



FORDONSSYSTEM/ISY

## LABORATION 2

# *Roterande elmaskiner*

*Likströmsmaskinen, trefas  
asynkronmaskinen och förevisning  
synkronmaskinen*

(Ifylls med kulspetspenna )

<b>LABORANT:</b>
<b>PERSONNR:</b>
<b>DATUM:</b>
<b>GODKÄND:</b> <b>(Assistentsign)</b>

2017-02-09

# Laboration 2

## Roterande maskiner

### Innehåll

<b>1</b>	<b>Översikt</b>	<b>3</b>
1.1	Målsättning . . . . .	3
1.2	Genomförande . . . . .	4
1.3	Utrustning Likströmsmotor . . . . .	4
1.4	Utrustning Asynkronmotor . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Kort handledning till Scope-meter</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Laborationsuppgifter</b>	<b>9</b>
3.1	Likströmsmaskin . . . . .	9
3.1.1	Motorparametrar . . . . .	9
3.1.2	Shuntmotorers karaktäristik . . . . .	10
3.1.3	Seriemotorers karaktäristik . . . . .	13
3.1.4	Kompoundmotorers karaktäristik . . . . .	14
3.2	Asynkronmaskin . . . . .	16
3.2.1	Grundkoppling för asynkronmotorn . . . . .	16
3.2.2	Motorparametrar . . . . .	17
3.2.3	Asynkronmotorers momentkurva . . . . .	17
3.2.4	Förhållandet mellan $I_{L,D}$ och $I_{L,Y}$ . . . . .	19
3.2.5	Effekt, effektfaktor och verkningsgrad . . . . .	21
3.2.6	Inkoppling av kondensatorbatteri . . . . .	21
3.2.7	Körning med pådragsmotstånd . . . . .	22
3.2.8	Körning av motor med varierbart poltal . . . . .	23
<b>4</b>	<b>Förevisning - Infasning av Synkronmaskin</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>Extrauppgift</b>	<b>24</b>
<b>6</b>	<b>Förberedelseuppgifter</b>	<b>25</b>
6.1	Likströmsmaskin . . . . .	25
6.1.1	Ekvivalenta kretsscheman för de olika motorkopplingarna . . . . .	25
6.1.2	Momentkaraktäristik för motorkopplingarna . . . . .	26
6.1.3	Matematiska samband för DC-Motorn . . . . .	26
6.2	Asynkronmaskin . . . . .	27
6.2.1	Momentkaraktäristik för asynkronmaskinen . . . . .	27
6.2.2	Tvåwattmetermetoden . . . . .	27
6.2.3	Matematiska samband för asynkronmotorn . . . . .	28
6.2.4	Y/D-kopplingar . . . . .	29

#### Viktig säkerhetsinformation!

Vid en eventuell olycka:

**Securitas:** 013-28 58 88 (hjärtstartare)

**Larmnummer:** 112

**Labblockal:** Thyristorn, C-huset, korridor C mellan ingång 25 och 27

# 1 Översikt

## 1.1 Målsättning

### Likströmsmotorn

Tanken är att man under laborationsmomentet skall öva:

- begreppen ankar- och fält-lindning samt användning av maskiner med olika lindningstyp.
- definiering och användning av märkdata i beräkningar.
- uppställning av likströmsmotorns ekvivalenta kretsschema för serie- och shunt-kopplad motor.
- beräkning av en motors varvtal givet ström och spänning i ankarkretsen samt bromsande moment.
- beräkningar på magnetiskt omättad motor.
- beräkningar på kopplingen mellan motorns effekt, förluster och verkningsgrad.

### Asynkronmaskinen

Tanken är att man under laborationsmomentet skall öva:

- kunna koppla in och styra en trefas asynkronmaskin.
- förstå och tillämpa skillnaden mellan Y/D kopplade lindningar.
- definiering och användning av märkdata i beräkningar.
- beskrivning och genomförande av hur varvtalet kan styras genom att ändra poltal, fasspänning eller rotorresistans samt att beräkna varvtalet givet styrprincip.

Detta ska ske genom att en asynkronmotor med omkopplingsbara lindningar kopplas upp och körs.

### Synkronmaskinen

Tanken är att förevisningen skall:

- visa hur infasning av en synkronmaskin går till.
- visa hur synkronmaskinen kan ta eller ge reaktiv effekt.

## 1.2 Genomförande

I labbsalen finns 5 st fasta arbetsplatser med diverse mätinstrument och motorer. Utöver detta finns 1 arbetsplats med en specialkoppling:

- Motor med varierbart poltal

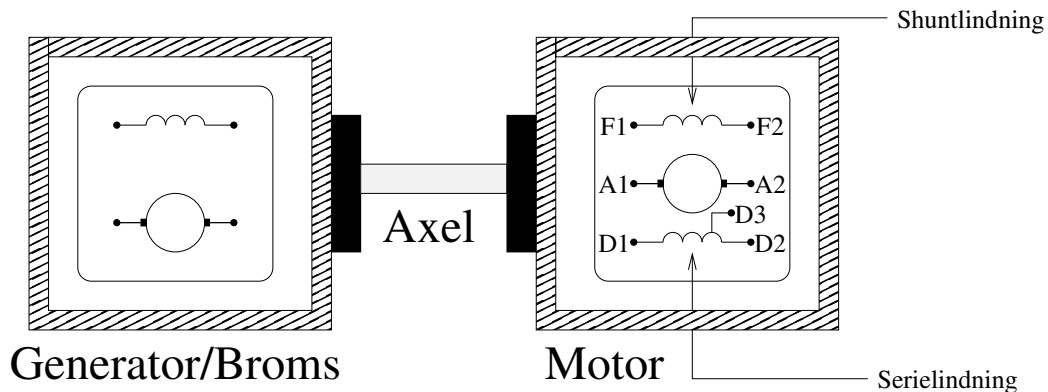
Tanken är att

- Man skall ha 1 av de 5 fasta arbetsplatserna som bas.
- Pådragsresistansen som ska kopplas in på rotorlindningarna delas mellan arbetsplatserna. (Finns endast i ett exemplar och krävs för endast ett av mät-momenten)
- Kondensatorbatterierna av vilka det endast finns 3st delas mellan arbetsplatserna.
- Man någon gång under labben ska flytta sig till arbetsplatsen där motorn med variabelt poltal är uppkopplad för att genomföra de moment som ska göras där.

