoder för varvtalsstyrning

Minns: $\omega_m = (1 - s)\omega_s$

Varvtalsstyrning genom att förändra det <u>synkrona varvtalet</u> genom att ändra

a) poltalet eller

b) den elektriska frekvensen

Varvtalsstyrning genom att förändra <u>slippet</u> genom att ändra

c) fasspänningen eller

d) rotorresistansen

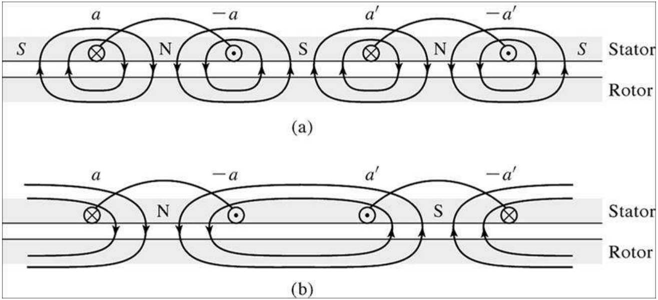
Nu ska vi gå igenom principerna översiktligt.

Varvtalsstyrning med poltalsändring

Det synkrona varvtalet ändras enligt

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

Genom att byta strömriktningen i a'-lindningen nedan ändras poltalet från 4 till 2, dvs synkronvarvtalet dubbleras.

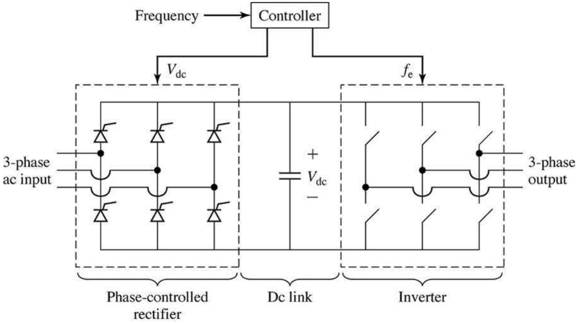


Rotorn oftast av burlindningstyp för automatisk poltalsanpassning.

Frekvensstyrning

Analogt med frekvensstyrning för synkronmaskinen, fast för induktionsmotorer fungerar det bättre eftersom rotorn inte behöver rotera synkront med fältet för att överföra moment.

Kraftelektronik:



För att behålla flödet konstant så varieras spänningen enligt:

$$V_a = \left(\frac{\omega_e}{\omega_{e,\text{rated}}} \right) V_{a,\text{rated}}$$

Hur påverkas momentet av en frekvensändring?

Vi försummar R_1 i analysen. Momentet ges av sedan tidigare av

$$T_{\text{mech}} = \frac{1}{\omega_s}\left[\frac{n_{ph} V_{1,eq}^2 (R_2/s)}{(R_{1,eq} + (R_2/s))^2 + (X_{1,eq} + X_2)^2}\right]$$

där

$$\hat{V}_{1,eq} = \hat{V}_1 \frac{jX_m}{R_1 + j(X_1 + X_m)} \approx \hat{V}_1 \frac{X_m}{X_1 + X_m}$$

$$Z_{1,eq} = \frac{jX_m(R_1 + jX_1)}{R_1 + j(X_1 + X_m)} \approx \frac{jX_m X_1}{X_1 + X_m} = jX_{1,eq}$$

Nu ska vi ersätta alla frekvensberoende i följande ekvation rödmarkerade storheter med konstanter och explicit beroende av ω_e.

$$T_{\text{mech}} = \frac{1}{\omega_s}\left[\frac{n_{ph} {V_{1,eq}}^2 (R_2/s)}{(R_2/s)^2 + (X_{1,eq} + X_2)^2}\right]$$

Hur påverkas momentet av en frekvensändring?

