

Laboration 3

Växelströmsmotorn

Per Öberg

14 december 2010

Översikt – Målsättning

Tanken är att man efter laborationsmomentet skall

- Kunna koppla in och styra en trefas asynkronmaskin.
- Förstå och tillämpa skillnaden mellan Y/D kopplade lindningar.
- Utföra skattning av parametrar för modell av asynkronmotorn.
- Använda en frekvensomriktare för att köra en asynkronmotor, i labben av typen Danfoss VLT 3000.
- Känna till hur infasning och körning av en trefas synkronmaskin går till i praktiken.

Detta ska ske genom att en asynkronmotor med omkopplingsbara lindningar kopplas upp och analyseras samt genom att en större trefas synkronmaskin, med hjälp av assistenten, kopplas in och fasas in till elnätet. **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 ihoplämnade rapporten skall innehålla

- Ifyllt LabbPM med lösta förberedelseuppgifter
- Några sidor där lösningen av och till hemuppgifterna dokumenteras och diskuteras.

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.

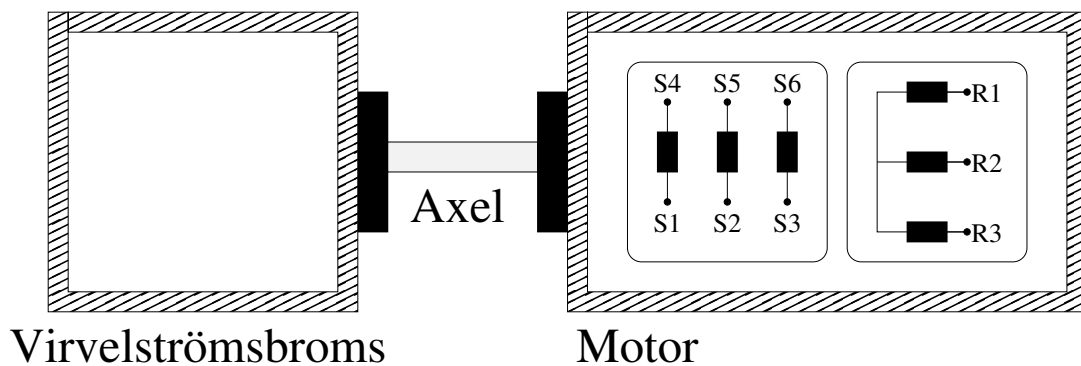
Genomförande

I labbsalen finns 4 st fasta arbetsplatser med diverse mätinstrument och motorer. Utöver detta finns 3 arbetsplatser med olika specialkopplingar (synkrongenerator, motor med varierbart poltal samt asynkronmotor med frekvensriktare). Tanken är att man skall ha en av de 4 fasta arbetsplatserna som bas men någon gång under labben lämna denna för att genomföra momenten på de 3 arbetsplatserna med specialkopplingar. Det kan vara lämpligt att köra synkrongeneratorn gemensamt hela gruppen men att de övriga momenten genomförs gruppindelvis. Ett bokningsschema eller liknande kommer att upprättas under laborationen. Vidare finns det ett moment som kräver inkoppling av en trefas rotorpådragsresistans av vilken det bara finns ett exemplar som alltså får delas mellan arbetsplatserna.

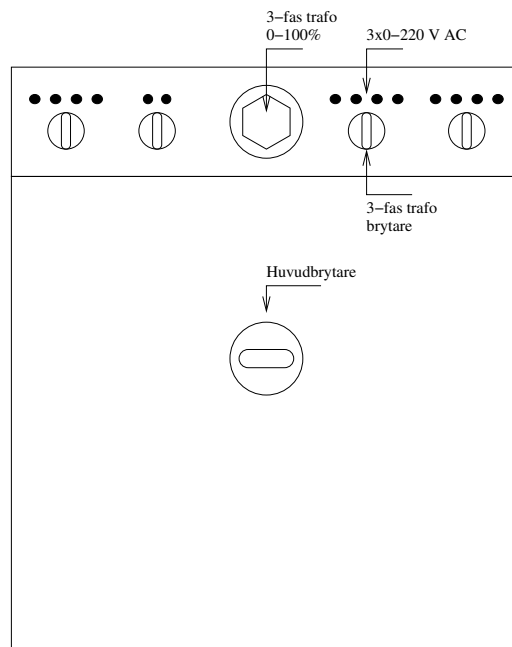
Utrustning

Den utrustning som finns tillgänglig för experimenten är

- Motorutrustningen, bestående av
 - En släpningad asynkronmaskin med omkopplingsbara lindningar mekaniskt kopplad till en virvelströmsbroms. Se vidare Figur 1.
 - En färdiguppkopplad asynkronmotor med varierbart poltal även den mekaniskt kopplad till en virvelströmsbroms.
 - En frekvensriktare kopplad till en asynkronmotor av samma typ som ovan.
 - En synkrogenerator, även den färdigkopplad
- Ett trefas rotorpådragsmotstånd.
- Mät/Styr-utrustning
 - Virvelströmsbroms med
 - * Momentmätare
 - * Varvtalsmätare
 - * Bromsmomentstyrning
 - 3-fas växelströmskälla, se vidare Figur 2
 - Två wattmetrar för att mäta spänning och ström alternativt aktiv och reaktiv effekt med hjälp av tvåwattmetermetoden, se vidare Figur 4.
 - Fluke Scope-meter (ett digitalt oscilloskop), se Figur 3



Figur 1: 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.