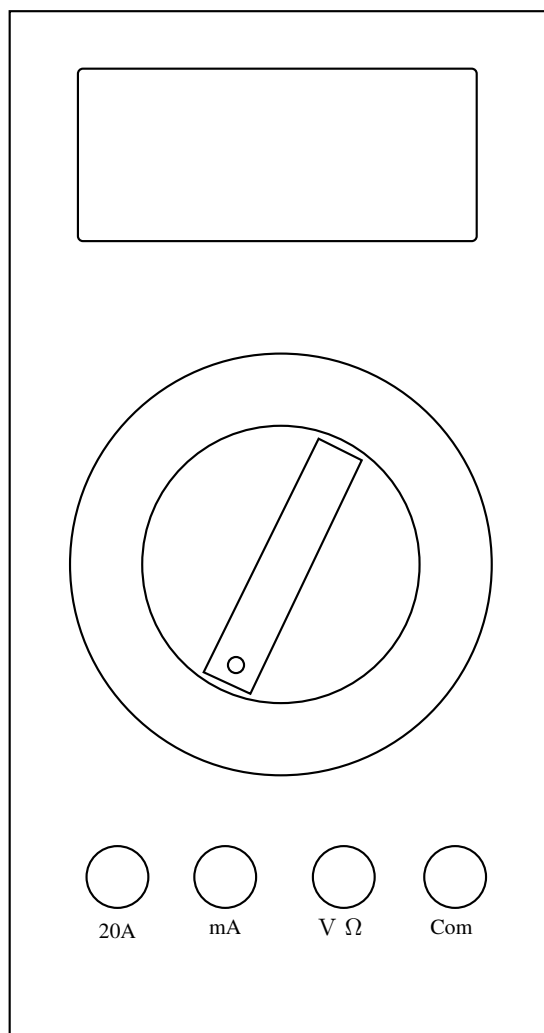
## 1.3 Utrustning Likströmsmotor

Den utrustning som finns tillgänglig för experimenten är

- Motorutrustningen består av två mekaniskt kopplade likströmsmaskiner med omkopplingsbara lindningar varav den ena används som generator/broms och den andra som motor. Se vidare Figur 1.
- Mätutrustning
  - Momentmätare
  - Varvtalsmätare
  - Likströmskälla, se vidare Figur 4
  - Multimeter för ström-mätning (för mätning av medelvärde), se Figur 2
  - Fluke Scope-meter (ett digitalt oscilloskop), se Figur 5



Figur 1: Motorskiss med olika inkopplingsalternativ. Bromsdelen är uppkopplad mot en resistiv belastning med variabel last. Motordelen går dock att koppla som man själv vill. Notera att det går att få två olika serie-alternativ genom att använda antingen D2 eller D3 i serielindningen. Notera även att på några av motorerna i labbet heter anslutningarna S1-S3 istället för D1-D3. De olika märkströmmarna för motorn framgår av märkskylten.

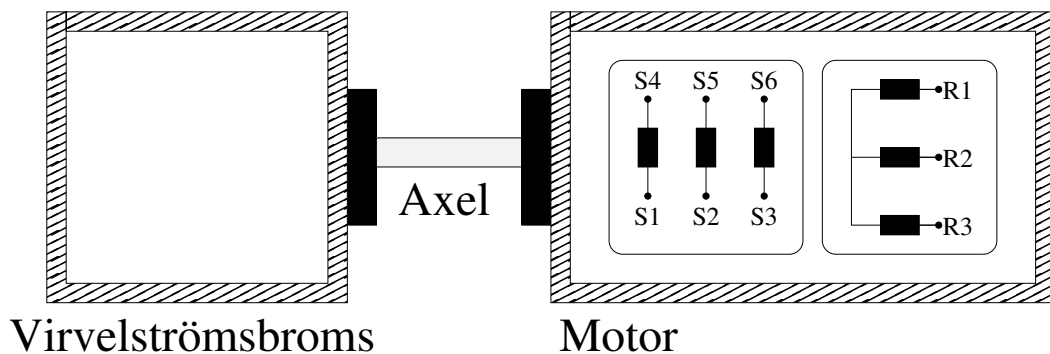


Figur 2: Översikt av den enkla multimetern. För amperemätning används 20A/mA ingången tillsammans med COM, se avsnitt 3.1.2 Uppkoppling. Notera den extra ingången för 20A området. Den är till för att inte bränna sönder multimetern vid mätning av stora strömmar. Fråga assistenten om ni är osäkra hur multimetern skall kopplas in.

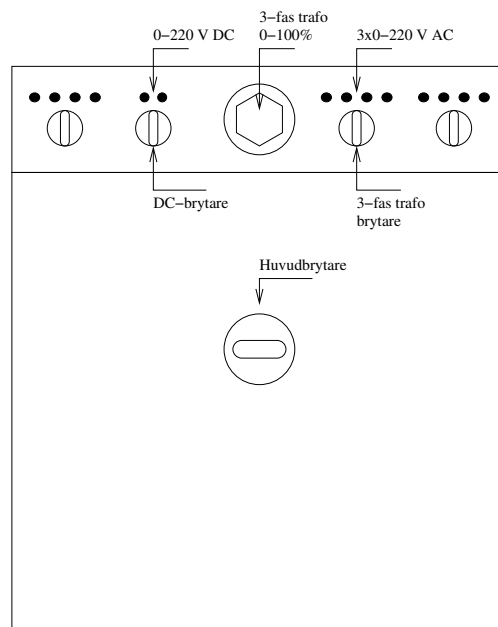
## 1.4 Utrustning Asynkronmotor

Den utrustning som finns tillgänglig för experimenten är

- Motorutrustningen, bestående av
  - En släppringad asynkronmaskin med omkopplingsbara lindningar mekaniskt kopplad till en virvelströmsbroms. Se vidare Figur 3 för en skiss och Figur 10 för en grundkoppling.
  - En färdiguppkopplad asynkronmotor med varierbart poltal även den mekaniskt kopplad till en virvelströmsbroms.
- Ett trefas rotorpådragsmotstånd.
- Mät/Styr-utrustning
  - Virvelströmsbroms med
    - \* Momentmätare
    - \* Varvtalsmätare
    - \* Bromsmomentstyrning
  - 3-fas växelströmskälla, se vidare Figur 4.
  - Två wattmetrar för att mäta spänning och ström alternativt aktiv och reaktiv effekt med hjälp av tvåwattmetermetoden.
  - Fluke Scope-meter (ett digitalt oscilloskop), se Figur 5.



Figur 3: Motorskiss med olika inkopplingsalternativ. På manöverpanelen till virvelströmsbromsen kan man dels styra bromsmomentet, dels läsa av varvtal och moment. De olika max-strömmarna för motorn framgår av märkskylten. Notera att det går att koppla motorns stator-lindningar i både i Y och D formation. I figuren står S- respektive R-anslutningarna för stator respektive rotor.

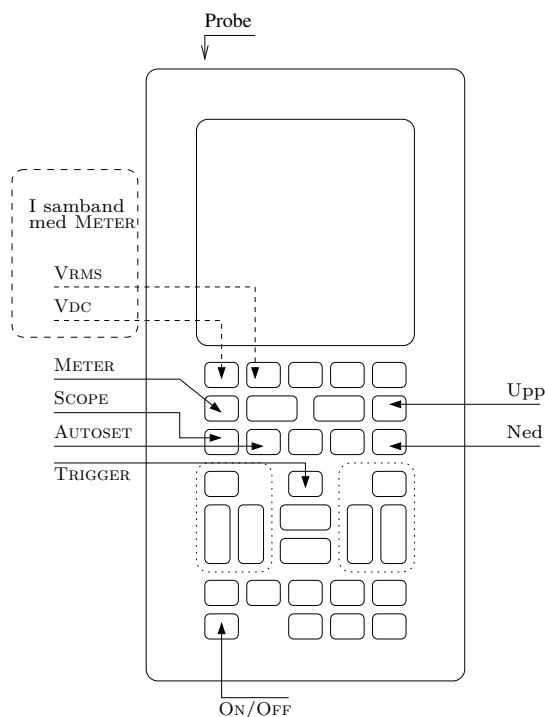


Figur 4: Översikt av Terco Power Pack. I de experiment som skall utföras skall utgångarna märkta 3x0-220V AC och 0-220V DC användas. För att få ut en variabel spänning på utgångarna måste *huvudbrytaren*, *3-fas transformatorbrytaren* samt vid användning av DC-utgången även *DC-brytaren* vara påslagna. Dessutom måste ställdonet till 3-fas transformatorn ställas i 0-läge för att återställa startspärren. Sedan justeras spänningen med 3-fas transformatorns ställdon. Notera att faserna här heter R, S och T istället för L1-L3.

