

# Projektdirektiv Laboration 1

## Elektromekaniska omvandlingsprinciper

Per Öberg

15 oktober 2010

### 1 Översikt – Målsättning

Tanken med laborationsmomentet är att öva förståelsen för grundläggande motorprinciper. Detta ska ske genom att en egen likströmsmotor konstrueras och analyseras. De tillgängliga komponenter som finns får kombineras ihop efter egna principer. Man får möjlighet att konstruera en seriemagnetiserad, separatmagnetiserad och shuntmagnetiserad likströmsmotor. Man kan dessutom välja mellan att konstruera en två- eller fyrpolig motor.

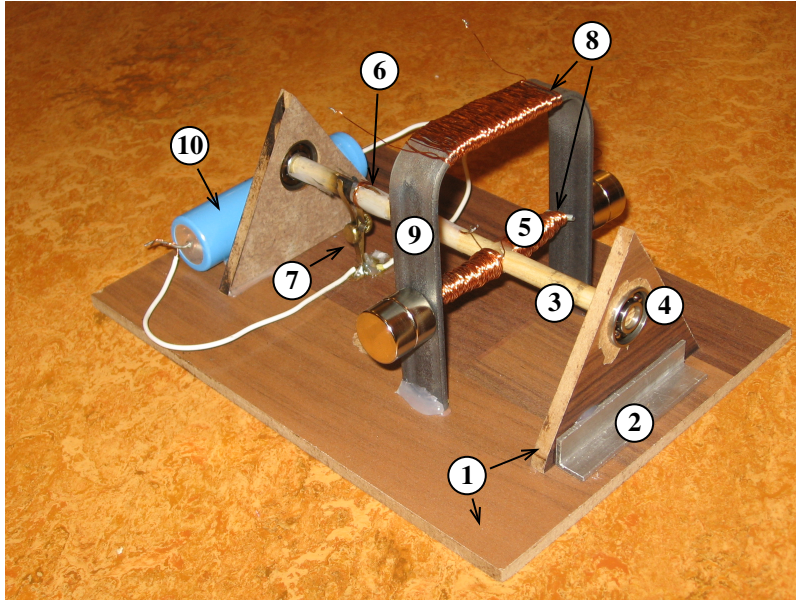
**En viktig poäng med laborationen är att de reflektioner och slutsatser man drar dokumenteras så att resultatet kan diskuteras.**

### 2 Utrustning

Den utrustning som finns tillgänglig för experimenten är

- Mätutrustning
  - Oscilloscop
  - Multimeter
  - Mät dator med mätkort
  - Spänningsaggregat
- Verktyg
  - Lödkolv
  - Limpistol
  - Tänger
- Konstruktionsutrustning (Numrering enl. Figur 1)
  1. MDF skiva till bottenplatta och axelhållare
  2. Aluminiumprofil till att hålla fast axelhållare
  3. Träpinne, 8mm, till motoraxel
  4. Kullager till motoraxel
  5. Skruv och säkerhetsmutter, 4mm, till rotor
  6. Kopplingstråd 0.8mm till kommutator och inkoppling

7. Nit 50mm till kommutator
8. 60m emaljerad koppartråd, 0.4mm, till stator och rotorlindning.
9. U-formad järnkärna till stator
10. Kondensator, 1000 $\mu$ F, för stabilisering av spänning från spänningsaggregat
11. Eltejp för att hålla fast kommutatortråden



Figur 1: Färdig motorkonstruktion. Notera att motorn på bilden även går att köra som permanentmagnetiserad. Notera även att motorn på bilden inte stämmer till 100% med konstruktionen som beskrivs. Det är främst kondensatorn som ser annorlunda ut, men också clipsen till kommutatorn och placeringen av kommutatorn som är förändrat.

### 3 Montering

Här följer en monteringsanvisning. **Det är tillåtet att hitta på egna lösningar men det är viktigt att utföra vissa av momenten i rätt ordning så läs gärna igenom hela anvisningen innan ni börjar.**

#### 3.1 Hållare till motoraxel

De triangelformade MDF-bitarna kan användas som axelhållare. Se Figur 1 nr 1.

