

Laboration 2

Likströmsmotorn

Per Öberg

19 november 2010

Översikt – Målsättning

Tanken är att man efter laborationsmomentet skall

- Kunna beskriva konstruktion och funktion hos serie-, shunt(parallell)- och kompond-motorn.
- Kunna förstå alternativ för inkoppling av lindningarna och kunna koppla in lindningarna på rätt sätt
- Kunna modellera de olika likströmsmotortyperna.
- Kunna utforma och genomföra experiment för att parametersätta motormodellerna.
- Utföra mätningar av motorprestanda för de tre motortyperna, t.ex. deras varvtals-momentberoende. Se t.ex. fig 7.6. i kursboken.
- Mäta effektiviteten.

Detta ska ske genom att en likströmsmotor med omkopplingsbara lindningar analyseras. **En viktig del i laborationen är att reflektera och diskutera de moment man genomfört.** Därför skall ni sammanfatta era erfarenheter i en laborationsrapport där alla förberedelseuppgifter är lösta och resultatet från laborationen dokumenteras och diskuteras. Den ihopstående rapporten skall innehålla

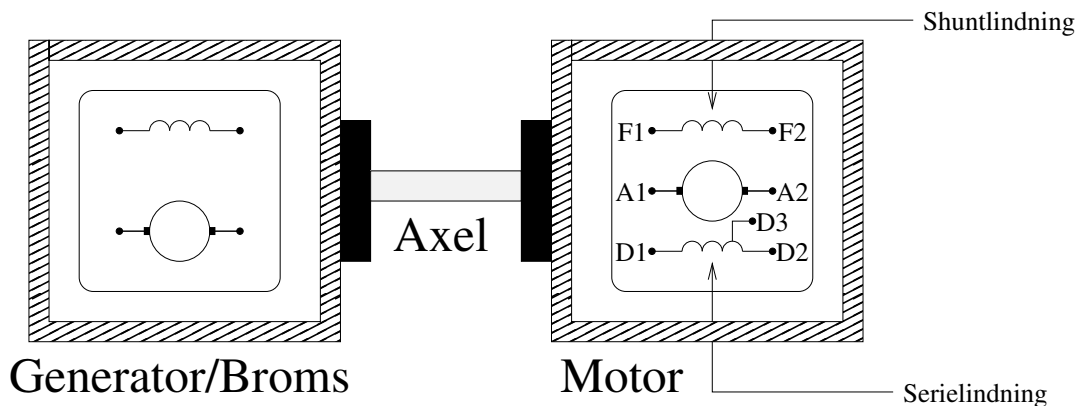
- Ifyllt LabbPM med lösta förberedelseuppgifter
- Några sidor med lösta hemuppgifter

Vi förväntar oss att alla figurer diskuteras inte bara beskrivs samt att skala och storhet på axlar dokumenteras. Som hjälpmedel i efterbehandlingsarbetet kan det vara lämpligt att använda verktyg såsom t.ex. Matlab eller Octave för att utföra beräkningar, modellanpassningar och plottning av figurer.

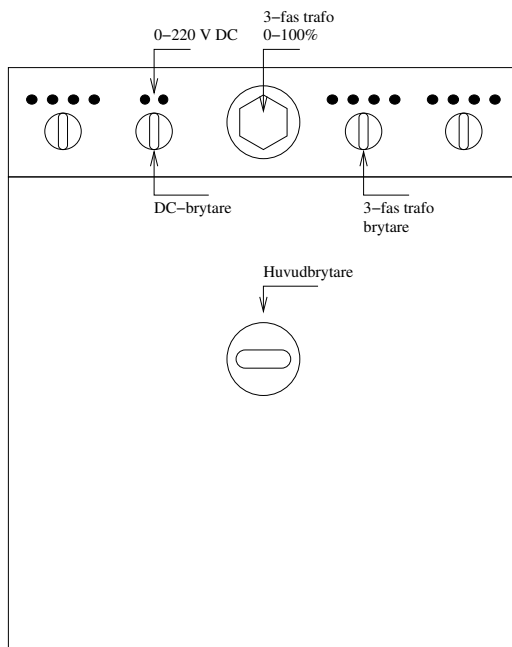
Utrustning

Den utrustning som finns tillgänglig för experimenten är

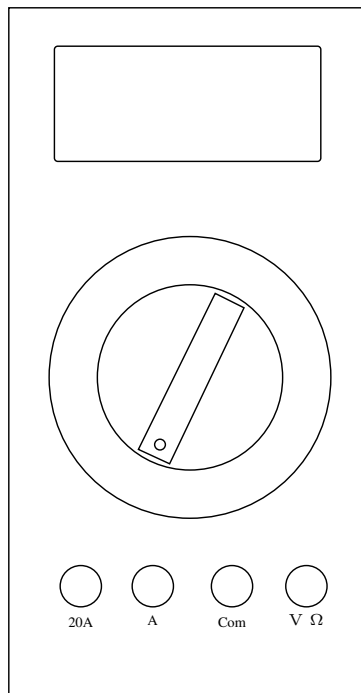
- Motorutrustningen består av två mekaniskt kopplade likströmsmaskiner med omkopplingsbara lindningar varav den ena används som generator/broms och den andra som motor. Se vidare Figur 1.
- Mätutrustning
 - Momentmätare
 - Varvtalsmätare
 - Likströmskälla, se vidare Figur 2
 - Multimeter för ström-mätning (för mätning av medelvärde), se Figur 3
 - Fluke Scope-meter (ett digitalt oscilloskop), se Figur 4