## 2 Kort handledning till Scope-meter

En översiktsfigur av scope-metern finns in Figur 5. Nedan följer en kort användarhandledning.

1. Instrumentet startas med ON/OFF knappen.
2. Den röda oscilloscopsproben ansluts till en kanal, t.ex. kanal-A.
3. Oscilloscopsläge
  - (a) Tryck på SCOPE
  - (b) Tryck på AUTOSET
  - (c) Bildskärmen skall nu visa en bild av signalen som är ansluten till kanal-A. På skärmen skall även visas amplitud, prob, tidbas och trigginformation.
  - (d) Skulle signalen *fladdra* kan det bero på att trigginställningarna måste justeras. Tryck då på TRIGGER och justera med de blå pil upp eller pil ned knapparna till höger på panelen. Det går även att använda de blå knapparna direkt under displayen för att välja trig-kanal, trig på stigande eller fallande flank, trig-delay mm.
4. Mätläge
  - (a) Tryck på METER
  - (b) Välj mellan att visa effektivvärdet, VRMS, eller medelvärdet, VDC, på de blå knapparna direkt under displayen.



Figur 5: Översikt av scopemetern. Använd scopemetern för att mäta spänning. Detta görs t.ex. genom att starta instrumentet, välja METER följt av VRMS eller VDC. Ni ska nu se ett litet oscilloscop samt ett RMS värde alternativt ett medelvärde av signalen.



### 3 Laborationsuppgifter

Dessa uppgifter är tänkta att utföras under själva laborationen. **Tänk på att alltid ha huvudspänningen avstängd vid all koppling.** För att få genomföra laborationen måste man redovisa att man läst och förstått följande säkerhetspunktlista.

- Huvudspänningen skall alltid vara avstängd vid all koppling. Även vid enklare omkopplingar så som inkoppling och urkoppling av mätinstrument mm.
- Skarva inte banankontakter så att ledande stift blir liggande på labbbänken. Det skall finnas gott om kablar så att rätt längd alltid kan användas.
- Håll ordning och reda på labbplatsen. Använd alltid rätt längd på kabel så att sladdhärvor undviks och tänk igenom färgvalet. En olycklig felkoppling kan lätt förstöra utrustningen.

T.ex. bör man använda röd som plus och svart/blå som minus. Vid eventuella trefaskopplingar bör man, om möjligt, använda olika färg för de olika faserna. Ibland får man dock kompromissa eftersom antal färger är begränsat.

- Vi har läst och förstått ovanstående punktlista:

⇒ Signatur: \_\_\_\_\_

#### 3.1 Likströmsmaskin

##### 3.1.1 Motorparametrar

- Läs av informationen på märkskylten och fyll i nedan. Mät därefter resistansen i de olika lindningarna, dvs  $R_{f,shunt}$ ,  $R_{f,series}$  och  $R_a$ , gärna med scope-metern. För att mäta  $R_a$ , mät för lite olika rotorpositioner och snurra rotorn med handen mellan mätningarna. Anteckna det lägsta uppmätta värdet. I seriefallet skall hela serielindningen, dvs från D1 till D2, användas.

⇒

$U$	:	_____
$I_a$	:	_____
$I_{f,shunt}$	:	_____
$R_{f,shunt}$	:	_____
$R_{f,series}$	:	_____
$R_a$	:	_____
$n_{series}$	:	_____ rpm
$n_{shunt}$	:	_____ rpm
Motor nr	:	_____ 1-5,Närmast C-korridor=1

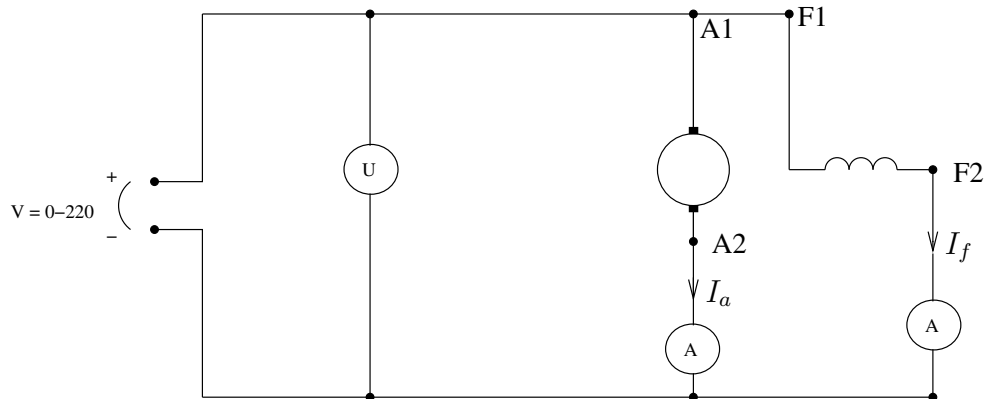
### 3.1.2 Shuntmotorns karaktäristik

I den här uppgiften skall ni

- Mäta moment  $T$ , varvtal  $N/\omega$ , ankarström  $I_a$  och fältström  $I_f$  för olika laster men med fix terminalspänning  $V_a$ .
- Rita in det uppmätta momentet som funktion av varvtal i den förberedda figuren.

#### Uppkoppling

- Koppla upp motorn som shuntmotor enligt Figur 6 nedan.
- Använd Fluke scopemetern för mätning av DC-spänningen. Ställ in den i DC-mätläge så som beskrivs i avsnittet *Kort handledning av Scope-meter*.
- Som strömmätningssinstrument används en enklare multimeter. Här är det viktigt att använda rätt ingång/utgång. Ställ ratten på mätning i 20A's området och använd **20A ingången** tillsammans med COM, se vidare Figur 2. **Säkerställ att mätarna som mäter ström är korrekt inkopplad och inställd på att mäta i 20A området.**
- Spänningen 0-220V tas från golvtransformatorn som finns beskriven i Figur 4.



Figur 6: Kopplingsschema för shuntmotorn. Multimeterarna som mäter  $I_a$  och  $I_f$  skall vara kopplade så att de mäter i 20A området.

#### Experiment

- Verifiera att mätaren som mäter ström är korrekt inkopplad och inställd på att mäta i 20A området.
- ⇒ Kontrollruta:
- Ställ belastningsresistansen till motorbromsen i läge 0.
  - Starta golvtransformatorn genom att slå till huvudbrytaren, 3-fas transformatorbrytaren och DC-brytaren enligt Figur 4. Vrid sedan ratten för 3-fas transformatorn till läge 0 för att återställa säkerhetsspärren (ett klick/klonk-ljud ska höras).
  - Vrid nu **sakta** upp transformatorns spänning tills dess att 180 [V] avläses på scopemetern. Vrider man för fort kommer motorn kortvarigt att dra mycket ström medan den varvar upp. Se till att inte överskrida märkspänning/ström på motorn annat än under korta perioder.