1. Limma fast varsitt vinkeljärn i aluminium på de båda hållarna. Notera att hålet sitter asymmetriskt på skivorna och ska vara uppåt. Detta för att rotoraxeln skall få rätt höjd.

#### 3.2 Motoraxel

1. Börja med att sätta ihop motoraxeln genom att trä på kullager i de två ändarna. Se Figur 1 nr 4.

**Tips:** Peta gärna bort de färgade kullagerskydden med en nål så att friktionen i kullagren minimeras. På så sätt kan man också få in lite olja om det skulle behövas.

2. Skruva sedan i skruven som rotorlindningen skall lindas på. Doppa änden på skruven i superlim eller håll lite superlim på den och skruva fast muttern. Försök att centrera skruven, lägg dock inte för mycket tid på det just nu eftersom det kommer att ges tillfälle för justering senare. **Det är dock viktigt att skruven hamnar i mitten så att det totala luftgapet kan minimeras.** Se Figur 1 nr 5.

3. Pressa fast motoraxeln i de triangelformade hållarna av MDF som i tidigare moment har limmats ihop med vinkeljärnen.

4. Ställ nu den upphängda motoraxeln på bottenplattan och försök att få till en uppställning där inget sitter i spänn.

Placera MDF-hållaren närmast rotordelen ganska nära kanten på bottenplattan. På så sätt blir det lite utrymme kvar på plattans andra sida för inkoppling av kondensator. Se Figur 1 nr 10.

5. Rita ut var på plattan axelhållarna skall stå men limma inte fast den riktigt ännu.
6. Axelhållarna skall senare limmas fast i de utritade positionerna, men först är det lämpligt att linda spolarna.

### 3.3 Lindning av Spolar

60m koppartråd är långt och det är lätt att det trasslar. Därför är det lämpligt att linda upp den längd man vill ha på en läskflaska eller dylikt. Använd t.ex. linjal för att mäta omkretsen för ett provvarv. Det är tillåtet att göra enkla geometriska approximationer så som att läskflaskan har stor diameter och därför att första varvet är lika långt som sista. Liknande antagaden går att göra för att uppskatta antalet varv på stator- och rotorlindningarna. Där är dock diametern mindre i förhållande till tjockleken på lindningen och därför kan det vara lämpligt att anta en medelradie när man räknar ut antalet varv.

Vid uppmätning av koppartråd till rotorlindningen är det viktigt att markera ut var hälften är med en tejpbit så att man enkelt kan linda rätt.

### 3.4 Stator och statorlindning

1. Använd det U-formade järnet som stator. Se Figur 1 nr 9.
2. Linda lite eltejp runt delen av kommutatorn som skall lindas med koppartråd. Detta är till för att inte koppartråden skall skadas av vassa kanter eller liknande.
3. Linda valfritt antal varv av era 60m koppartråd på den raka delen av statorjärnet. Tänk igenom valet med ledning av frågeställningarna under experimentdelen nedan. Se Figur 1 nr 8. För att slippa räkna antalet varv är det tillåtet att göra enkla geometriska antaganden enligt ovan.

4. Använd lödkolven för att förtena ändarna på lindningen så att ni får bra kontakt vid inkoppling.

**Se till att lödningen smälter emaljen ordentligt.** Fråga labbhandledaren om ni är osäkra.

5. Placera ut motoraxeln på de utritade positionerna.
6. Placera statorn stående över motoraxeln och böj eventuellt till den lite så att rotorn precis går fri när den roterar. Ju närmre statorn rotorn kommer när den står horisontellt desto mindre luftgap erhålls vilket är eftersträvarvärt. Tänk på att kraften, i princip, kan betraktas som proportionell mot luftgapet i kvadrat.

Det är viktigt att nu justera rotorns placering på motoraxeln och statorns form så att rotorn blir helt centrerad och att det totala luftgapet blir litet i minstäläget.