Figur 1: Motorskiss med olika inkopplingsalternativ. Bromsdelen är uppkopplad mot en resistiv belastning med variabel last. Motorordelen 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 max-strömmarna för motorn framgår av märkskylten.



Figur 2: Översikt av Terco Power Pack. I de experiment som skall utföras skall utgången märkt 0-220V DC (symbol "=") användas. För att få ut en variabel spänning på utgången måste både huvudbrytaren, 3-fas transformatorbrytaren samt DC-brytaren vara påslagna. Dessutom måste ratten till 3-fas transformatorn ställas i 0-läge. Sedan justeras likspänningen med 3-fas transformatorns ställdon.

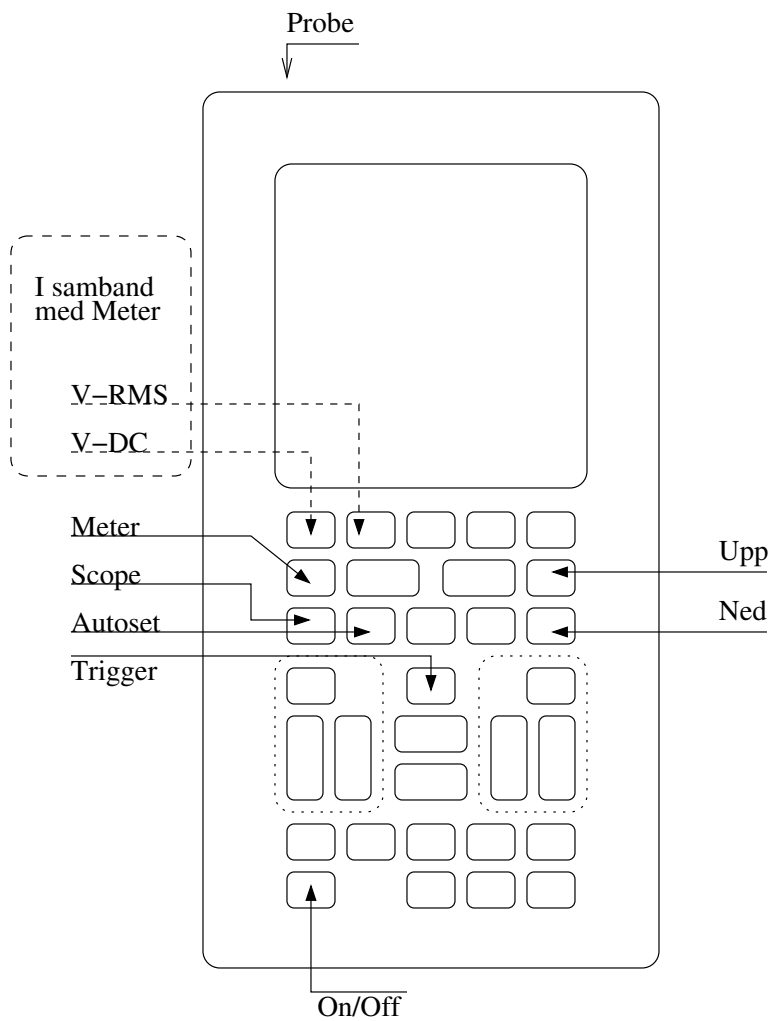


Figur 3: Översikt av den enkla multimetern. För amperemätning används 20A/A ingången tillsammans med COM. Notera den extra ingången för 20A området. Den är till för att inte bränna sönder multimetern vid mätning av stora strömmar. Det finns några olika multimetrar i labbet så säkerställ lämplig inkoppling på just er multimeter. Fråga assistenten om ni är osäkra hur multimetern skall kopplas in.

Kort handledning till Scope-meter

En översiktsfigur av scope-metern finns in Figur 4. 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, V-RMS, eller medelvärde på de blå knapparna direkt under displayen.



Figur 4: Översikt av scopemetern. Använd scopemetern för att mäta spänning. Detta görs t.ex. genom att starta instrumentet, välja MEASURE följt av VRMS eller VDC. Ni ska nu se ett litet oscilloscop samt ett RMS värde alternativt ett medelvärde av signalen.

1 Laborationsuppgifter

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

- Huvudströmmen 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 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: _____

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 , med den enkla multimetern. I seriefallet skall hela serielindningen, dvs från D1 till D2 användas.