- Öka belastningen till 10 och justera spänningen till **180 [V]**. Gör en mätning för varje belastningsresistans genom att succesivt stega igenom lasterna märkta med 1-10. På grund av belastningsförluster i spänningsaggregatet kan spänningen behöva justeras mellan varje mätning för att hålla spänningen på 180 V. För varje last låter man sedan alla värden svänga in och fyller i nedanstående tabell.

**Varmkör motorn någon minut innan mätningarna utförs.**

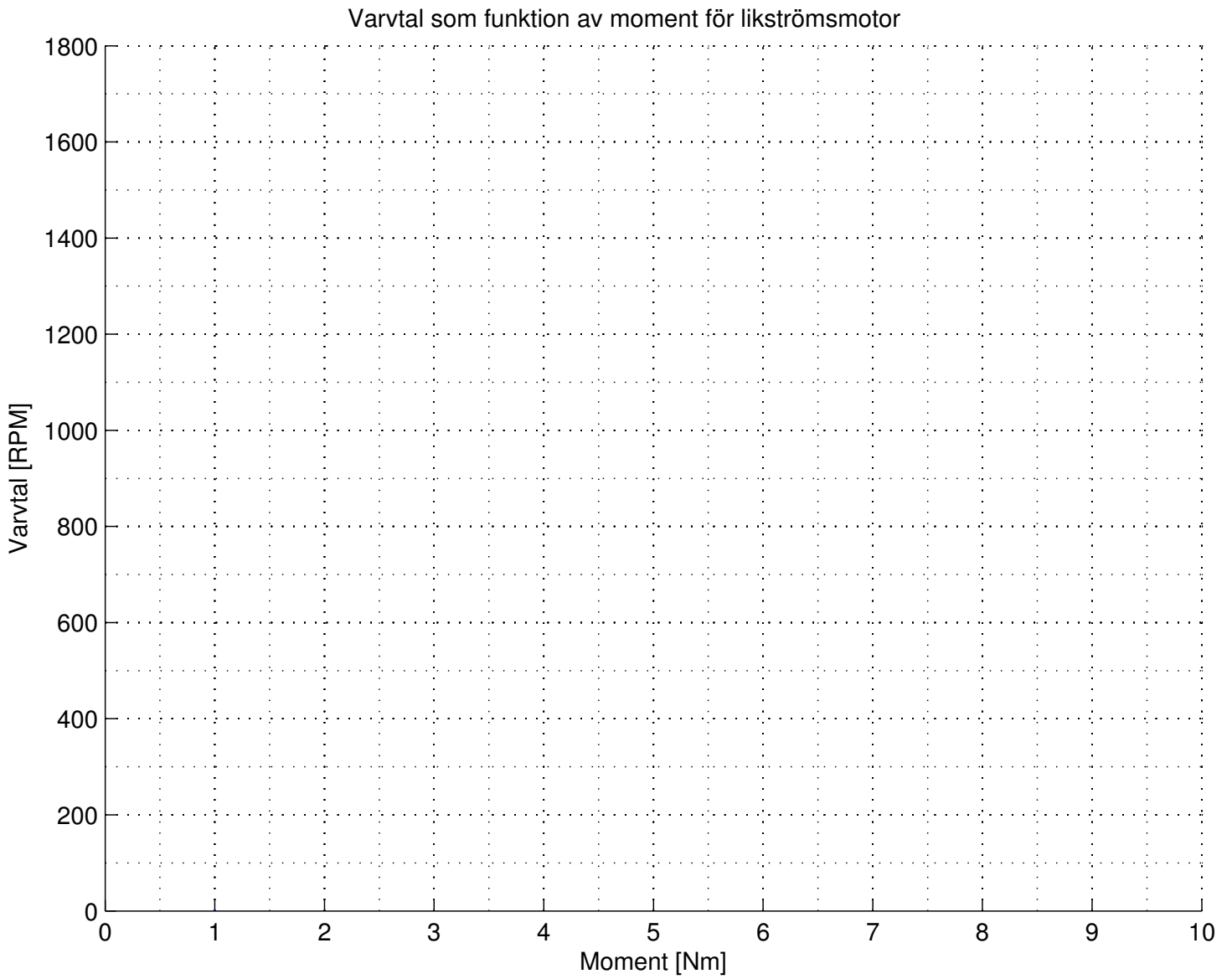
- Vad är det egentligen som blir varmt och hur kan ni kontrollera att motorn är varmkörd?

⇒ Svar: \_\_\_\_\_

Last Nr	Varvtal	Moment	Ankarspänning, $V_a$	Ankarström, $I_a$	Fältström, $I_f$
10					
09					
08					
07					
⇒ 06					
05					
04					
03					
02					
01					

- Vrid nu ner transformatorns spänning och stäng av **huvudspänningen** till transformatorn.
- Rita in värdena från tabellen ovan i Figur 7.

⇒ Är värdena rimliga?:



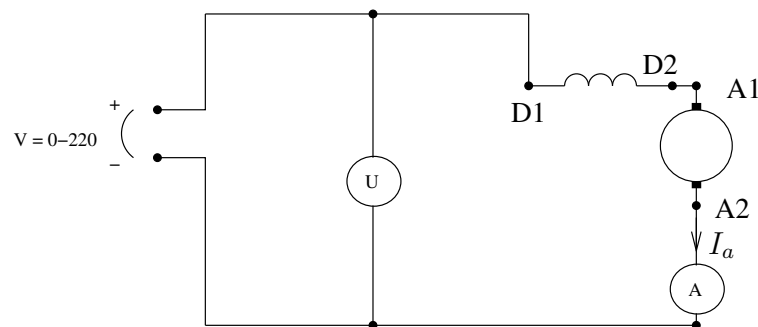
Figur 7: Varvtalskaraktäristik för olika kopplingar likströmsmotorn

### 3.1.3 Seriemotorns karaktäristik

I den här uppgiften skall motorn kopplas som en Seriemotor och samma typ av experiment som för Shuntmotorn skall utföras. I den här uppgiften är det viktigt att belastningsresistansen som bromsar motorn ställs in på ett lite högre värde, typ 3-5 redan från början för att motorn inte skall rusa.