7. Märk ut var statorjärnet skall stå men vänta med att limma fast det i den positionen.

### 3.5 Rotorlindning

1. Börja med att linda upp er resterande koppartråd på läskflaskan och markera var mitten är med en tejpbit så som beskrivs ovan.
2. Linda lite eltejp runt rotorn för att skydda koppartråden på samma sätt som runt statorn.
3. Linda nu de båda rotorlindningshalvorna i **samma** riktning så att fälten förstärker varandra.

Börja i mitten på rotorn och linda fram och tillbaka på ena sidan tills dess att ni kommer till tejpbiten. Linda nu tråden diagonalt över motoraxeln och lindningsaxeln och fortsätt linda den andra sidan. Nedre pilen tillhörande nr 8 i Figur 1 pekar ut rotorlindningen.

**Tips:** När den första spolen är lindad, rotera axeln ett halvt varv och fortsätta linda den andra spolen på samma sätt så blir det åt rätt håll.

**Tips:** Linda så att avslutningen på spolen kommer nära axelns centrum, se dessutom till att spara några cm tråd för att ansluta till kommutatordelen.

4. För att konstruera kommutatorn skalas först 2 st ca 12cm långa bitar av den grövre kopplings-tråden med skaltången.
5. Använd de fyra hålen på motoraxeln för att fästa två helt raka bitar kopplingstråd. Tråden bör böjas och klippas till så att den går från ett hål nära änden till ett annat (valfritt) hål nära rotorlindningen. Tråden skall nästan gå igenom hela hålet men får inte sticka ut på andra sidan. Se Figur 1 nr 6.
6. Kläm till tråden så att den sitter bra av sig självt.
7. Stick därefter in tråden från spolen under den grövre kopplingstråden och vira några varv.
8. Löd ihop kopplingstråden med spoltråden på stället där ni virat.
9. Sätt en tejpbit några varv runt rotorn i vardera änden på kopplingstråden för att hindra tråden från att lossna när motorn roterar.
10. **Provmät** era kopplingar med multimetern för att se till att ni inte har några kortslutningar eller avbrott på fel ställen.

### 3.6 Fixering av rotoraxel och stator

1. Montera tillbaka axelhållarna på rotoraxeln och placera ut motoraxeln på de utritade positionerna. Limma sedan fast axelhållarna med smältlim.

**Tips:** Arbeta skyndsamt så att smältlimmet fäster bra och se samtidigt till att slutplaceringen blir bra genom att eventuellt justera positionen medan limmet fortfarande är varmt.

2. Placera statorjärnet över rotorn på de utmärkta positionerna och limma sedan fast det. Kontrollera att moteringen blev bra så att rotorn roterar fritt och att luftgapet är litet.

**Tips:** Detta är ett av de viktigare momenten för att få en bra motorkonstruktion så var noggranna.

### 3.7 Kommutator

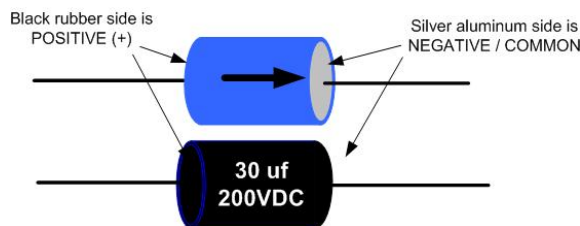
1. Böj ut en nit så att den bildar en 90°-vinkel. Se Figur 1 nr 7.
2. Löd fast en bit kopplingstråd i änden på niten.
3. Limma sedan fast niten på kopplingsplattan så att uppstickande delen hamnar någonstans mitt mellan tejpbitarna på axeln. Tanken med att placera kommutatorn mitt mellan tejpbitarna är att tejpjen inte skall smälta av värmen som skapas vid kommuteringen/polvändningen.