⇒
$$\begin{array}{l} U : \text{_____} \\ I_a : \text{_____} \\ I_r : \text{_____} \\ R_{f,shunt} : \text{_____} \\ R_{f,series} : \text{_____} \\ R_a : \text{_____} \\ N_{series} : \text{_____} \\ N_{shunt} : \text{_____} \end{array}$$

- Vad betyder de olika ström- och spännings-uppgifterna på märskylten?

⇒ Svar: _____

1.2 Shuntmotorns karaktäristik

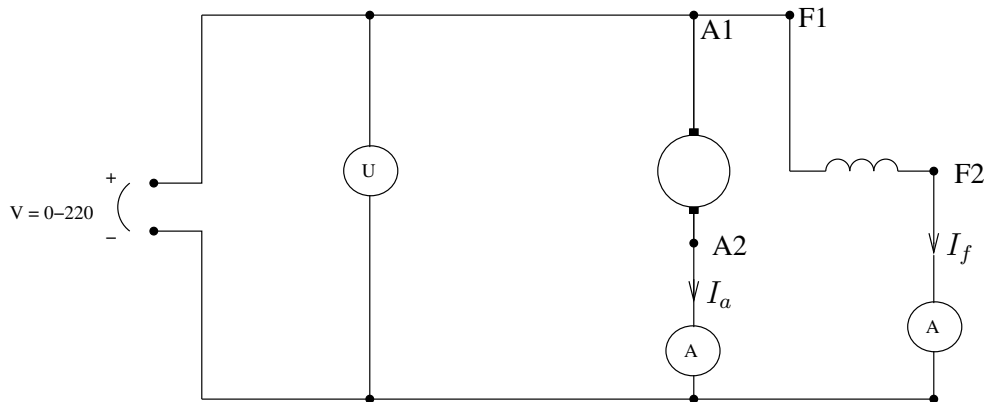
I den här uppgiften skall ni

- Mäta moment T , varvtal ω , ankarström I_a och fältström I_f för olika laster men med fix armaturspänning V_a .
- Skatta parametrarna i ekvationerna $E = K_f I_f \omega$ och $T = K_f I_f I_a$.
- Rita in det uppmätta momentet som funktion av varvtal i den förberedda figuren.
- Rita in moment som funktion av varvtal enligt den modellen ni använde för att skatta parametrarna och den ekvivalenta kretsen för motorn.
- För de uppmätta arbetspunkterna räkna ut effektiviteten $\eta = \frac{T\omega}{V_a I_a}$ för motorn.

Lägg till uppgift på detta

Uppkoppling

- Koppla upp motorn som shuntmotor enligt Figur 5 nedan.
- Använd Fluke scopemetern för mätning av DC-spänningen. En kort demonstration av scopemetern kommer att ges av assistenten på laborationstillfället men det viktiga här är att ställa in den i DC läge 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 3. **Säkerställ att mätaren som mäter I_a är inkopplad och inställd på att mäta i 20A området.**
- Spänningen 0-220V tas från golvtransformatorn som finns beskriven i Figur 2.



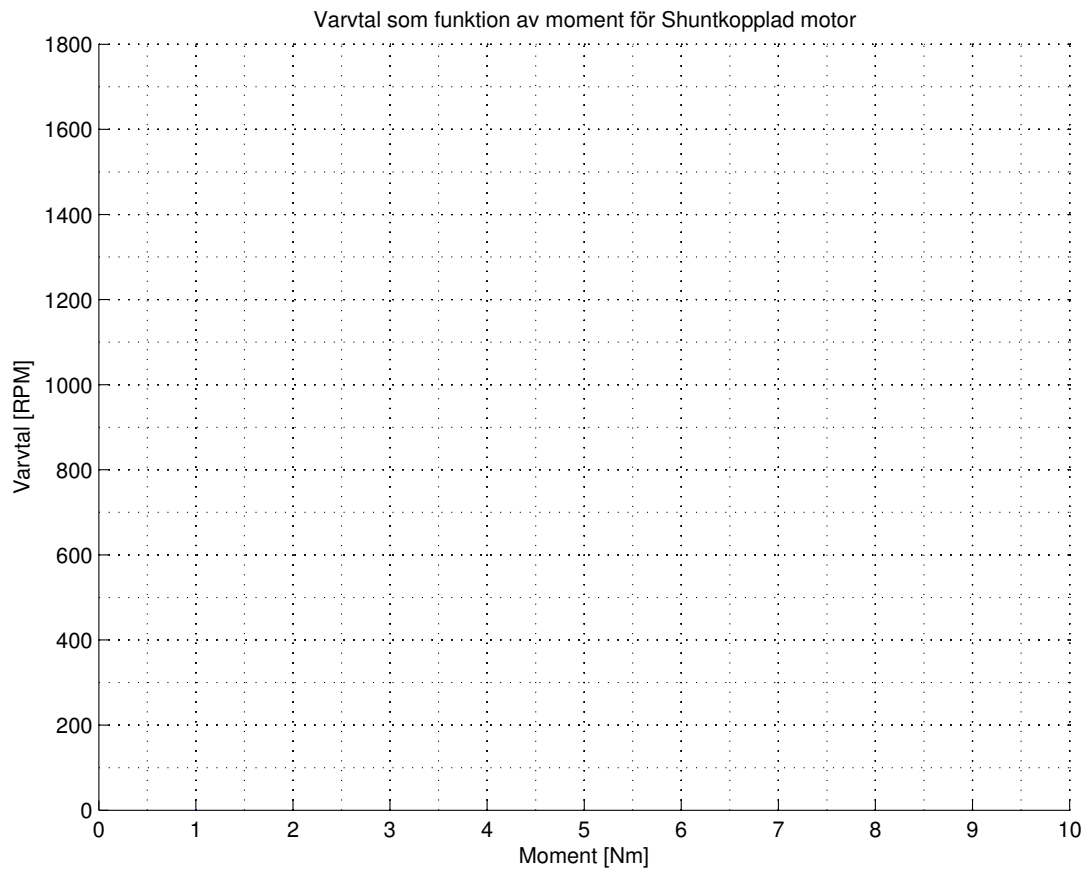
Figur 5: Kopplingschema för shuntmotorn. Strömmätaren som mäter I_a skall vara kopplad så att den mäter i 20A området medan strömmätaren som mäter I_f kan vara kopplad för att mäta lägre strömmar (Börja t.ex. i 2A området och stega ned om den aktuella strömmen tillåter det).

