

# Fö 7 - TMEI01 Elkraftteknik

## Asynkronmaskinen & Synkronmaskinen

Christofer Sundström

13 februari 2020

## 1 Asynkronmaskinen

- Tekniker för start av Asynkronmotorn
- Starttid för asynkronmaskinen
  - (Beräkningsexempel 10.2)
- Varvtalsstyrning
  - Beräkningsexempel 4.2

## 2 Synkronmaskinen

- Uppbyggnad och arbetsätt
- Arbetsprincip
- Infasing
- Användningsområden

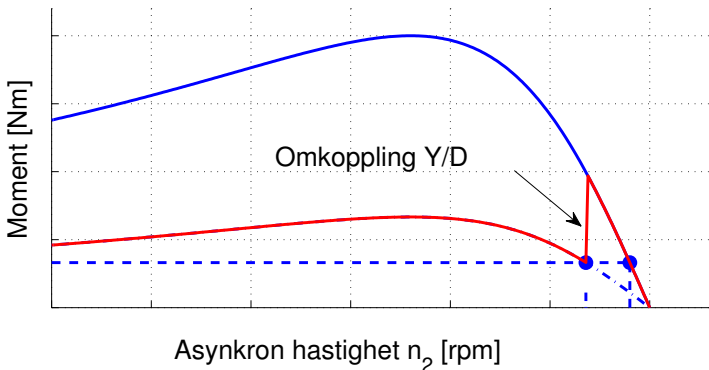
# Direktstart och Y/D-start

- Direktstart
  - + Stor startström och fullt startmoment
  - + Kort starttid och liten uppvärming av rotorn
    - Kräver mycket ström och starkt nät
- Y/D-Start
  - En normalt D-kopplad maskin kan Y-kopplas vid start, när motorn kommit upp i varv kopplas motorn om till D-koppling.
  - + Sänkt spänning med  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  ger minskad ström och minskad belastning på nätet
    - Startmomentet blir endast  $\frac{1}{3}$  och kan vara för litet för att maskinen ska kunna starta
    - Förlänger starttiden vilket kan värma upp motorn.
    - Fungerar endast om maskinen är avsedd för D-koppling på det aktuella nätet.

# Exempel på startsekvens vid Y/D-Start

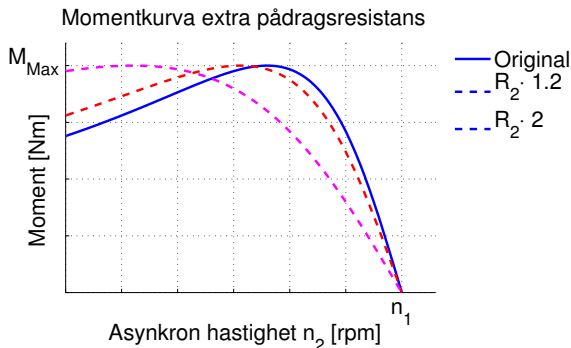
- Vid Y-D Start så följs först den lägre momentkurvan.
- När motorn når arbetsvarvtalet för den lägre kurvan kopplas motorn om varpå momentet som fås följer den övre kurvan.
- I exemplet nedan så antas momentet hos lasten vara konstant oberoende av varvtal.

Exempel på startsekvens vid Y/D-Start



# Start med pådrag

- Inkoppling av externt rotorresistans, s.k. pådrag, kan används för att förskjuta momentkurvan. När motorn kommit upp i varv kan lindningarna kortslutas manuellt eller med en vipparm för att spara kolen.
- + Startmomentet kan ökas samtidigt som startströmmen minskar
- Kräver släpningad motor med lindad rotor



# Start med frekvensriktare

- En frekvensriktare kan användas för att smyga igång motorn med genom att sakta skruva upp frekvensen.
- + Hög verkningsgrad och litet slitage på motorn.
  - Kräver förhållandevis dyr utrustning i form av frekvensriktare.
  - Frekvensriktaren kan introducera störande frekvenser i motorns lindningar.

Se handskrivnen anteckning

## Beräkningsexempel 10.2 - se kurshemsidan

En asynkronmotor, som är märkt 1.5kW, 2870 rpm, är direktkopplad till en belastning vars moment är konstant 45% av motorns märkmoment och oberoende av varvtalet.

Katalogutdraget ger  $m_{ST} = 2.2$  och tröghetsmomentet  $J_m = 0.009 \text{kgm}^2$ . Belastningens tröghetsmoment uppges av tillverkaren till  $0.09 \text{kgm}^2$ . Beräkna:

- a) Starttiden vid direkt start.
- b) Varvtalet, om Y/D-omkopplaren får stå kvar i Y-läget vid Y/D-start. Motorns momentkurva antas rak för små eftersläpningar.
- c) Tiden för att nå detta varvtal.