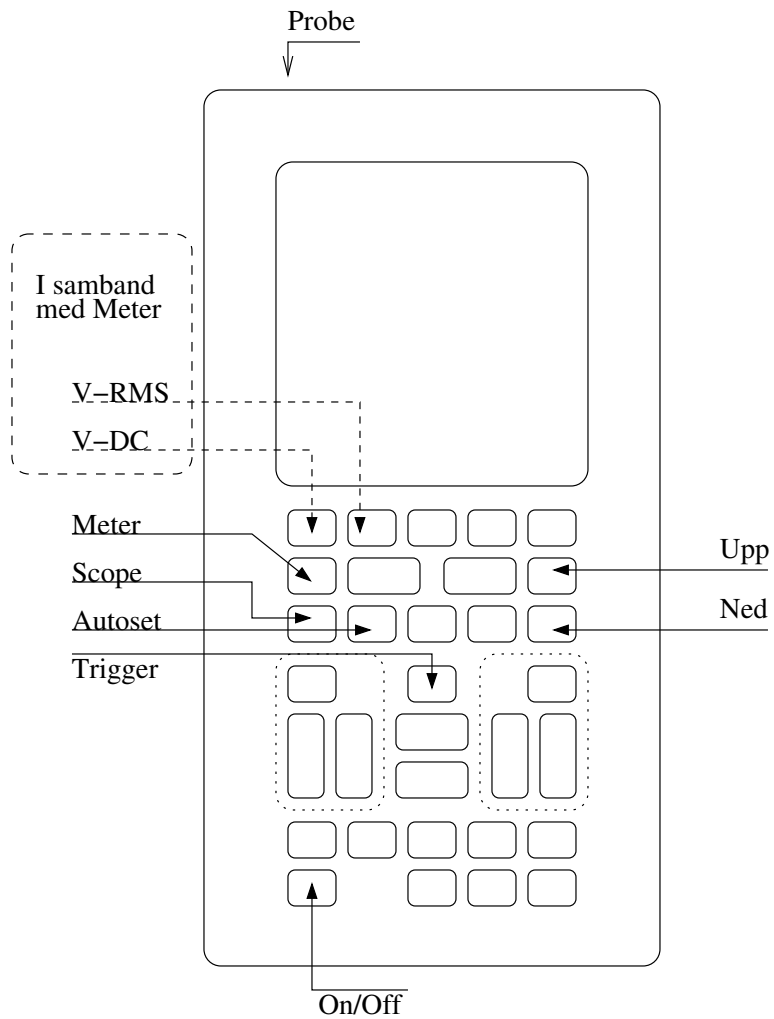


Figur 2: Översikt av Terco Power Pack. I de experiment som skall utföras skall utgången märkt 3x0-220V AC användas. För att få ut en variabel spänning på utgången måste både *huvudbrytaren* och *3-fas transformatorbrytaren* vara påslagna. Dessutom måste ställdonet till 3-fas transformatorn ställas i 0-läge för att återställa startspärren. Sedan justeras spänningen med 3-fas transformatorns ställdon.

1 Kort handledning till Scope-meter

En översiktsfigur av scope-metern finns in Figur 3. 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 medelvärde, VDC, på de blå knapparna direkt under displayen.



Figur 3: 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.

2 Kort handledning till tvåwattmetermetoden

En översiktsfigur av en tvåwattmeteruppkoppling finns i Figur 4. Nedan följer en kort beskrivning av mätförfarandet och teorin bakom.

Till att börja med så är finessen med tvåwattmetermetoden att man enkelt kan mäta både aktiv och reaktiv effekt hos en *balanserad* trefasbelastning som matas från ett *symmetrisk* trefassystem med hjälp av endast två wattmetrar. En wattmeter mäter effekt enligt följande

$$P = \bar{U}\bar{I} \cos(\Delta\varphi) \quad (1)$$

där $\Delta\varphi$ är skillnaden i fasvinkel mellan spänning, U , och ström, I . Här representerar \bar{U} och \bar{I} effektivvärden. Effekten P mäts genom att medelvärdesbilda den momentana effekten

$$p(t) = u_1 i_1 + u_2 i_2 + u_3 i_3 \quad (2)$$

Med balanserad last så gäller att $i_1 + i_2 + i_3 = 0$ vilket ger

$$p(t) = (u_1 - u_2)i_1 + (u_3 - u_2)i_3 + u_2(i_1 + i_2 + i_3) \quad (3)$$

och således kan man med hjälp av två wattmetrar som mäter $P_I = \frac{1}{T} \int_0^T (u_1 - u_2) i_1 dt$ och $P_{II} = \frac{1}{T} \int_0^T (u_3 - u_2) i_3 dt$ mäta den totala effekten enligt

$$P_{3\text{-fas}} = P_I + P_{II} \quad (4)$$

Detta går även att visa på ett annat sätt som dessutom har fördelen att ge ett uttryck för den reaktiva effekten. För ett symmetriskt trefassystem med en induktiv eller kapacitiv last med positiv fasvinkelskillnad $\Delta\varphi$ för induktiv last och u_1 som vinkelreferens gäller att