Experiment

- Verifiera att mätaren som mäter I_a är 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 2. Vrid sedan ratten för 3-fas transformatorn till läge 0 för att återställa säkerhetsspärren.
 - Vrid nu **sakta** upp transformatorns spänning tills dess att märkspänning för motorn 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.
 - 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.

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

- Vrid nu ner transformatorns spänning och stäng av **huvudspänningen** till transformatorn.
 - Rita in värdena från tabellen ovan i Figur 6
 - Skatta parametern K_f i ekvationen $T = K_f I_f I_a$.
- ⇒ Svar: _____
- Nämn två orsaker till att parametern K_f i ekvationen $T = K_f I_f I_a$ kan bli olika för olika arbetspunkter och ange vilken av dem som påverkar spridningen av värdena för våra arbetspunkter mest.
- ⇒ Svar: _____
- Använd den ekvivalenta kretsen för shuntmotorn och rita in modellerat moment som funktion av varvtal i Figur 6. Tips: Använd $E = K_f I_f \omega$.
 - Stämmer de två kurvorna överens? Om inte, varför?
- ⇒ Svar: _____



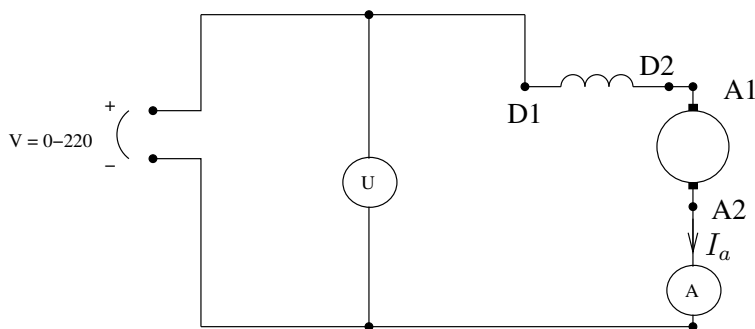
Figur 6: Varvtalskaraktäristik för Shuntmotorn

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 7 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's områden och använd **20A ingången** tillsammans med COM. **Säkerställ att mätaren som mäter I_a är inkopplad och inställd på att mäta i 20A området.**