Se handskrivna lösningar på kurshemsidan.

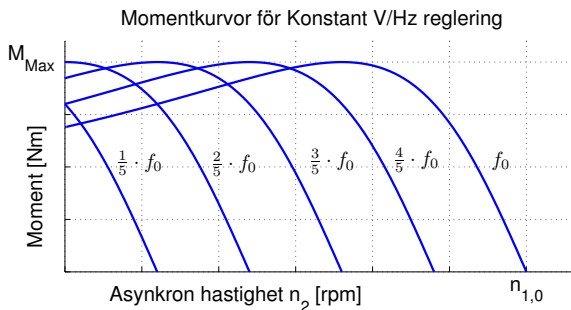


# Varvtalsstyrning av Asynkronmaskinen

- Ändring av poltal
  - + Ändrar inte driftsegenskaperna
  - Kräver komplicerade rotorlindningar och konstant användning av släpningar.
- Ändring av eftersläpning  $s$ 
  - + Förhållandevis enkelt att sänka spänningen med en vridtransformator så att momentkurvan skalas ned.
  - Stor eftersläpning ger stor  $P_{Cu2} = \frac{s}{1-s} \cdot P_2$
- Ändring av nätfrekvensen
  - + Ger noggran och effektiv styrning som inte påverkar effektiviteten.
  - Kräver förhållandevis dyr utrustning i form av frekvensriktare.
  - Frekvensriktaren kan introducera störande frekvenser i motorns lindningar.

# Konstant V/Hz styrning

- Antag en asynkronmaskin med märkfrekvensen  $f_{1,M}$ .
- Vi har att  $n_1 = \frac{2 \cdot 60 \cdot f_1}{p}$  så synkront varvtal skalar direkt mot frekvens.
- Vi vill nu förskjuta momentkurvan  $\Delta n$  rpm så att vi får  $n_1 = n_{1,M} - \Delta n$
- Den nya frekvensen ska då vara  $f_1 = \frac{f_{1,M}}{n_{1,M}} \cdot n_1 = \frac{f_{1,M}}{n_{1,M}} \cdot (n_{1,M} - \Delta n)$
- Spänningen  $U_1$  justeras så att  $\frac{U_1}{f_1}$  är oförändrad, vilket ger konstant maxmoment



## Ur momentekvationen framgår att

- Maxmomentet hos kurvorna påverkas inte av frekvensen.
- Momentkurvorna är förskjutna kopior av varandra.

## Beräkningsexempel 4.2

En kortsluten trefas asynkronmotor på 6 kW driver en fläkt. Vid 1425 rpm, som är motorns märkvarvtal, är fläktens vridmoment lika med motorns märkmoment. Man vill sänka motorns varvtal till 1350 rpm genom spänningsstyrning. Fläktens moment är proportionellt mot varvtalet i kvadrat. ( $M_{\text{fläkt}} = k_{\text{Fläkt}} \cdot n^2$ ).

Beräkna

- Till vilket värde spänningen ska sänkas för att få  $n_2 = 1350$  rpm. Normal nätspänning är 380 V.
- Hur stora blir förlusterna i rotorn vid 1425 rpm respektive 1350 rpm?

## Beräkningsexempel 4.2, lösning

Lösning:

- a)  $P_{2a} = 6 \text{ kW}$ ,  $n_2 = 1425 \text{ rpm}$ ,  $M_{\text{fläkt}} = M_{\text{Motor,M}}$  vid  $n_2 = 1425 \text{ rpm}$ , vilket ger

$$M_{\text{Motor,M}} = \frac{P_{2a}}{\omega_2} = \frac{6000 \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot 1425} = 40,2 \text{ Nm}$$

Vi har att  $M_{\text{Motor}} = k \cdot U^2 \cdot s$  vilket ger två fall med olika  $U$ :

Fall I:  $M_I = k \cdot U_M^2 \cdot s_I$ , där  $s_I = \frac{1500-1425}{1500} = 5\%$

Fall II:  $M_{II} = k \cdot U_{II}^2 \cdot s_{II}$ , där  $s_{II} = \frac{1500-1350}{1500} = 10\%$

$M_{II}$  fås ur  $M_{\text{fläkt,II}} = k_{\text{Fläkt}} \cdot n_{II}^2$  och  $k_{\text{Fläkt}}$  fås från märklastfallet, d.v.s. Fall I

$$k_{\text{Fläkt}} = \frac{40,2}{1425^2} = 19,8 \cdot 10^{-6} \implies$$

$$M_{II} = k_{\text{Fläkt}} \cdot 1350^2 = 36 \text{ Nm}$$

Vi får därför  $U_{II} = U_M \cdot \sqrt{\frac{M_{II}}{M_I} \cdot \frac{s_I}{s_{II}}} = 254 \text{ V}$