#### Uppkoppling

- Koppla upp motorn som Seriemotor enligt Figur 8 nedan.
- Använd återigen Fluke scopemetern för mätning av DC-spänningen.
- Låt oss påminna om att använda rätt ingång/utgång på multimetern för strömmätning. Ställ alltså återigen ratten på mätning i 20A området och använd **20A ingången** tillsammans med COM. **Säkerställ att mätaren som mäter  $I_a$  är rätt inkopplad och inställd på att mäta i 20A området.**



Figur 8: Kopplingsschema för Seriemotorn. Strömmätaren som mäter  $I_a$  skall vara kopplad så att den mäter i 20A området. **På några labuppställningar heter D1/D2 istället S1/S2.**

#### Experiment

- Verifiera att mätaren som mäter  $I_a$  är korrekt inkopplad och inställd på att mäta i 20A området.  
⇒ Kontrollruta:
- Ställ belastningsresistansen till motorbromsen i läge 3-5.  
⇒ Kontrollruta:
- Starta golvtransformatorn genom att slå till huvudbrytaren, 3-fas transformatorbrytaren och DC-brytaren enligt Figur 4. Vrid sedan ratten för 3-fas transformatorn till läge 0 för att återställa säkerhetsspärren.
- Vrid nu **sakta** upp transformatorns spänning tills dess att 180 [V] avläses på scopemetern. Vrider man för fort kommer motorn kortvarigt att dra mycket ström medan den varvar upp. Se till att inte överskrida märkspänning/ström på motorn annat än under korta perioder.
- Öka belastningen till 10 och justera spänningen till **180 [V]**. Gör en mätning för varje belastningsresistans genom att succesivt stega igenom lasterna märkta med 1-10. För varje last låter man sedan alla värden svänga in och fyller i nedanstående tabell. För de lite lägre lasterna så kommer motorn att rusa och varvtalet kommer att gå över märkvarvtalet. Detta är som det ska men man bör inte köra motorn på detta sätt allt för länge för att spara lagren. Varmkör motorn någon minut innan mätningarna utförs.

Last Nr	Terminalspänning, $V_t$	Varvtal	Moment	Ankarström, $I_a = I_f$
10				
09				
08				
07				
⇒ 06				
05				
04				
03				
02				
01				

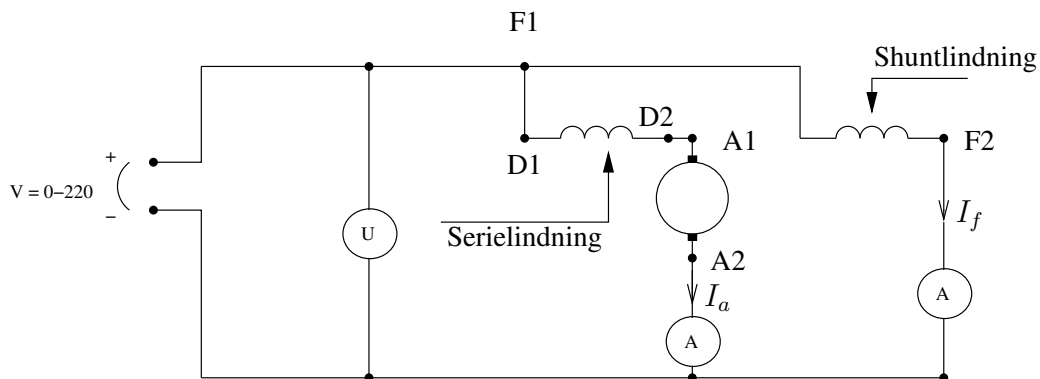
- Vrid nu ner transformatorns spänning och stäng av **huvudspänningen** till transformatorn.
  - Rita in värdena från tabellen ovan i Figur 7
- ⇒ Är värdena rimliga?:

### 3.1.4 Kompoundmotorns karaktäristik

I den här uppgiften skall motorn kopplas som en Kompoundmotor och samma typ av experiment som för Shuntmotorn och Seriemotorn skall utföras.

#### Uppkoppling

- Koppla upp motorn som Kompoundmotor enligt Figur 9 nedan.
- Använd återigen Fluke scopemetern för mätning av DC-spänningen.
- Låt oss återigen påminna om att använda rätt ingång/utgång på multimetern för strömmätning. Ställ alltså återigen ratten på mätning i 20A området och använd **20A ingången** tillsammans med COM. **Säkerställ att mätarna som mäter ström är inkopplade och inställda på att mäta i 20A området.**



Figur 9: Kopplingsschema för Kompoundmotorn. Strömmätarna skall som vanligt vara kopplade så att de mäter i 20A området. På några labuppställningar heter D1/D2 istället S1/S2.

## Experiment

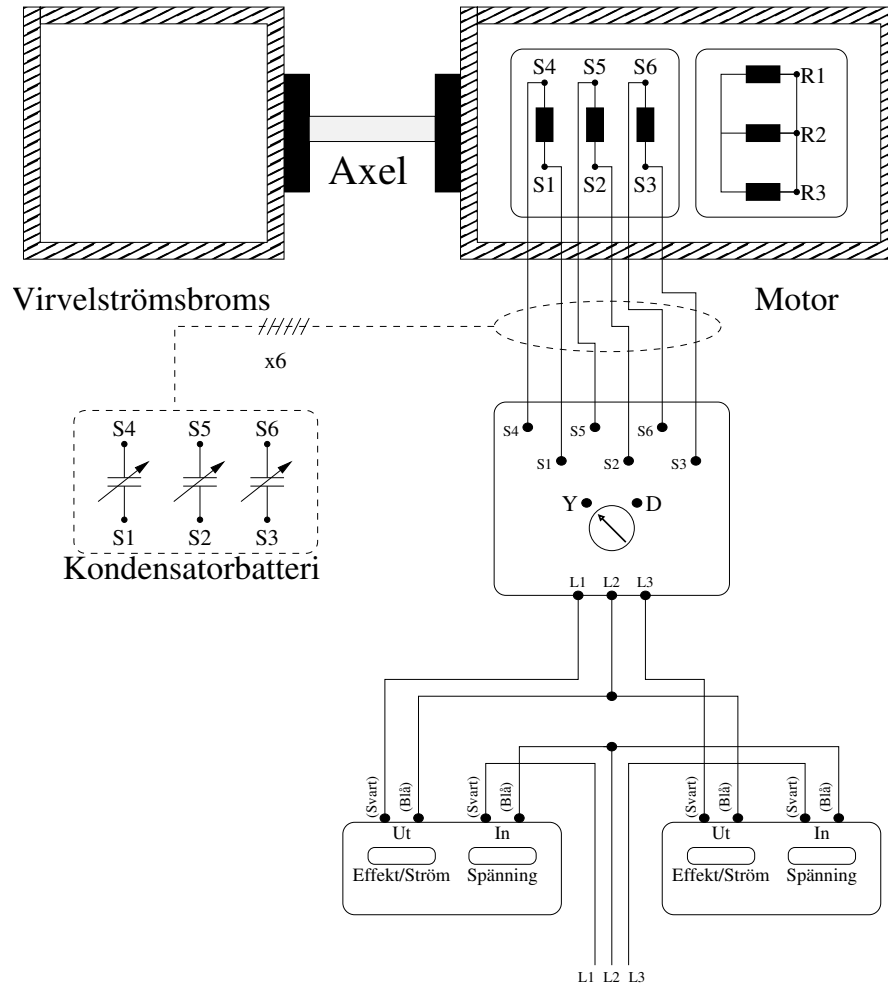
- Verifiera att mätarna som mäter ström är riktigt inkopplade och inställda på att mäta i 20A området.
- ⇒ Kontrollruta:
- Ställ belastningsresistansen till motorbromsen i läge 0.
  - Starta golvtransformatorn genom att slå till huvudbrytaren, 3-fas transformatorbrytaren och DC-brytaren enligt Figur 4. Vrid sedan ratten för 3-fas transformatorn till läge 0 för att återställa säkerhetsspärren.
  - Vrid nu **sakta** upp transformatorns spänning tills dess att 180 [V] avläses på scopemetern. Vrider man för fort kommer motorn kortvarigt att dra mycket ström medan den varvar upp. Se till att inte överskrida märkspänning/ström på motorn annat än under korta perioder.
  - Öka belastningen till 10 och justera spänningen till **180 [V]**. Gör en mätning för varje belastningsresistans genom att succesivt stega igenom lasterna märkta med 1-10. För varje last låter man sedan alla värden svänga in och fyller i nedanstående tabell. Varmkör motorn någon minut innan mätningarna utförs.