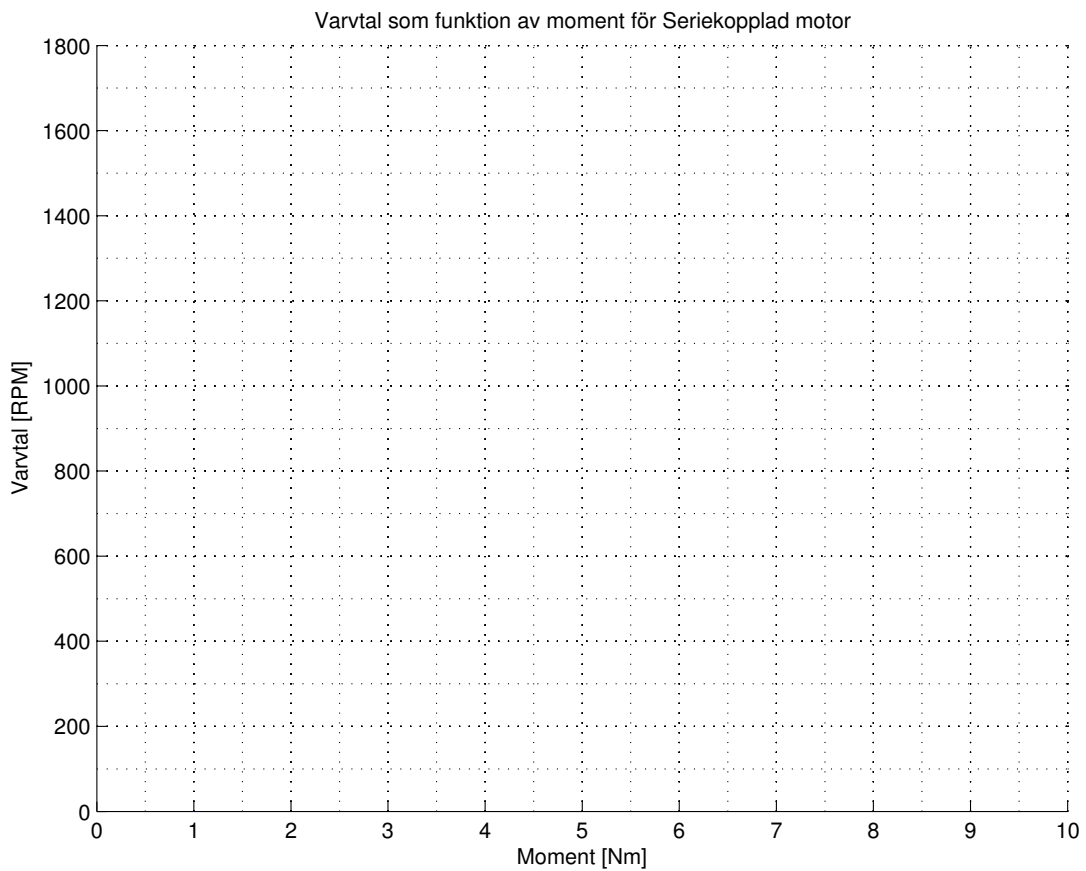
Figur 7: Kopplingsschema för seriemotorn. Strömmätaren som mäter I_a skall vara kopplad så att den mäter i 20A området.

Experiment

- Verifiera att mätaren som mäter I_a är 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 2. Vrid sedan ratten för 3-fas transformatorn till läge 0 för att återställa säkerhetsspärren.
- Vrid nu **sakta** upp transformatorns spänning tills dess att märkspänning för motorn 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.
- 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.

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

- Vrid nu ner transformatorns spänning och stäng av **huvudspänningen** till transformatorn.
- Rita in värdena från tabellen ovan i Figur 8



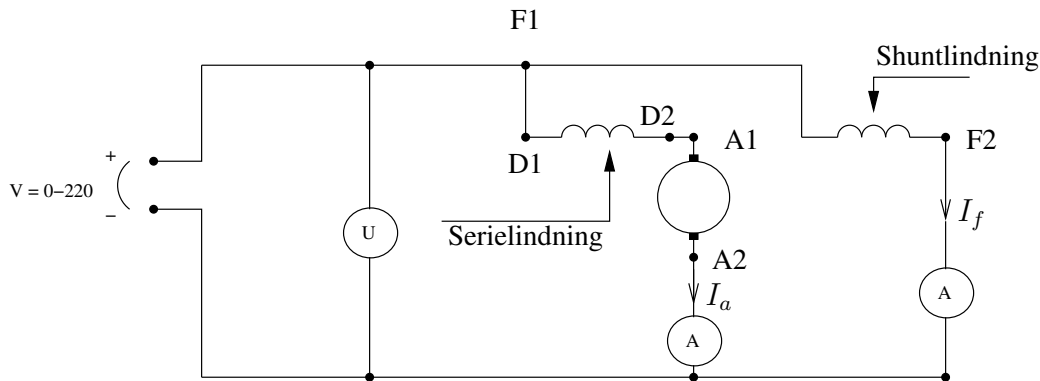
Figur 8: Varvtalskaraktäristik för Seriemotorn

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's områden och använd **20A ingången** tillsammans med COM. **Säkerställ att mätaren som mäter I_a är inkopplad och inställd på att mäta i 20A området.**