$$\begin{aligned} u_1 &= \hat{U} \cos(\omega t) & i_1 &= \hat{I} \cos(\omega t + \Delta\varphi) \\ u_2 &= \hat{U} \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) & i_2 &= \hat{I} \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3} + \Delta\varphi) \\ u_3 &= \hat{U} \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & i_3 &= \hat{I} \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3} + \Delta\varphi) \end{aligned} \quad (5)$$

vilket ger

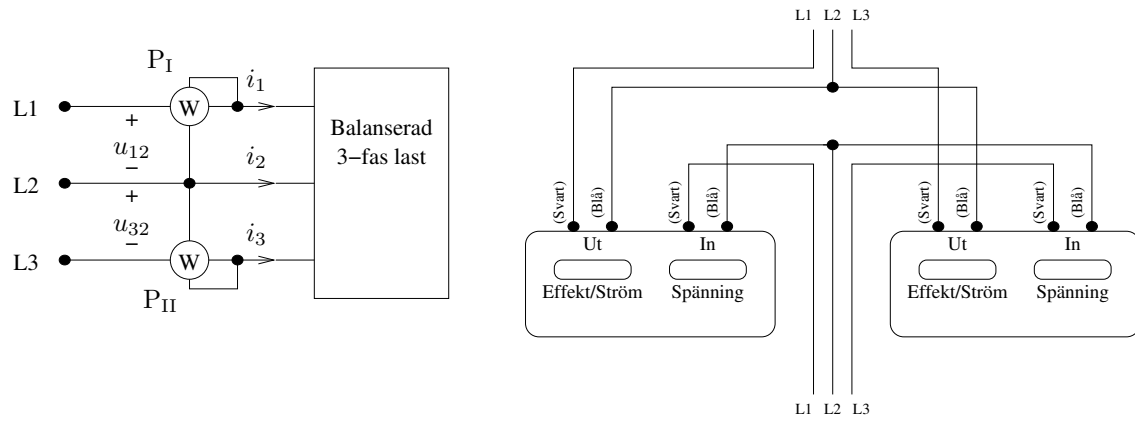
$$\begin{aligned} P_I &= \frac{1}{T} \int_0^T \hat{U} \left(\cos(\omega t) - \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \right) \hat{I} \cos(\omega t - \Delta\varphi) dt = \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T \hat{U} \left(\sqrt{3} \cos(\omega t - \frac{\pi}{6}) \right) \hat{I} \cos(\omega t - \Delta\varphi) dt = \bar{U}_{12} \bar{I}_1 \cos(\Delta\varphi + \frac{\pi}{6}) \\ P_{II} &= \frac{1}{T} \int_0^T \hat{U} \left(\cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) - \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \right) \hat{I} \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3} - \Delta\varphi) dt = \\ &= \bar{U}_{32} \bar{I}_3 \cos(\Delta\varphi - \frac{\pi}{6}) \end{aligned}$$

Här har sinusformade spänningar och strömmar antagits men eftersom godtycklig vågform kan erhållas med hjälp av fouriersummor av sinusvågor så inses lätt att resultatet även gäller godtyckliga vågformer. Slutligen fås nu följande samband

$$P_I + P_{II} = \sqrt{3} \bar{U} \bar{I} \left(\cos(\Delta\varphi + \frac{\pi}{6}) + \cos(\Delta\varphi - \frac{\pi}{6}) \right) = 3 \bar{U} \bar{I} \cos(\Delta\varphi) = P_{3\text{-fas}} \quad (6)$$

$$P_I - P_{II} = \sqrt{3} \bar{U} \bar{I} \left(\cos(\Delta\varphi + \frac{\pi}{6}) - \cos(\Delta\varphi - \frac{\pi}{6}) \right) = \sqrt{3} \bar{U} \bar{I} \sin(\Delta\varphi) = \frac{Q_{3\text{-fas}}}{\sqrt{3}} \quad (7)$$

vilket sammanfattar tvåwattmetermetoden.



Figur 4: Översikt av tvåwattmetermetoden. Till vänster finns ett kretsschema för uppkopplingen och till höger en skiss som beskriver uppkoppling med hjälp av de wattmetrar som finns i labbet. Det är viktigt att lasten är balanserad och att trefassystemet är symmetriskt för att metoden skall fungera.