Lösning:

**b)** Rotorförluster  $P_{F2} = P_{Cu2} = s \cdot \frac{P_2}{1-s}$

Fall I: Vid märkspänning är  $P_{F2,I} = s_I \cdot \frac{P_{2,I}}{1-s_I} = \frac{0,05 \cdot 6000}{0,95} = 316 \text{ W}$

Fall II: Vid sänkt spänning är

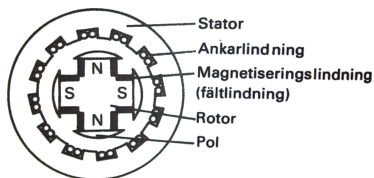
$$P_{F2,II} = s_{II} \cdot \frac{P_{2,II}}{1-s_{II}} = \left/ P_{2a,II} = M_{II} \cdot \omega_{II} \right/ = \frac{0,1}{0,9} \cdot 36 \frac{2 \cdot \pi \cdot 1350}{60} = 565 \text{ W}$$

Förlusteffekten blir alltså nästan dubbelt så stor om man sänker spänningen till 254 V och det kan därför finnas risk för att motorn överhettas vid den här typen av varvtalsstyrning.

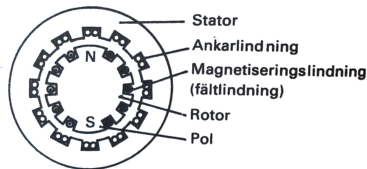
# Synkronmaskinen, uppbyggnad

En synkronmaskin är uppbyggd på samma sätt som en asynkronmaskin fast med likströmsmagnetiserad rotor.

Rotorn som alltså har fix nord- och sydpol följer det roterande magnetfältet synkront.



**Figur 7.41 a.** Fyrpolig synkronmaskin med utpräglade poler.



**Figur 7.41 b.** Tvåpolig synkronmaskin med cylindrisk rotor.

Synkronmaskinen går att köra både som motor och generator även om den i särklass vanligaste användningen är som generator.

# Synkronmaskinens arbetsprincip

- Vid motordrift släpas rotorn runt av det roterande fältet i statorn.
- Vid generatordrift inducerar rotorn istället ett roterande flöde i statorn.
- Medelmomentet på en stillastående rotor är noll räknat över ett helt varv.
- Direktstart är därför endast möjlig för mycket små synkronmotorer som hinner varva upp till synkront varvtal på mindre än en halv period.
- För att starta och koppla in en större synkronmaskin till nätet måste någon typ av infasning utföras.
- Vid överlast säger man att motorn *faller ur* och motorn tappar då helt synkroniseringen.

# Magnetisering av rotorn

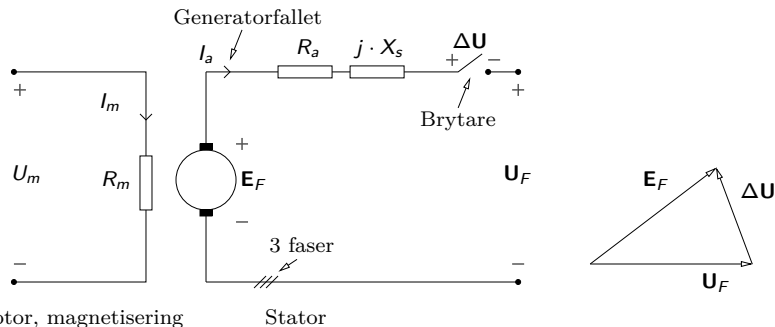
Rotorn hos synkronmaskinen kan bestå av permanentmagnetmaterial alternativt en lindning som magnetiseras med DC-ström.

DC-strömmen som magnetiserar rotorn förs över antingen genom släpringar, via induktiv överföring eller med hjälp av en s.k. ytterpolmaskin.

I en ytterpolmaskin har stator och rotor bytt plats på ett sinnrikt sätt som innebär att släpringar undviks.



# Synkronmaskinen, krettschema



Ekvivalent krettschema för synkrogeneratorn.  $R_a$  är lindningsresistans,  $X_s$  synkronreaktans (även  $X_d$ ). Spänningarna  $E_F$  och  $U_F$  är elektromotorisk kraft respektive nätspänning.

Längden på  $E_F$  (ibland kallad  $E_r$ ) bestäms av varvtalet och magnetiseringsströmmen  $I_m$  enligt  $E_F = k \cdot \omega_e \cdot I_m$ . Maskinen kopplas in till nätet när  $\Delta U = 0$ .