Den synkrona vinkelhastigheten ω_s kan uttryckas som

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

vilket ger

$$\begin{aligned} T_{\mathrm{mech}} &= \frac{1}{\omega_s}\left[\frac{n_{ph}{V_{1,eq}}^2(R_2/s)}{(R_2/s)^2 + (X_{1,eq} + X_2)^2}\right] \\ &= \frac{p}{2\omega_e}\left[\frac{n_{ph}{V_{1,eq}}^2(R_2/s)}{(R_2/s)^2 + (X_{1,eq} + X_2)^2}\right] \end{aligned}$$

Hur påverkas momentet av en frekvensändring?

$$T_{\text{mech}} = \frac{p}{2\omega_e}\left[\frac{n_{ph}{V_{1,eq}}^2(R_2/s)}{(R_2/s)^2 + (X_{1,eq} + X_2)^2}\right]$$

Frekvensändring skalar reaktanser och reglerad spänning enligt

$$X = \omega_e L = /X_0 = \omega_{e0} L/ = (\omega_e/\omega_{e0})X_0$$
$$V_1 = (\omega_e/\omega_{e0})(V_1)_0$$

Från

$$\hat{V}_{1,eq} \approx \hat{V}_1 \underbrace{\frac{X_m}{X_1 + X_m}}_{\text{ober. av } \omega_e} \quad \text{och} \qquad V_1 = (\omega_e/\omega_{e0})(V_1)_0$$

ser vi att den ekvivalent spänningen beror av frekvensen enligt

$$V_{1,eq} = (\omega_e/\omega_{e0})(V_{1,eq})_0$$

vilket ger

$$T_{\text{mech}} = \frac{p}{2\omega_e}\left[\frac{n_{ph}(\omega_e/\omega_{e0})^2(V_{1,eq})_0^2(R_2/s)}{(R_2/s)^2 + (X_{1,eq} + X_2)^2}\right]$$

Hur påverkas momentet av en frekvensändring?

$$T_{\text{mech}} = \frac{p}{2\omega_e}\left[\frac{n_{ph}(\omega_e/\omega_{e0})^2(V_{1,eq})_0^2(R_2/s)}{(R_2/s)^2 + (X_{1,eq} + X_2)^2}\right]$$

Slippet kan uttryckas i elektrisk vinkelhastighet som

$$s = \frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_s} = \frac{p}{2}\left(\frac{\Delta\omega_m}{\omega_e}\right)$$

där $\Delta\omega_m = \omega_s - \omega_m$.

Detta leder till

$$T_{\text{mech}} = \frac{p}{2\omega_e}\left[\frac{n_{ph}(\omega_e/\omega_{e0})^2(V_{1,eq})_0^2(R_2/(\frac{p}{2\omega_e}\Delta\omega_m))}{(R_2/(\frac{p}{2}\left(\frac{\Delta\omega_m}{\omega_e}\right)))^2 + (X_{1,eq} + X_2)^2}\right] =$$

$$= \frac{n_{ph}(\omega_e/\omega_{e0})^2(V_{1,eq})_0^2(R_2/\Delta\omega_m)}{(\frac{2\omega_e}{p})^2(R_2/\Delta\omega_m)^2 + (X_{1,eq} + X_2)^2}$$

Hur påverkas momentet av en frekvensändring?

Slutligen ersätter vi de frekvensberoende reaktanserna i

$$T_{\text{mech}} = \frac{n_{ph}(\omega_e/\omega_{e0})^2(V_{1,eq})_0^2(R_2/\Delta\omega_m)}{(\frac{2\omega_e}{p})^2(R_2/\Delta\omega_m)^2 + (X_{1,eq} + X_2)^2}$$

med

$$(X_{1,eq} + X_2) = (\omega_e/\omega_{e0})(X_{1,eq} + X_2)_0$$

så att momentet kan tecknas

$$T_{\text{mech}} = \frac{n_{ph}(\omega_e/\omega_{e0})^2(V_{1,eq})_0^2(R_2/\Delta\omega_m)}{(\frac{2\omega_e}{p})^2(\omega_{e0}/\omega_{e0})^2(R_2/\Delta\omega_m)^2 + (\omega_e/\omega_{e0})^2(X_{1,eq} + X_2)_0^2} =$$

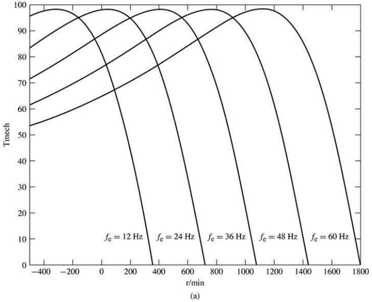
$$= \frac{n_{ph}(V_{1,eq})_0^2(R_2/\Delta\omega_m)}{(\frac{2\omega_{e0}}{p})^2(R_2/\Delta\omega_m)^2 + (X_{1,eq} + X_2)_0^2}$$