3 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: _____

3.1 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	:	_____

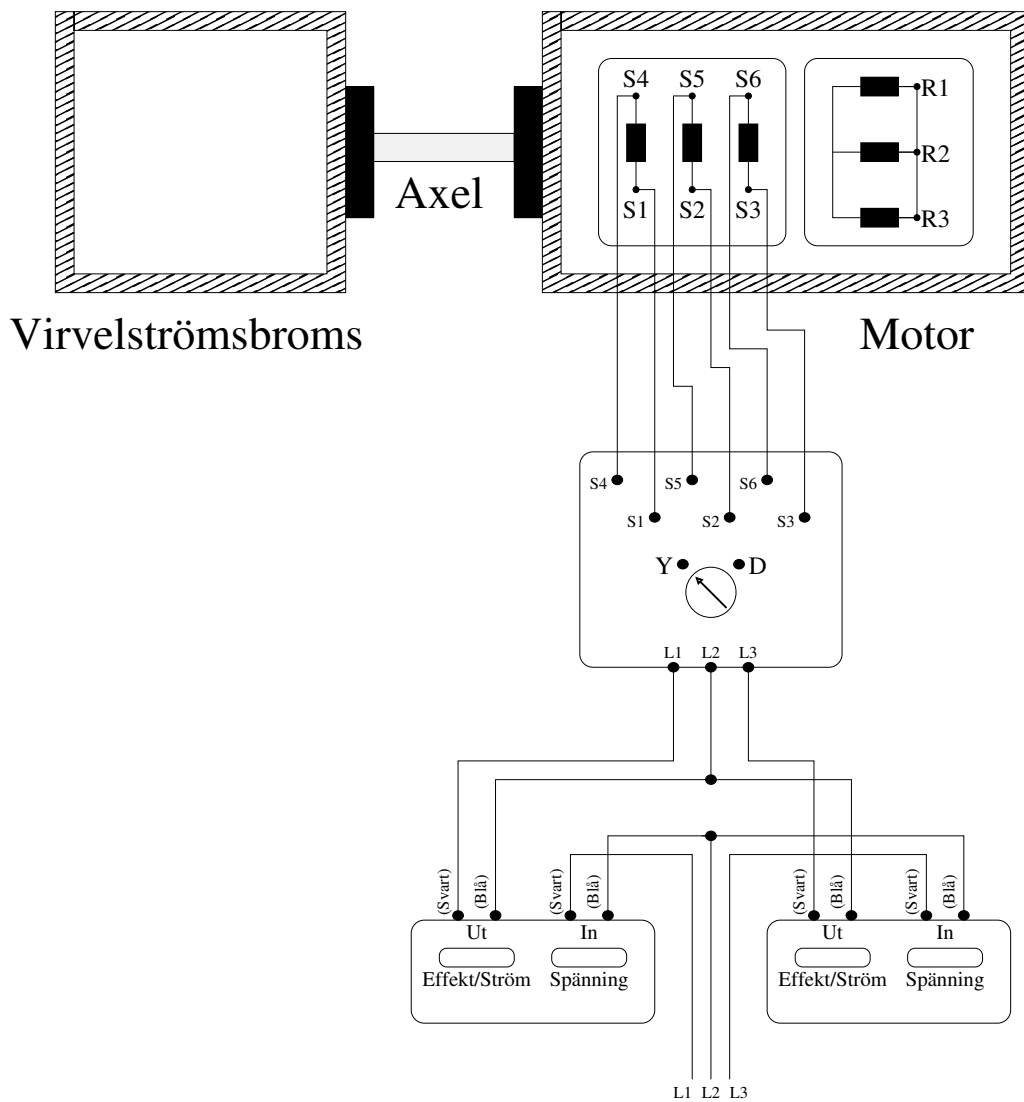
3.2 Asynkronmotorns momentkurva

I den här uppgiften skall ni

- Mäta moment, T , varvtal, N/ω 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 5 nedan. **Se till att lindningarna är D-kopplade.**
- Spänningen 0-220V tas från golvtransformatorn som finns beskriven i Figur 2.



Figur 5: Grundkopplingsschema för asynkrommotorn. Spänning 3 x 0-220V tas från golvtransformatorn som finns beskriven i Figur 2. Notera att rotorn är kortsluten.

Experiment

- Stäng av virvelströmsbromsen helt genom att slå av den på knappen.
- Starta golvtransformatorn genom att slå till huvudbrytaren och 3-fas transformatorbrytaren 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 huvudspänningen $U_H = 50$ V avläses på wattmetrarna och knuffa i gång motorn om den inte startar av sig självt. 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 mot bromsen. Skulle den rotera åt andra hållet får man stänga av allt och koppla om två faser. När motorn börjat varva upp så ökas annars spänningen till märkspänningen för den aktuella kopplingen.
- När motorn har varvat upp och är lite *varmkörd* så är det dags att mäta. Nollställ momentvisningen på virvelströmsbromsen med hjälp av vridreglaget på bromsens styrenhet.
- Gör mätningar för olika belastningar genom att först öka lasten tills märkström erhålls. Alternativt kan man öka bromsmomentet ytterligare något men se till att inte överskrida märkströmmen annat än kortvarigt. Minska sedan successivt lasten under mätserien. Skriv slutligen upp mätpunkterna i tabellen nedan. Tänk på att motorn är instabil till "Vänster" om maxmomentet och att det därför inte går att mäta upp den delen av kurvan med metoden som används.