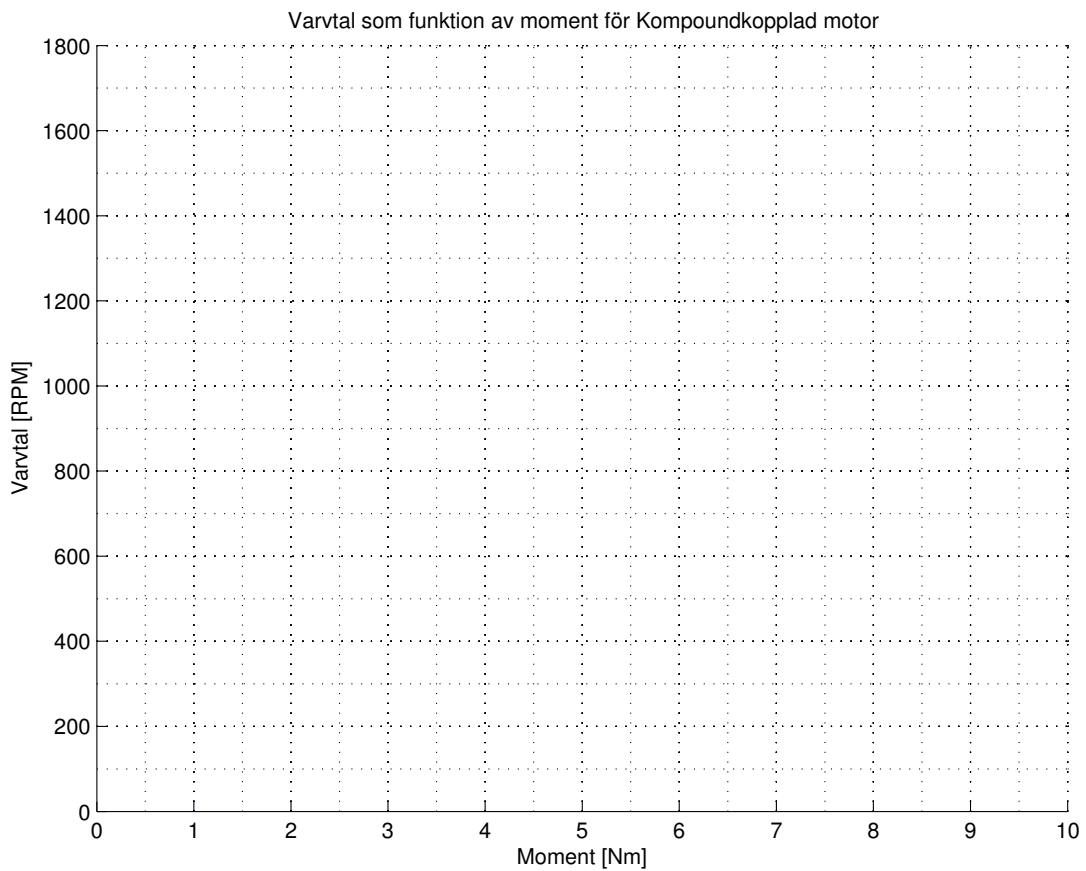
Figur 9: Kopplingsschema för kompoundmotorn. Strömmätaren som mäter I_a skall som vanligt vara kopplad så att den mäter i 20A området.

Experiment

- Verifiera att mätaren som mäter I_a är 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 2. Vrid sedan ratten för 3-fas transformatorn till läge 0 för att återställa säkerhetsspärren.
 - Vrid nu **sakta** upp transformatorns spänning tills dess att märkspänning för motorn 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.
 - 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.

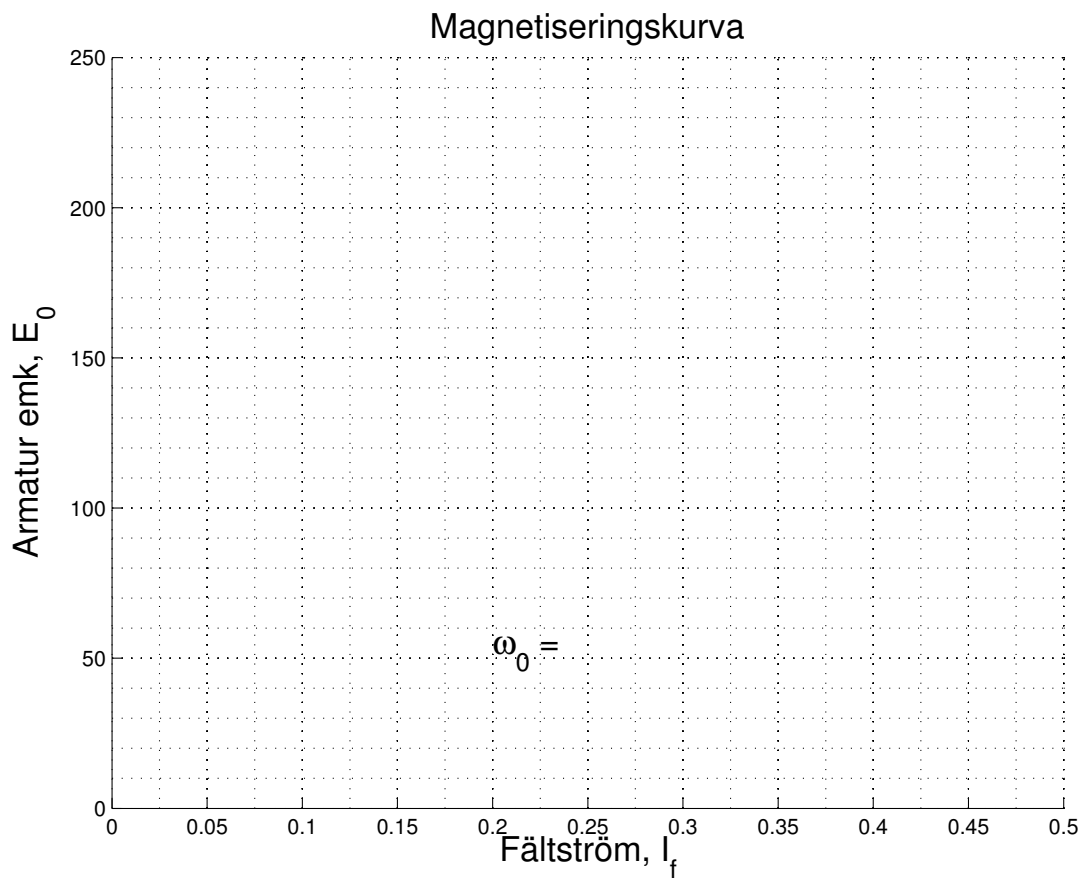
Last Nr	Varvtal	Moment	Armaturspänning, V_a	Ankarström, I_a	Fältström, I_f
01					
02					
03					
04					
⇒ 05					
06					
07					
08					
09					
10					