Last Nr	Spänning, $V_t$	Varvtal	Moment	Ankarström, $I_a$	Fältström, $I_f$
10					
09					
08					
07					
⇒ 06					
05					
04					
03					
02					
01					

- Vrid nu ner transformatorns spänning och stäng av **huvudspänningen** till transformatorn.
  - Rita in värdena från tabellen ovan i Figur 7
- ⇒ Är värdena rimliga?:

## 3.2 Asynkronmaskin

### 3.2.1 Grundkoppling för asynkronmotorn



Figur 10: Grundkopplingschema för asynkronmotorn. Spänning 3 x 0-220V tas från golvtransformatorn som finns beskriven i Figur 4. Notera att rotorn är kortsluten samt att ställdonet här är ställt på Y-koppling. Notera även att L1-L3 ibland kallas R, S och T.



### 3.2.2 Motorparametrar

- Läs av informationen på märkskylten och fyll i nedan.

Märkeffekt	$P$	:	_____
Märkvarvtal	$N$	:	_____
Matningsspänning vid D-koppling	$U_D$	:	_____
⇒ Matningsspänning vid Y-koppling	$U_Y$	:	_____
Märkström vid D-koppling	$I_D$	:	_____
Märkström vid Y-koppling	$I_Y$	:	_____
Motor (1-5 , Närmast C-korridor=1)	$Nr$	:	_____

### 3.2.3 Asynkronmotorns momentkurva

I den här uppgiften skall ni

- Mäta moment,  $T$ , varvtal,  $N/\omega$ , samt ström,  $I$ , för olika laster men med **fix huvudspänning**  $U_H$ .
- Rita in det uppmätta momentet som funktion av varvtal i den förberedda figuren.

#### Uppkoppling

- Koppla upp motorn enligt grundkopplingen i Figur 10. **Se till att statorlindningarna är D-kopplade.**
- ⇒ Motorn är D-kopplad:
- Spänningen 0-220V tas från golvtransformatorn som finns beskriven i Figur 4.

#### Experiment

- Stäng av virvelströmsbromsen helt genom att slå av den på knappen.
- Se till att wattmetrarna står i läge **ON**.
- Starta golvtransformatorn genom att
  - Slå till huvudbrytaren
  - Slå till 3-fas transformatorbrytaren (enligt Figur 4).
  - Vrida ratten för 3-fas transformatorn till läge 0 för att återställa säkerhetsspärren.
- Starta motorn genom att
  - Vrida upp transformatorns spänning tills dess att huvudspänningen  $U_H = 70$  V avläses på wattmetrarna.
  - Knuffa i gång motorn om den inte startar av sig själv.

Se till att inte överskrida märkspänning/ström på motorn annat än under korta perioder.

- Kontrollera rotationsriktningen på motorn. **Den skall rotera medurs sett från motorn till bromsen.** Skulle den rotera åt andra hållet får man stänga av och koppla om två faser. Fråga assistenten om ni är osäkra.
- När motorn börjat varva upp
  - Öka spänningen till märkspänningen för den aktuella kopplingen.
  - Slå på virvelströmsbromsen men låt ratten som styr bromsmomentet vara nedvriden.



- Stäng av motorn
  - Vrid ned belastningen.
  - Vrid ned transformatorns spänning.
  - Stäng slutligen av **huvudbrytaren** till transformatorn.
- Rita in mätvärdena från tabellen i Figur 11 på sidan 20.
- Hur stämmer kurvan med momentkurvorna från teorin? (Vad blir momentskillnaden mellan Y- och D-koppling för ett visst givet varvtal?)

⇒ Svar: \_\_\_\_\_

- Finns det något speciell förenklad momentekvation som beskriver den del av kurvan vi mätt upp tillräckligt bra?

⇒ Svar: \_\_\_\_\_

- Om vi tillåter oss att överskrida märkströmmen, kan vi då mäta upp hela kurvan med den använda metoden?

⇒ Svar: \_\_\_\_\_

### 3.2.4 Förhållandet mellan $I_{L,D}$ och $I_{L,Y}$

- Använd samma uppkoppling som tidigare (med Y-kopplad stator). Håll fast rotorn med ena handen och öka spänningen sakta till 50 V. Avläs sedan strömmen.