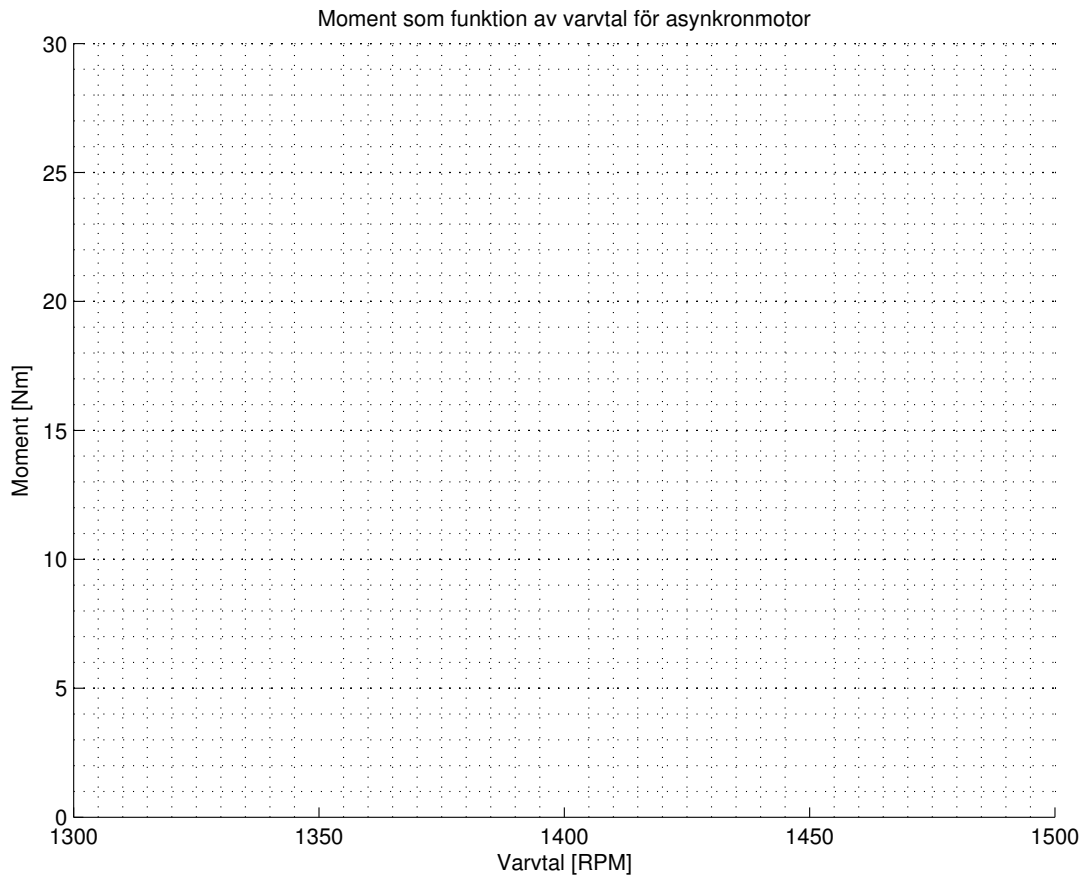
Fasspänning, U_F [V]	Varvtal, N [RPM]	Moment, T [Nm]	Linjeström, I_L [A]
⇒			

- Stäng av motorn genom att vrida ned belastningen och därefter transformatorns spänning. Stäng slutligen av **huvudspänningen** till transformatorn.
- Rita in värdena från tabellen ovan i Figur 6 på sidan 11.

3.3 Tomgångsprov

Tomgångsprovet används för att skatta friktionsförlusterna, och magnetiseringsströmmen. Eftersom motorn går med litet slip blir $\frac{R_2}{s}$ stort och nästan all ström som går i kretsen går genom grenen med X_m . Mätningen skall göras när motorn är varmkörd och lagren är smorda. För att förenkla räkningarna är det lämpligt att Y-koppla motorn.

- Använd samma uppkoppling som i Avsnitt 3.2 men Y-koppla statorlindningarna.
- Starta motorn på samma sätt som tidigare, men öka nu start-spänningen från 50V till $U_H = \sqrt{3} \cdot 50 \approx 90$ V vilket motsvar samma spänning som tidigare fast för den Y-kopplade lasten.
- Eftersom det inte går att komma upp i märkspänning, dvs 380 V, för det Y-kopplade fallet så får vi nöja oss med det som utrustningen kan ge. Det viktiga är att slippet är litet, dvs att varvtalet ligger nära det synkrona varvtalet. Vrid därför upp spänningen till max och invänta stationäritet.



Figur 6: Varvtalskaraktäristik för asynkronmotorn.

- När motorn går stationärt så utförs mätningarna. Fyll i mätvärdena i tabellen nedan. Lämna fälten med resistans för rotor och stator så länge.

	Storhet	Mätvärde	Enhet
	Fasspänning $U_F = \frac{U_H}{\sqrt{3}}$		[V]
	Linjeströmmar $I_{L,i}$,	[A]
	Effektkomponent P_I		
	Effektkomponent P_{II}		
⇒	Aktiv Effekt $P_{3\text{-fas}}$		[W]
	Reaktiv Effekt $Q_{3\text{-fas}}$		[VAr]
	Skenbar Effekt $S_{3\text{-fas}}$		[VA]
	Varvtal N		[RPM]
	Rotor-resistans R_2		[Ω]
	Stator-resistans R_1		[Ω]

- Kontrollräkna effekter och ström/spänningar så att resultatet är konsistent, dvs att $P = U_F I_L \cos(\varphi)$. Är avvikelserna allt för stora så indikerar det att något är fel med mätningen.