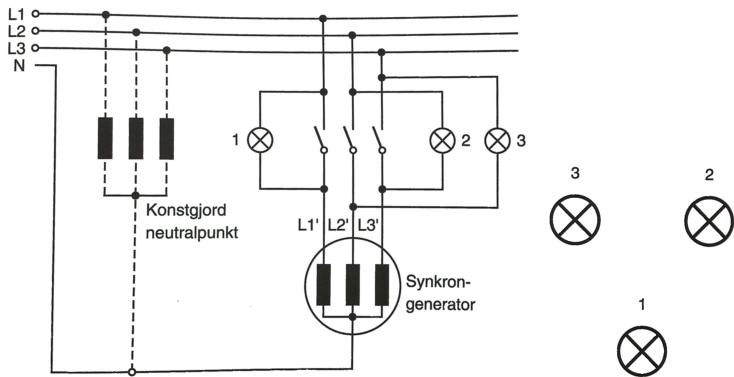
Den startmetod som tillämpas för synkrogeneratorer kallas vanligen infasning och omfattar fyra moment:

- 1 Uppkörning av generatorm till synkront varvtal med hjälp av aggregatets drivmotor, t ex vattenturbin i vattenkraftverk.
- 2 Spänningssättning av generator genom justering av magnetiseringsströmmen  $I_m$  så att generatorm får samma spänning som nätet.
- 3 Synkronisering. Varvtalet justeras så att nätet och generatorm får samma frekvens, dvs  $\mathbf{E}_F$  och  $\mathbf{U}_F$  roterar lika fort.
- 4 Infasning. Generatorm kopplas till nätet när generatorm- och nätspänning har samma fasläge, dvs  $\mathbf{E}_F$  och  $\mathbf{U}_F$  har samma fasvinkel.

De fyra villkoren som gäller för att  $\Delta U$  skall vara noll för alla faser samtidigt och under en längre tid är

- 1 **Lika fasföljd** hos generator och nät.
- 2 **Lika spänning** hos generator och nät, dvs  $\Delta U = 0$ , kontrolleras med voltmeter.
- 3 **Lika frekvens** hos generator och nät, kontrolleras med två frekvensmetrar som är parallellkopplade med voltmetrarna.
- 4 **Lika fasläge** hos generatorspänning och nätspänning. Faslikheten kontrolleras med ett oscilloskop med två kanaler och två mätprober.

# Synkronmaskinen, infasning



Figur 7.44 a. Lampor kopplade för s.k. roterande fasning.

b. Lampornas placering.

**Figur:** Exempel på koppling för roterande fasning. Lamporna 2 och 3 korskopplas över L2 och L3 och placeras i en triangel. På så sätt fås ett roterande ljusfält som visar om hastigheten ska ökas eller minskas.

# Över- och under-magnetisering

Vid drift används magnetiseringsströmmen för att styra storleken på  $E_F$  så att önskad driftspunkt uppnås. Kom ihåg

$$E_F = k \cdot \omega_e \cdot I_m$$

- Om  $E_F$  är **större** än  $U_F$  säger vi att maskinen är **övermagnetiserad**
- Om  $E_F$  är **mindre** än  $U_F$  säger vi att maskinen är **undermagnetiserad**
- Vid övermagnetisering beter sig maskinen som en kondensator och vid undermagnetisering som en spole.

## Över- och under-magnetiserad

- $E_F > U_F \rightarrow$  Övermagnetiserad (Kondensatorverkan)
- $E_F < U_F \rightarrow$  Undermagnetiserad (Spolverkan)

I ett elnät behövs balans mellan produktion och konsumtion mellan aktiv och reaktiv effekt.

- **Reaktiv effekt** påverkar framförallt spänningen i elnätet. Produktionen sker antingen i kondensatorer eller synkronmaskiner.
- **Aktiv effekt** påverkar framförallt frekvensen i elnätet. Synkronmaskinerna i nätet roterar synkront med elektriska växelspänningen. Mekaniska trögheten i alla nätets synkronmaskiner,  $J$ , stabiliserar nätet vid en viss skillnad i producerad och konsumerad effekt.

$$J\dot{\omega} = M_{mek} - M_{el}$$

Synkronmaskinen kan användas antingen som:

- **Motor.** Synkronmaskinen kan även användas som motor för att exempelvis faskompensera en industri.
- **Generator.** Vanligaste tillämpningen för synkronmaskinen är kraftgeneratorer i större anläggningar för kraftproduktion (vattenkraft, kärnkraft, kraftvärmeverk).

Det finns krav på att en viss andel av elproduktionen ska ske med synkrongeneratorer för stabilt elnät med tillräckligt stor roterande massa. Andel på 25% diskuteras. Kan bli problem att uppfylla kravet vid ökad användning av förnybara energikällor (främst sol och vind).