**Tips:** Försök limma niten så att den precis ligger an mot motoraxeln.

**Tips:** Placera limningen så nära 90°-vinkeln och motoraxeln så möjligt så får ni en styv kommutator som är lätt att böja till för optimal kontakt.

4. Det kan vara frestande att göra en böjd kommutator som har kontakt nästan halva varvet men då får man tänka på att det blir lite svårare att mäta på sin motor eftersom det blir mycket spikar om det skulle glappa lite.
5. Limma fast kondensatorn på kortsidan av plattan och anslut kopplingstråden från nitarna till kondensatorn genom att tvinna tråden runt kondensatorns anslutningstrådar.
6. Löd ihop kondensatorns anslutningar med kopplingstråden.

Tänk på att elektrolytkondensatorer måste anslutas med rätt polaritet när ni slutligen ansluter er elmotor till spänningsaggregatet. I Figur 2 finns en skiss som visar hur man bestämmer polariteten på en axiell kondensator.

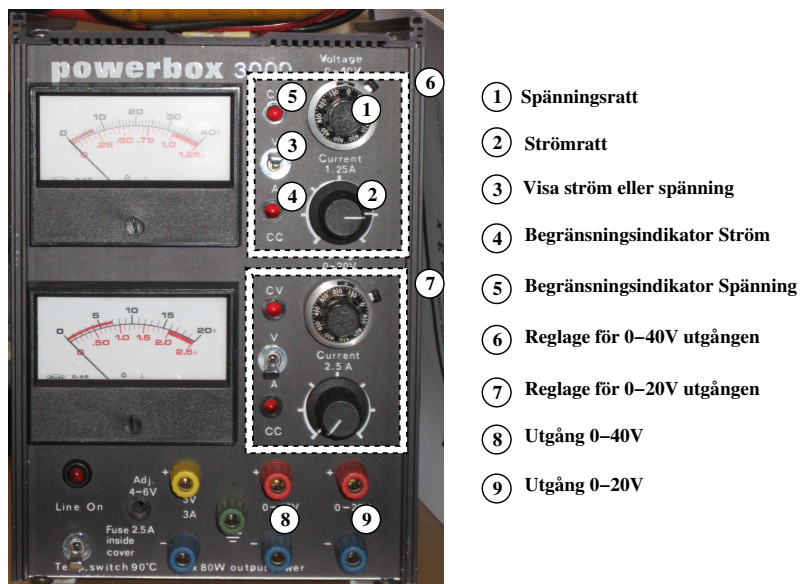


Figur 2: Polaritet på axiell kondensator. Lita inte på t.ex. längden på anslutningsbenen utan följ t.ex. pilens riktning för att hitta den negativa polen.

## 4 Spänningsaggregatet

Det spänningsaggregat ni har tillgängligt har två utgångar med varsin separat spänning och strömbegränsning. Se vidare Figur 3.

Notera att spänningsaggregatet har både spännings- och ström-begränsning, via rattarna 1 och 2, och att indikatorerna 5 och 4 visar vad det är som begränsar i det aktuella driftsfallet. Notera även att ström/spänningsväljaren 3 kan användas för att välja mellan att visa den aktuella strömmen eller den aktuella spänningen på visarinstrumentet. Spänningsratten är graderat i procent av max-spänning och strömratten är markerad med maxström i ändläget. För att veta om det är strömmen eller spänningen som hålls konstant kan man titta på de två indikatorerna och t.ex prova att ratta lite på rattarna för att se vad som händer.



Figur 3: Spänningsaggregatet har två separata utgångar med respektive spännings- och strömbegränsning. Notera att maximala spänningen och strömmen skiljer sig mellan de båda utgångarna på aggregatet. Ett tips är att vara noga med att ställa in aggregatet så att ni vet om ni har konstant ström eller konstant spänning. Vid körning av likströmsmotor är det lätt att ställa in så att varken strömmen eller spänningen hålls konstant vilket kan göra det svårt att se vad som verkligen händer.