⇒ Mätningarna är konsistenta:

- Räkna ut rotationsförlusterna $P_{\text{rot}} = P_{\text{nl}} - n_{\text{ph}} I_1^2$ och motsvarande friktionsmoment $T_{\text{fric},s}$ vid det synkrona varvtalet.

⇒ Svar: $P_{\text{rot}} =$ _____
 Svar: $T_{\text{fric},s} =$ _____

- Stäng av motorn genom att vrida ned transformatorns spänning och stäng av **huvudspänningen** till transformatorn.
- Koppla lös anslutningarna till stator- och rotorlindningarna och använd en vanlig multimeter för att mäta upp resistanserna hos lindningarna. Tänk på att resistansen är låg och att kablarna därför kan inverka på resultatet. Notera även att rotorn är Y-kopplad och att det därför endast går att mäta över lindningarna två och två. Fyll i resultatet i tabellen ovan.
- Hur stor var resistansen i mätkablarna och vilken noggrannhet kan man vänta sig av multimetern i det aktuella mätområdet?

⇒ Svar: _____

3.4 Prov med låst rotor

Prov med låst rotor används tillsammans med tomgångsprovet för att skatta läckimpedanserna X_1 och X_2 . När rotorn är fastlåst så är slippet $s = 1$. Eftersom det är svårt att ändra frekvensen vid labb-bänkarna så ska testet utföras med normal frekvens och vid den spänning som ger märkström.

- Använd samma uppkoppling som i Avsnitt 3.2 men Y-koppla statorlindningarna.
- Börja med att öka spänningen till $U_H = \sqrt{3} \cdot 50 \approx 90$ V vilket användes som startspänning i föregående mätning. Håll fast rotorn och öka spänningen ytterligare tills dess att märkström flyter i statorlindningarna.
- Fyll i mätvärdena i tabellen nedan. Lämna fälten med resistans för rotor och stator så länge.

	Storhet	Mätvärde	Enhet
⇒ Fasspänning	$U_F = \frac{U_H}{\sqrt{3}}$		[V]
Linjeströmmar	$I_{L,i}$,	[A]
⇒ Effektkomponent	P_I		
Effektkomponent	P_{II}		
Aktiv Effekt	$P_{3\text{-fas}}$		[W]
Reaktiv Effekt	$Q_{3\text{-fas}}$		[VAr]
Skenbar Effekt	$S_{3\text{-fas}}$		[VA]

- Kontrollräkna effekter och ström/spänningar så att resultatet är konsistent, dvs att $P = U_F I_L \cos(\varphi)$. Är avvikelserna allt för stora så indikerar det att något är fel med mätningen.

⇒ Mätningarna är konsistenta:

3.5 Omsättningsprov

- Koppla lös rotorns kortslutningar och koppla in Scopemetern mellan t.ex. R1-R2 på rotorn. Se till att inga kablar blir löst hängande när ni kopplat färdigt. Använd i övrigt samma uppkoppling som i Avsnitt 3.2 fast med Y-kopplad rotor.
- Använd golvtransformatorn för att ställa in olika huvudspänningar $U_H \in]0 - 380]$ V och mät upp spänningen över rotorn. Anteckna resultatet i tabellen nedan. Det är normalt att motorn brummar för de högre spänningarna.

Huvudspänning, U_H [V]	Rotorspänning, U_{R1-R2} [V]	Omsättning [-]
⇒		

- Använd omsättningsprovet för att räkna ut R'_2 , dvs R_2 mätt över rotorn omräknat till statorsidan av den tänkta transformatorn som länkar statorn och rotorn. Vi ska sedan jämföra detta värde med det som erhålls vid skattning från tomgångsprovet och provet med låst rotor.

⇒ Svar: _____

3.6 Körning med pådragsmotstånd

Enligt momentformeln så kan slippet, 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 i den här uppgiften använda ett pådragsmotstånd för att undersöka sambandet.

- Använd samma uppkoppling som för mätningarna i Avsnitt 3.2 men D-koppla statorn och koppla in pådragsresistansen till rotorn. Notera att pådragsresistansen har ett antal distinkta steg och att man kan se vilken pol som är ansluten genom att kika in i lufthålen.

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 ju högre resistans som används desto mer effekt utvecklas. Tänk också på att övervaka strömmen så att märkström inte överskrids.

- Mät upp resistansen för de tre stegen med minst resistans hos rotorpådraget, hoppa över det med noll resistans. Fyll i värdena i tabellen nedan.
- Stäng av virvelströmsbromsen, ställ resistansen i max-läge och starta motorn genom att vrida upp spänningen till märkspänning. 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.
- Slå nu på virvelströmsbromsen och vrid upp pådragsresistansen till sitt första noll-skilda läge. Ställ in bromsen så att den bromsar med ca 4-5 Nm, försök sedan att använda samma moment för alla mätpunkter. Läs av varvtal och moment samt fyll i tabellen nedan.
- Öka pådragsresistansen och justera bromsen till samma moment som förut. Läs återigen av värdena och fyll i tabellen. Gör om proceduren för det tredje steget och vrid sedan av rotorresistansen samt bromsen.