⇒ Linjeström,  $I_{L,Y}$ : \_\_\_\_\_ A

- Gör sedan om försöket med D-kopplad stator och avläs strömmen

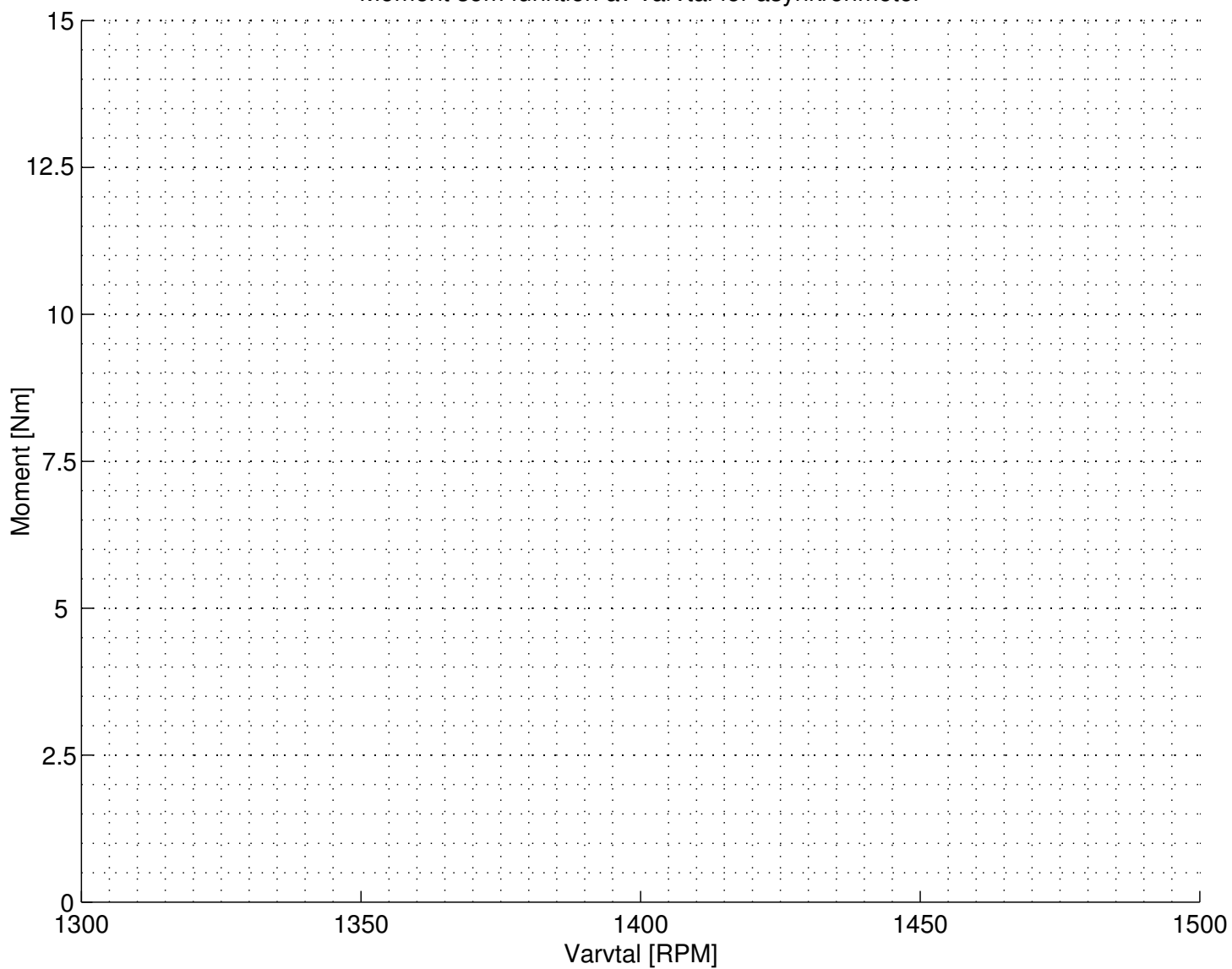
⇒ Linjeström,  $I_{L,D}$ : \_\_\_\_\_ A

- Stäng av motorn
  - Vrid ned transformatorns spänning.
  - Stäng av **huvudbrytaren** till transformatorn.

- Vilket förhållande råder mellan linjeströmmarna vid  $I_{L,D}$  och  $I_{L,Y}$ ? Stämmer teorin?

⇒ Svar: \_\_\_\_\_

Moment som funktion av varvtal för asynkronmotor



Figur 11: Varvtalskaraktäristik för asynkronmotorn.

### 3.2.5 Effekt, effektfaktor och verkningsgrad

Tillförd effekt mäts med hjälp av tvåwattmetermetoden. Använd kopplingsschemat i Avsnitt 3.2.1, Figur 10.

- Starta motorn D-kopplad, använd samma procedur som förut. Vrid sedan upp spänningen till märkspänning.
- Belasta motorn med ett moment så att märkström erhålls. Avläs moment och varvtal och kontrollera om det stämmer med märkdata.

⇒  $M = \underline{\hspace{2cm}}$  Nm,  $n_2 = \underline{\hspace{2cm}}$  rpm

- Beräkna avgiven effekt

⇒  $P_{2a} = \underline{\hspace{2cm}}$  W

- Avläs wattmetrarna P1 och P2.

⇒  $P_1 = \underline{\hspace{2cm}}$  W,  $P_2 = \underline{\hspace{2cm}}$  W

- Beräkna effektfaktorn för motorn

⇒  $\cos \varphi = \underline{\hspace{2cm}}$

- Beräkna verkningsgraden  $\eta$  för motorn

⇒  $\eta = \underline{\hspace{2cm}}$

### 3.2.6 Inkoppling av kondensatorbatteri

- Använd samma uppkopplings som tidigare men lägg till ett parallellkopplat kondensatorbatteri till kopplingen. Kondensatorbatteriet skall kopplas in mellan Y/D-omkopplaren och statorn hos motorn.
- Starta motorn på samma sätt som tidigare och vrid upp till märklast.
- Ställ in kondensatorerna så att fullständig faskompensering ( $\cos \varphi = 1$ ) erhålls. Enligt teorin ska wattmetrarna då visa lika mycket ( $P_2 - P_1 = \frac{Q}{\sqrt{3}}$ ).
- Vad händer med strömmen respektive varvtalet när man faskompenserar?

⇒ Svar:  $\underline{\hspace{2cm}}$

### 3.2.7 Körning med pådragsmotstånd

Enligt momentformeln så kan slipet,  $s$ , göras godtyckligt stort med bibehållet moment under förutsättningen att rotorresistansen,  $R_2$ , ändras enligt sambandet  $\frac{s_0}{R_2} = \frac{s_i}{R_2 + R_{i,ext}}$ . Vi ska nu testa att använda ett pådragsmotstånd vid start för att undersöka hur detta kan utnyttjas.

#### Uppkoppling

- Använd samma uppkoppling som för mätningarna i Avsnitt 3.2.3
    - D-koppla statorn.
    - Koppla in pådragsresistansen till rotorn.
- ⇒ Motorn är D-kopplad:

#### Experiment

**Observera:** Under de följande experimenten bör man vara försiktig så att effektutvecklingen i pådragsresistansen inte blir för stor under för lång tid. Låt alltså inte motorn stå och gå under en längre period med pådragsresistansen inkopplad och uppskruvad. Tänk på att övervaka strömmen så att märkström inte överskrids.

- Starta motorn
  - Stäng av virvelströmsbromsen.
  - Ställ resistansen i max-läge och starta motorn genom att vrida upp spänningen till märkspänning för D-koppling.
  - När motorn börjat varva upp så sänks rotor-resistansen stegvis tills dess att den är helt urkopplad.

Förfarandet illustrerar den normala användningen av en pådragsresistans för motorstart.

- Varför vill man starta på detta sätt att starta med hög resistans i rotorn ( $R_2$ ) för att sedan minska den när motorn varvar upp?
- ⇒ Svar: \_\_\_\_\_

### 3.2.8 Körning av motor med varierbart poltal

Ett effektivt men ur tillverkningsynpunkt klumpigt sätt att ändra varvtal på en asynkronmotor är att ändra poltalet. Poltalet beror som bekant på hur lindningarna är lindade och ihopkopplade. På den motorn som finns tillgänglig kan man variera antalet poler mellan 2 och 4. Motorn är redan uppkopplad och ska alltså bara provköras. Inga mätningar behöver utföras i denna labbuppgift.

- Vilka varvtal förväntar ni er för de olika poltalen?

⇒ Svar: 4-pol: \_\_\_\_\_ 2-pol: \_\_\_\_\_

- Förflytta er till arbetsplatsen med asynkronmotorn som har varierbart antal poler. Studera inkopplingen och försök förstå hur omkopplingen går till. **Tips:** Studera vilket av alternativ av 1 och 2 på kopplingsdosan som svarar mot att kortsluta 3 av sladdarna och jämför med figuren på motorn som svarar för 1500 eller 3000 rpm.
- Säkerställ att bromsen är avstängd och nedvriden. Tänk på att strömmätare saknas för denna koppling och att det därför är lätt att lasta motorn så att märkström överskrids. Tänk också på att spänningsaggregatet för den aktuella uppkopplingen saknar säkerhetsspärr och alltså kan startas på full spänning.
- Ställ in reglaget på kopplingsboxen till motorn så att den blir 4-polig. Fråga assistenten om ni är osäkra. Starta sedan motorn på samma sätt som tidigare genom att slå på spänningen och vrida upp den till ca 70V för att få motorn att varva upp. Vrid sedan upp spänningen till matningsspänning.
- drift. Ändra reglaget så att motorn blir 2-polig istället. Gör gärna egna experiment med motorn men tänk på att ni inte kan mäta strömmen och därmed inte vet säkert om ni överskrider märkström.
- Stäng av motorn genom att vrida ned spänningen och stänga av allt precis som för era egna kopplingar.