## 5 Frågeställningar och lämpliga experiment

### Experiment

- Experimentera lite med statorlindningen

Spänningssätt statorlindningen och känn på momentet som fås när kretsen försöker minimera reluktansen. Var försiktig så att statorn inte blir för varm. Vid 1A hettas tråden upp ganska fort och vid ca 300°C smälter emaljen på koppartråden.

- Experimentera på motsvarande sätt lite med rotorlindningen

Spänningssätt kommutatordelen till rotorlindningen, gärna med den oanvända utgången på spänningsaggregatet. Känn på samma sätt som förut på momentet för olika vinklar.

- Tänk igenom hur det slutliga momentet kommer att se ut som funktion av vinkel

1. Försök först att **skissa** momentet som funktion av vinkel för ett helt varv.
2. Ställ upp formeln för moment  $T(\theta) = \frac{i^2}{2} \frac{dL_{ii}}{d\theta} + \dots$  och gör några enkla geometri-antaganden.
3. Plotta utan skala det moment som erhålls från formeln.
4. Vilket håll kommer din motor att rotera och varför?
5. Hur påverkas prestanda hos motorn av kommutatorns utseende?
6. Går det att ändra kommutatorn så att motorn kan rotera åt båda hållen och i så fall hur?

- Försök komma på ett sätt att mäta  $L_{ii}$  och R i kretsen.

- Koppla in motorn och provkör olika inkopplingsalternativ

- Prova t.ex. att koppla spolarna parallellt och serie samt prova mata dem med olika spänningar från de två källorna.
- Försök komma på en bra metod för att mäta hastigheten på motorn.

Till er hjälp finns dels ett oscilloskop, dels ett mätkort av typen National Instruments 6009 samt lite matlab-kod som går att ladda hem från kurswebsidan. Koppla gärna in oscilloskopet först så ni har något att jämföra med även om ni använder mätkortet, detta för att kunna utvärdera om mätkortet tillför något. För att starta en mätning i 10kHz som varar 10kSampel används t.ex.

```
> AI = analoginput('nidaq','Dev1');
> addchannel(AI,0);
> set(AI,'samplespertrigger',10e3);
> set(AI,'samplerate',10e3);
> start(AI);
> wait(AI,2);
> data=getdata(AI);
```

**För att analoginput skall fungera måste *Data Acquisition Toolbox* finnas tillgängligt.** Tyvärr är den toolboxen för nuvarande inte tillgänglig på laptop-licensen utan man måste köra Server-based software versionen av Matlab. Detta kräver dels ISY-logon (rödpluppat uttag), dels att man går in i start menyn under Program och klickar på *Server Based Software*. Först måste man dock logga in på nätet med en web-läsare, precis som med netlogon/wifi.

Koppla in mätkortet och oscilloskopet på något lämpligt sätt för att mäta frekvensen. Här är det viktigt att notera att mätkortet endast klarar 0-10V. Kör t.ex. den förberedda funktionen `sampleAndPlot` med kommandot

```
> sampleAndPlot(10e3)
```

Justera gärna parametrarna och funktionen efter eget huvud. I funktionen `sampleAndPlot` är det första argumentet, `sampleFreq`, samplingsfrekvensen. Om den inte specificeras sätts den automatiskt till max-frekvensen, dvs. 48kHz.

1. Varför blir det fler än en topp i frekvensdatat?
2. Vilken topp svarar mot motorvarvtalet?

Ett tips är att köra funktionen ett kort antal sekunder eller avbryta den i förtid för att zooma i datat och sedan själv räkna efter vilken frekvens som erhålles.

Den kod som finns tillgänglig, och som går att ladda ned från kurshemsidan, finns listad i slutet av dokumentet.