Moment [Nm]	Varvtal [RPM]	Slip $s = \frac{N-N_s}{N_s}$ [-]	R_{ext} [Ω]	Förhållande $\frac{s}{R_2+R_{\text{ext}}}$ [-]

- Räkna ut de ej mätta storheterna i tabellen. Använd det R_2 som mättes på rotorn vid tomgångsprovet i Avsnitt 3.3 för beräkningarna.
 - Är förhållandet konstant? Om inte, vad kan det bero på?
- ⇒ Svar: _____

3.7 Motorstyrning med frekvensomriktare

Genom utvecklingen av styrelektronik så har hastighetsreglering med hjälp av frekvensändring blivit en allt mer använd reglermetod. Den har fördelen att fungera för både släpningade och burlindade motorer samt att inte kräva några extra hårdvarukomponenter i motorn. Fler fördelar med frekvensriktare är att man kan övervaka motordriften och automatiskt slå av spänningen om märkvärden överskrids på ett farligt sätt.

Frekvensriktarens funktionssätt

Som bekant så arbetar en asynkronmotor ineffektivt för stora slip. Det är därför önskvärt att ändra det synkrona varvtalet genom att ändra frekvensen på matningsspänningen så att önskat varvtal och moment erhålls.

En maskin är oftast dimensionerad för ett visst maxmoment samt en viss effekt. Därför är det naturligt att inte tillåta högre maxmoment än för den synkrona märkfrekvensen. Av samma skäl är det naturligt att inte tillåta högre effekt än vad som erhålls för märkdata.

Formeln för maximalt moment från föreläsninganteckningarna kan skrivas om enligt följande

$$T = \left(\frac{V_{1,\text{eq}}}{\omega_s} \right)^2 \left[\frac{n_{\text{ph}}}{2 \underbrace{\left(\frac{R_{1,\text{eq}}}{\omega_s} + \sqrt{\left(\frac{R_{1,\text{eq}}}{\omega_s} \right)^2 + \left(\frac{X_{1,\text{eq}} + X_2}{\omega_s} \right)^2} \right)}_A} \right] \quad (8)$$

där det synkrona varvtalet ω_s har flyttats in i ekvationerna. Eftersom $R_{1,\text{eq}} \ll X_{1,\text{eq}} + X_2$ och X_2 är frekvensberoende så ändras faktorn A endast lite när det synkrona varvtalet ändras. För frekvenser under märkfrekvensen är det för att bibehålla ett visst max-moment vid ändring av varvtalet nödvändigt att spänningen ändras så att $\frac{V_{1,\text{eq}}}{\omega_s}$ hålls konstant. Vid frekvenser över märkfrekvensen är det istället effekten som begränsar och därför tillåts inte högre spänning än märkspänning. Vi ska senare studera sambandet mellan frekvens och utspänning hos den aktuella frekvensriktaren.

Inställning av driftparametrar

I frekvensriktarens menyer finns möjlighet att ändra parametrar som styr driften av motorn. Menyerna är uppdelade i 7 grupper men för den här laborationen är det endast grupp 0-3 om är av intresse. Parametrarna är nummerade med tre siffror x-y-z där x svarar mot gruppen och y-z mot parameters nummer i gruppen.

- Fyll i parametrarna för motorn och övriga vita fält i tabellen nedan

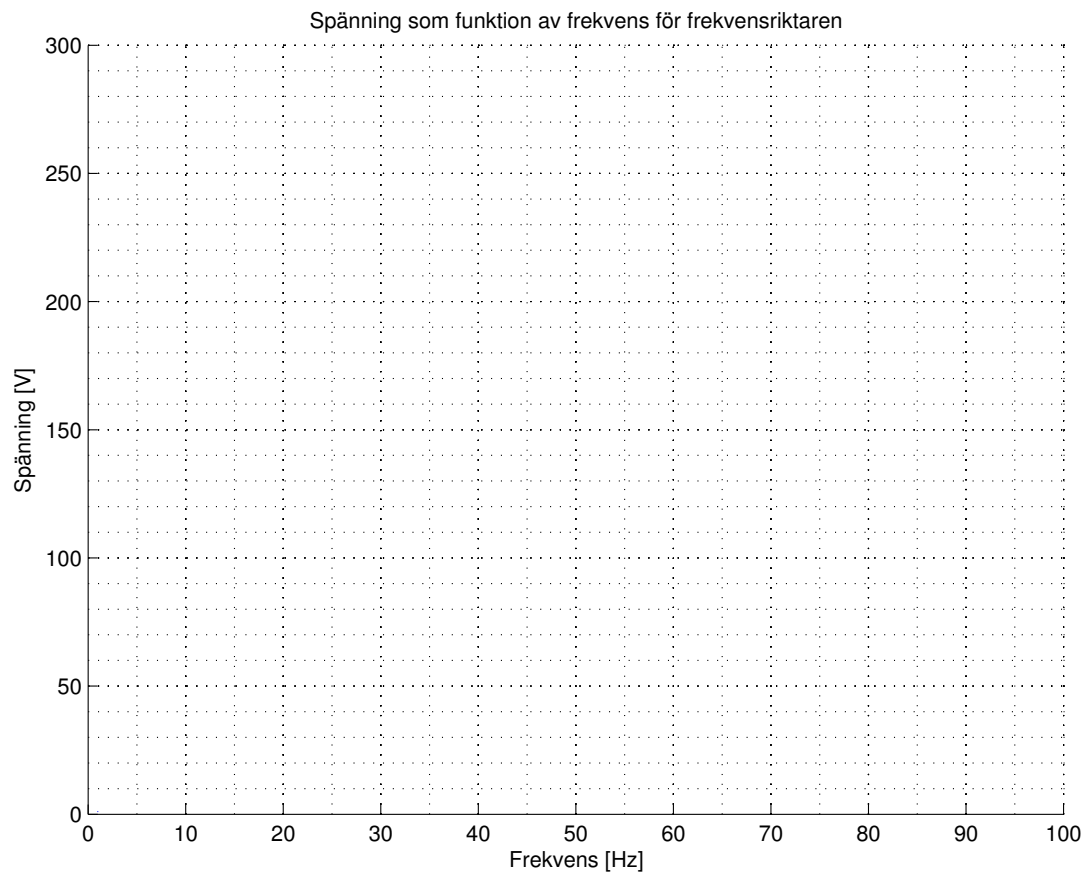
Nummer x-y-z	Parameternamn	Värde
000	Språk	Sv/En
003	Styrplats	Lokal
004	Ref frekv	50 Hz
005	Disp. Val	100
006	Lokal Åters	Enable/Medges
007	Lokal Start/Stop	Enable/Medges
008	Lokal Rev.	Enable/Medges
009	Lokal Jog	Enable/Medges
010	Lokal Ref	Enable/Medges
⇒ 103	Effekt	
104	Spänning	
105	Frekv	
107	Ström	
109	Startspänning	5 V
112	Slipkompensering	0
200	Frekv. område	120 Hz
201	Min frekv	0 Hz
202	Max frekv	80 Hz
214	Ramptyp	Linjär
215	Ramptid ↑	20 s
216	Ramptid ↓	10 s
310	Trip delay	1 s