- Vrid nu ner transformatorns spänning och stäng av **huvudspänningen** till transformatorn.
- Rita in värdena från tabellen ovan i Figur 10



Figur 10: Varvtalskaraktäristik för Kompoundmotorn

- Räkna ut E_0 för några av mätningarna under Avsnitt 1.2 och rita in i Figur 11.
- Hamnar mätningarna från Avsnitt 1.2 på samma ställe som den uppmätta kurvan?
⇒ Svar: _____
- Om inte, varför?
⇒ Svar: _____
- Skatta K_f i modellen $E = K_f I_f \omega$ från figuren och jämför med resultatet från Avsnitt 1.2.
⇒ Svar: $K_f =$ _____
- Kommentrar: _____



Figur 11: Magnetiseringskurva för Labbmotorn.

2 Förberedelseuppgifter

2.1 Ekvivalenta krestscheman för de olika motorkopplingarna

- Rita ekvivalent kretsar för de 3 olika inkopplingsalternativen Shunt, Serie och Kompound av en DC-motor.

Shuntkopplad DC-Motor

Seriekopplad DC-Motor

Kompoundkopplad DC-Motor

Tips: Använd en *long shunt* koppling som förstärker fältet, d.v.s. *cumulative shunt*.

2.2 Kvalitativa samband för DC-Motorn

För att minska risken för att överskrida märkvärden på labbmotorerna kan det vara bra att ha en känsla för vad som händer när man ändrar olika parametrar. Antag därför att en shuntkopplad motor matas med en fix armaturspänning och bromsas av en shuntkopplad generator med resistiv last.

- Hur påverkas varvtal N , ankarström, I_a och fältström I_f för motorn av att lasten ökas genom att minska resistansen för generatoren?

⇒ Svar: _____

- Hur påverkas varvtal, N och ankarström, I_a vid ökad last för en seriekopplad motor?

⇒ Svar: _____

- Antag att en shuntkopplad DC-motor har körts tillräckligt länge för att uppnå stationäritet. Hur påverkas moment, T , varvtal N , ankarström, I_a och fältström I_f **över tid** vid en steglik ökning av armaturspänningen?

⇒ Svar: _____

- Om istället en seriekopplad DC-motor antas, hur påverkas moment, T , varvtal N och ankarström, I_a **över tid** vid en steglik ökning av armaturspänningen?

⇒ Svar: _____

2.3 Matematiska samband för DC-Motorn

Motorns moment

- Ställ upp en ekvation för motorns moment som funktion av flöde ϕ

⇒ Svar: $T =$ _____

- Ställ upp en ekvation för motorns moment som funktion av fältström I_f

⇒ Svar: $T =$ _____

Inducerad elektromotorisk kraft

- Ställ upp en ekvation för inducerad EMK som funktion av flöde ϕ

⇒ Svar: $E =$ _____

- Ställ upp en ekvation för inducerad EMK som funktion av fältström I_f

⇒ Svar: $E =$ _____

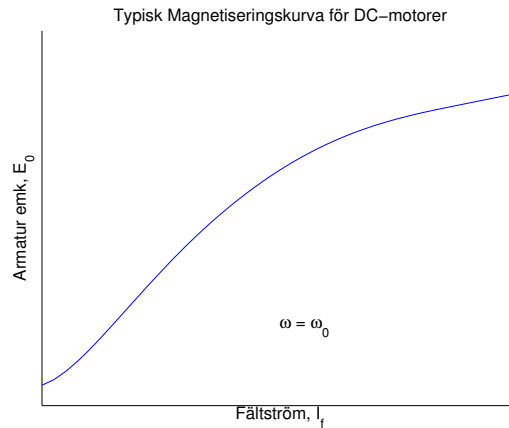
Inverkan av icke ideala faktorer

I nedanstående uppgifter är det tillåtet att tänka er en Shuntkopplad DC-motor.

- I uttrycken för moment och/eller elektromotorisk kraft ovan har en approximation gjorts. Vilken, och när gäller den?