## 4 Förevisning - Infasning av Synkronmaskin

Förevisningens syfte är att visa hur man fasar in en synkronmaskin på elnätet. Synkronmaskinen som fasas in på nätet under förevisningen skulle t.ex. kunna användas till att faskompensera en mindre maskinpark, genom att parallellkoppla synkronmaskinen med övriga inkopplade maskiner. Under kursens gång har vi lärt oss att roterande växelströmsmaskiner och transformatorer behöver reaktiv effekt för sin magnetisering. Reaktiv effekt är inte önskvärt att överföra mellan kraftstation och brukare, så dessa maskinparkar bör faskompenseras för att få bättre verkningsgrad i kraftöverföringen. En variant för att faskompensera en maskinpark är en övermagnetiserad synkronmaskin.

I labbet så används en motor för att fasa in synkronmaskinen, när synkronmaskinen är infasad på nätet så kan den drivande motorn stängas av. Synkronmaskinen kommer nu att arbeta med den spänning och den frekvens som elnätet har. Genom att förändra magnetiseringsspänningen i synkronmaskinen så kan andelen reaktiv effekt som tas eller ges till nätet regleras.

Förfarande för infasning av synkronmaskin:

1. Starta motorn och öka motorns varvtal för att driva synkronmaskinen, öka hastigheten tills frekvensen på spänningen från synkronmaskinen stämmer med frekvensen i elnätet.
2. Öka magnetiseringsspänningen på synkronmaskinen, tills spänningens amplitud stämmer med elnätet.
3. Fasföljden på synkronmaskinen måste stämma med elnätet (120 grader mellan varje fas, i rätt ordning). När synkronmaskinen ger ifrån sig trefassspänning med denna egenskap, så villkoret är uppfyllt.
4. För att slutligen koppla in synkronmaskinen så måste fasläget stämma med fasläget på elnätet. Genom att öka eller sänka rotationshastigheten på motorn så kan man *arbeta ikapp* eller *vänta in* fasläget i elnätet.

## 5 Extrauppgift

Om tid finns så utförs följande extrauppgift. På ett bord i labbet finns ett antal elmaskiner som ska undersökas.

- Försök att identifiera vilken typ av elmaskin det är. Som hjälp i identifieringen så kan ni fundera på följande frågor:
  - a) Vilken lindning har permanent magnetfält och vilken har varierande? (Hur vet man det?)
  - b) Hur är lindningarna kopplade? Är de seriekopplade, parallellkopplade eller ihopkopplade alls?
  - c) Finns det några givare i motorn som kan användas för styrning?
  - d) Förs det över någon ström till rotern eller är den permanentmagnetiserad?
  - e) Hur sker den eventuella strömöverföringen till rotern? Släpringar eller induktivt?
  - f) Går motorn på lik- eller växelspanning och i så fall hur många faser?

⇒ Plats för anteckningar:



## 6 Förberedelseuppgifter

### 6.1 Likströmsmaskin

#### 6.1.1 Ekvivalenta kretsscheman för de olika motorkopplingarna

- Rita ekvivalenta kretsar för de 2 olika inkopplingsalternativen Shunt- respektive Serie-koppling av en DC-motor. Kika på kopplingschema till respektive uppgift och utgå från kretsschema som ges i föreläsninganteckningarna. Rita och inför beteckningar på de elektriska motstånden, strömmarna och spänningarna i respektive krets. Teckna de **elektriska** sambanden.

#### Shuntkopplad DC-Motor

#### Seriekopplad DC-Motor

### 6.1.2 Momentkaraktistik för motorkopplingarna

- Skissa i samma diagram  $M = f(n)$  (moment/varvtalskaraktistik) för shuntmagnetiserad, serie-magnetiserad och compoundmagnetiserad likströmsmaskin. Markera i figuren respektive motor.

### 6.1.3 Matematiska samband för DC-Motorn

#### Motorns moment

- Ställ upp en ekvation för motorns moment som funktion av flöde  $\phi$   
⇒ Svar:  $M =$  \_\_\_\_\_
- Ställ upp en ekvation för motorns moment som funktion av fältström  $I_f$  (linjära området)  
⇒ Svar:  $M =$  \_\_\_\_\_

#### Inducerad elektromotorisk kraft

- Ställ upp en ekvation för inducerad EMK som funktion av flöde  $\phi$   
⇒ Svar:  $E_a =$  \_\_\_\_\_
- Ställ upp en ekvation för inducerad EMK som funktion av fältström  $I_f$  (linjära området)  
⇒ Svar:  $E_a =$  \_\_\_\_\_

## 6.2 Asynkronmaskin

### 6.2.1 Momentkaraktistik för asynkronmaskinen

- Skissa i samma diagram  $M = f(n)$  (moment/varvtalskaraktistik) för en asynkronmaskin med och utan rotorpådrag, då statorn är D-kopplad, samt för en asynkronmaskin med Y-kopplad stator. Markera i figuren respektive kurva.

### 6.2.2 Tvåwattmetermetoden

Mätning av trefaseffekt till motor kan göras med tvåwattmetermetoden. Wattmetern i fas 1 ger effekten  $P_1$  och wattmetern i fas 3 ger effekten  $P_2$ .

- Rita en skiss på wattmetrarnas inkoppling

- Hur stor är tillförd effekt till asynkronmotorn uttryckt i  $P_1$  och  $P_2$ ?

⇒ Svar:  $P_{Tot} =$  \_\_\_\_\_ W

- Avgiven effekt kan beräknas med hjälp av moment och varvtal med formeln

⇒ Svar:  $P_{2a} =$  \_\_\_\_\_ W

- Teckna ett uttryck för effektfaktorn  $\cos \varphi$  för motorn uttryckt i  $P_1$  och  $P_2$  (Alltså **endast** dessa två mät-storheter).

⇒ Svar:  $\cos \varphi =$  \_\_\_\_\_

### 6.2.3 Matematiska samband för asynkronmotorn

#### Motorns moment

- Ställ upp momentekvationen från boken/föreläsningarna som funktion av slippet  $s$ , resistanser/impedanser och spänning.

⇒ Svar:  $M =$  \_\_\_\_\_

- Ställ upp momentekvationen för små slip

⇒ Svar:  $M =$  \_\_\_\_\_

#### 6.2.4 Y/D-kopplingar

- Rita kopplingsschema för en motor med Y-kopplad stator. Utgå från fasspänningarna L1-L3 och använd beteckningar S1-S6 enligt Figur 10. Tanken är alltså att ni ska rita kopplingen som i figuren representeras av omkopplingslådan med ställdonet ställt på Y.

- Rita nu samma koppling fast med D-kopplad stator. Tanken är alltså att ni ska rita kopplingen som i Figur 10 representeras av omkopplingslådan med ställdonet ställt på D.

- Antag en last med induktans  $Z = U/I$  och med fasvinkel/lastvinkel  $\varphi$ . Teckna effektutvecklingen i lasten för Y resp D koppling. **Använd endast huvudspänning  $U_H$  och lastimpedans  $Z$  (med fasvinkel) i uttrycken.**  
**Tips:** använd ohms lag och/eller se formelbladet för liknande uttryck. Finns det något trevligt samband mellan dem?

⇒ Svar:  $P_Y =$  \_\_\_\_\_  $P_D =$  \_\_\_\_\_