- Bromsa motorn försiktig med handen och studera vad som händer med strömförbrukning och varvtal
- Reflektera över skillnaderna i beteende mellan olika inkopplingsalternativ

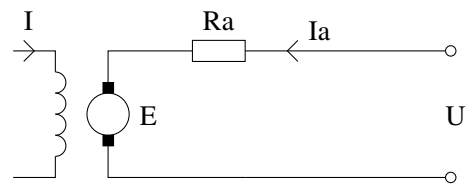
## Frågeställningar

- Antag att lindningarna matas med  $I = 1$  A. Ungefär hur stor blir  $B$ ,  $H$ ,  $\phi$  i respektive magnetisk krets?
- Ungefär hur stort är mätningsflödet i vanligt järn?
- Om man minskar arean på statorn där lindningen är lindad så räcker koppartråden fler varv och då ökar naturligtvis  $B$ . Samtidigt minskar arean  $A$  men vad händer med  $\phi$ ?
  - Finns det en optimal area?
  - Vilka andra avvägningar måste man göra?
- Koppartråden som används i labben har en diameter på 0.4mm. Ett enkelt test visar att den snabbt blir varm vid strömmar på 1 A. Om man minskar koppartrådens diameter så minskar strömmen som krävs för att värma upp den och därmed det flöde man kan få ut från ett varv. Samtidigt kan man linda spolen med fler varv vilket då ökar det totala magnetiska flödet igen.
  - Finns det ett optimum?
  - Förändras förhållandet mellan  $R$  och  $L$  i spolen?
  - Vilka andra avvägningar måste man göra?
- Hur bör lindningen fördelas mellan stator och rotor?
- Vid parallell eller separatmagnetisering, hur bör strömen fördelas mellan olika lindningar?
- I t.ex. Franzén Lundgren, som finns att låna hos Per, finns på sid 106 en varvtalsformel för separatmagnetiserade likströmsmotorer  $n = \frac{U - I_a \sum R_a}{k_1 \phi}$ . Formeln har härletts med hjälp av en modellskiss av samma typ som i Figur 4. Enligt den formeln skall motorns varvtal minska med det magnetiska flödet. Ställ upp ett experiment och avgör om så är fallet för er motor. Förklara resultatet!

*Not: Kursledningen är själva osäkra på resultatet. Uppgift 7.1 och Figur 7.14 i kursboken kan koppla till denna frågeställning.*

- Beskriv hur man kan styra varvtalet hos en likströmsmotor för olika inkopplingar.





Figur 4: Skiss över motormodell. Den inducerade emk'n är  $E = k_1\phi N$ , där  $\phi$  är det magnetiska flödet,  $k_1$  en konstant och  $N$  är varvtalet på motorn.

## 6 Matlab-kod

### sampleAndPlot.m

```
function sampleAndPlot(sampleFreq)
%Cleanup
global figHandle
global AI

% Init
if nargin < 1
    sampleFreq = 48e3;
end
if isempty(AI)
    AI = analoginput('nidaq','Dev1');
    addchannel(AI,0);
    set(AI,'samplespertrigger',sampleFreq);
    set(AI,'samplerate',sampleFreq);
else
    set(AI,'samplespertrigger',sampleFreq);
    set(AI,'samplerate',sampleFreq);
end

% Sample
start(AI);
wait(AI,2);
data=getdata(AI);

% Calc

% Fourier transform
xdata1 = ((1:length(data))-length(data)/2)/length(data)*sampleFreq-1;
theFFT=fftshift((fft(data-mean(data)))));
theAngles=angle(theFFT);
theFFT = abs(theFFT);
theFFT=theFFT/max(theFFT);
ydata1 = theFFT;

% Plot
if isempty(figHandle)
    figHandle = figure();
else
    figure(figHandle)
end
% Plot Fourier transform
subplot(2,1,1)
h2 = plot(xdata1,ydata1);
title('Fourier transform')
grid on;
axis([0 200 0 1]);
xlabel('f [Hz]')
ylabel('FFT Relative ampliude [-]')
```

```
% Plot raw-data
subplot(2,1,2)
h3 = plot((1:length(data))-1/sampleFreq,data);
xlabel('Time [s]')
ylabel('Electrical potential [V]')
title('Raw data in Volts')
grid on;
```