⇒ Svar: _____

- I Figur 12, rita in följande storheter
 - Luftgaplinjen, (Air gap line)
 - Principiellt beteende för stora armaturströmmar I_a .
- Använd även figuren för att illustrera en metod för att kompensera för stora armaturströmmar.



Figur 12: Magnetiseringskurva för typiska DC-maskiner

- Hur översätter man magnetiseringskurvan för varvtalet ω_0 i Figur 12 till godtyckligt varvtal?
- ⇒ Svar: _____
- Ange slutligen en komplett formel för att räkna ut elektromotorisk kraft, E och motormoment T som en funktion av varvtal och ström. Uttryck magnetiseringskurvan för ω_0 som en funktion av fältström I_f , d.v.s. $E_0(I_f)$ och ta med inverkan av armaturström I_a i uttrycket.

Tips: Antag att $I_{f,eff} = I_f - k_{AR}I_a^2$ som i Uppgift 7.15 i kursboken.

- ⇒ Svar: $E =$ _____
 Svar: $T =$ _____

Förluster och effektivitet

- Antag att friktionsmomentet är oberoende av varvtal så länge som varvtalet är skilt från noll, d.v.s. $T_{fric} = \text{sign}(\omega)k_{fric}$ då $\omega \neq 0$. Skriv ett uttryck för förlorad effekt p.g.a. friktion.

- ⇒ Svar: $P_{fric}(\omega, T) =$ _____

- Antag att vi inte har några förluster på grund av ommagnetisering utan att de enda förlusterna är friktionsförluster och förluster p.g.a. värmeutveckling i lindningarna. Skriv upp ett uttryck för den totala effektförlusten. Använd uttrycket för elektromotorisk kraft som togs fram under rubriken **Inverkan av icke ideala faktorer** ovan.

- ⇒ Svar: $P_{loss}(\omega, T) =$ _____

- Använd nu uttrycket för förlusteffekt ovan för att uttrycka effektiviteten hos motorn

- ⇒ Svar: $\eta(\omega, T) =$ _____

Ekvivalent modell för Kompoundmotor (*long shunt*)

- Antag magnetiseringskurvan för shuntmärkvarvtalet ω_0 är känd och kalla funktionen $E_0(I_f)$. Antag att vi kan använda $I_{eq} = I_f + \frac{N_s}{N_f} I_a$ istället för I_f när vi kompoundkopplar motorn. Ange p.s.s. som under rubriken **Inverkan av icke ideala faktorer** ovan en komplett formel för att räkna ut elektromotoriska kraften E och motormomentet T som en funktion av varvtal och strömmarna I_a och I_f . Ta med inverkan av armaturström I_a i uttrycket för magnetiseringskurvan.

Tips: Inverkan av armaturström minskar fältet givet en viss magnetomotorisk kraft som ju uppkommer tack vare fältströmmarna $I_s = I_a$ och I_f och kan alltså räknas bort från den ekvivalenta fältströmmen I_{eq} .

⇒ Svar: E= _____
Svar: T= _____

3 Uppgifter för hemarbete

- Anpassa ett polynom, typ ordning 5-7 till datat för magnetiseringskurvan ni tagit upp i Avsnitt 1.5. Ett tips för Matlab-ovana är att plotta datat i en figur och använda menyn Tools->Basic Fitting.
- Använd polynomet för att plotta en magnetiseringskurva i ett lämpligt intervall. Notera att polynom Anpassning med höga ordningstal oftast stämmer dåligt utanför mätområdet. Syftet med polynom Anpassningen är endast att få en referenskurva att jämföra data från övriga mätpunkter med.
- Plotta mätpunkterna för magnetiseringskurvan som mättes upp under Avsnitt 1.5 som kryss eller andra symboler i samma figur som polynomet.
- Räkna om mätpunkterna från Avsnitt 1.2 och plotta med annan symbol/färg i samma figur samt lägg till en legend som talar om vilken mätning som är vilken i figuren.
- Plotta effektiviteten som funktion av varvtal för de olika inkopplingsalternativen i uppgifterna ovan, gärna i samma figur.

Extrauppgifter (obligatorisk för Doktorander)

- Antag att polynomet ni anpassat till magnetiseringskurvan är en sann beskrivning av verkligheten och använd de tre övriga mätserierna från labben för att skatta parametrarna K_f , k_{AR} samt $\frac{N_s}{N_f}$.
- Plotta i samma figur följande:
 1. Det till magnetiseringskurvan anpassade polynomet
 2. Mätpunkterna för magnetiseringskurvan som mättes upp under Avsnitt 1.5 som kryss eller andra symboler i samma figur som polynomet.
 3. De till $I_{eq}/I_{f,eff}$ omräknade mätpunkterna från Avsnitt 1.2, 1.3 och 1.4. Tanken är alltså att utvärdera hur väl magnetiseringskurvan tillsammans med modellerna kan förklara mätdata.
 4. En legend som talar om vilken mätserie som hör ihop med vilken symbol