Moment-varvtalskaratäristik

$$T_{\text{mech}} = \frac{n_{ph}(V_{1,eq})_0^2(R_2/\Delta\omega_m)}{(\frac{2\omega_{e0}}{p})^2(R_2/\Delta\omega_m)^2 + (X_{1,eq}+X_2)_0^2}, \quad \text{där} \quad \Delta\omega_m = \omega_s - \omega_m$$

För fixt moment $T_{\text{mech}}(\Delta\omega_{m0})$ så är den mekaniska vinkelhastigheten affin i den elektriska

$$\omega_m = \omega_s - \Delta\omega_{m0} = \frac{2}{p}\omega_e - \Delta\omega_{m0}$$



a) Moment-varvtalskurva enligt formel. Translaterade kurvor.
b) Karaktäristik då R_1 inte har försummats.

Moment-varvtalskaratäristik för små absoluta slipp

För små $\Delta\omega_m$ gäller att $R_2/\Delta\omega_m$ dominerar nämnaren och momentet kan approximeras

$$T_{\text{mech}} = \frac{n_{ph}(V_{1,eq})_0^2(R_2/\Delta\omega_m)}{(\frac{2\omega_{e0}}{p})^2(R_2/\Delta\omega_m)^2 + (X_{1,eq} + X_2)_0^2} \approx \frac{n_{ph}(V_{1,eq})_0^2}{(\frac{2\omega_{e0}}{p})^2(R_2/\Delta\omega_m)}$$

Detta ger att

$$T_{\text{mech}} \propto \frac{(V_1)_0^2\Delta\omega_m}{R_2}$$

eller eftersom R_2 och $(V_1)_0$ som regel är konstant under frekvensstyrning att

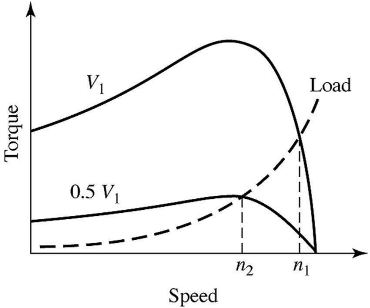
$$T_{\text{mech}} \propto \Delta\omega_m$$

Spänningsstyrning

För momentet gäller

$$T_{\text{mech}} \sim V_1^2$$

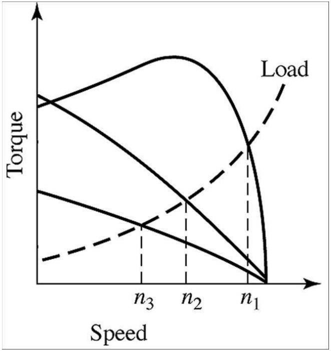
Varvtalsstyrning mha spänning för ett varvtalsberoende moment:



Används i små burlindade motorer som t ex fläktar där låg tillverkningskostnad är viktigare än hög effektivitet (litet slip).

Rotorresistansstyrning

Kan implementeras på släpringade motorer.
Varvtalsstyrning mha resistans för ett varvtalsberoende moment:



Liknar varvtalsstyrning av likströmsmotorer mha variabel resistans i rotorlindningen.

Är liksom spänningsstyrning ineffektiv vid reducerad hastighet.

Släpringade motorer är dessutom både dyra att tillverka och underhålla.

Sammanfattning

Härlett momentformel. För fix ω_s och små slipp s så gäller att

$$T_{\text{mech}} \propto \frac{V_1^2 s}{R_2}$$

För konstant V/Hz-styrning och små $\Delta\omega_m$ gäller att

$$T_{\text{mech}} \propto \frac{(V_1)_0^2 \Delta\omega_m}{R_2}$$

Varvtalsstyrning genom förändring av det <u>synkrona varvtalet</u> med

a) poltalet eller
b) den elektriska frekvensen

Varvtalsstyrning genom förändring av <u>slippet</u> med

c) fasspänningen eller
d) rotorresistansen