- På arbetsplatsen skall finnas ett särtryck av handboken till frekvensriktaren. Leta upp parametrarna från tabellen ovan i dokumentationen och försök förstå vad de gör.
- Ställ in parametrarna från tabellen ovan med hjälp av manöverpanelen till frekvensriktaren.

Experiment

- Se till att virvelströmsbromsen är på, men nedvriden till noll, och starta motorn genom att trycka på START på manöverpanelen till frekvensriktaren.
- Ställ in displayvisning i V på manöverpanelen till frekvensriktaren.
- Vi ska nu ta upp sambandet mellan spänning och utfrekvens i det arbetsområde vi ställt in. Parameter 004 kan ändras under drift, gå därför till parameter 004 i menysystemet.
- Justera parameter 004 mellan 0-80 Hz i steg om 10 Hz. Fyll i resultatet i tabellen nedan. Stäng sedan av motorn med hjälp av stop-knappen på manöverpanelen.

Frekvens	Spänning
0	
10	
20	
⇒ 30	
40	
50	
60	
70	
80	



Figur 7: Frekvenskaraktäristik för frekvensriktaren.

- Rita in mätvärdena från tabellen ovan i Figur 7.
- Vi ska nu testa säkerhetsfunktionen hos frekvensriktaren. Ändra därför parameter 209 till märkström och parameter 310 till 3 s. Vad betyder parametrarna?

⇒ Svar: _____

- Starta motorn på samma sätt som förut. Ändra visningen på displayen till att visa ström. Prova sedan att belasta motorn genom att öka bromsmomentet så att märkströmmen överskrids. Vad händer?

⇒ Svar: _____

3.8 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 till 4. Motorn är redan uppkopplad och ska alltså bara provköras. Inga mätningar behöver utföras i denna labbuppgift.

- Förflytta er till arbetsplatsen med asynkronmotorn som har varierbart antal poler. Studera inkopplingen och försök förstå hur omkopplingen går till.
- 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 säkerhets spärr och alltså kan startas på full spänning.
- Ställ in reglaget på kopplingsboxen till motorn så att den blir 2-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 50V för att få motorn att varva upp. Vrid sedan upp spänningen till matningsspänning.
- När motorn uppnått märkvarvtal så kan poltalet ändras under drift. Ändra reglaget så att motorn blir 4-polig istället. Gör gärna egna experiment med motorn med tänk på att ni inte kan mäta strömmen.
- Stäng av motorn genom att vrida ned spänningen och stänga av allt precis som för era egna kopplingar.

3.9 Infasning av Synkronmaskin

En synkronmotor/generator karakteriseras som bekant av att den arbetar i det synkrona varvtalet. För att kunna koppla in en sådan maskin till nätet måste man därför fasa in den manuellt så att det inte går för mycket ström när motorn/generatoren själv ska fasa in sig.

Någon gång under laborationen kommer assistenten att visa hur infasning av en asynkronmotor går till i praktiken.

4 Förberedelseuppgifter

4.1 Ekvivalent krettschema för asynkronmotorn

- Rita ett ekvivalent kretsschema *per fas* för asynkronmotorn. Försumma *core loss* resistansen R_c .

- Rita ett ekvivalent kretsschema för asynkronmotorn förenklat med Thevinins teorem. Försumma *core loss* resistansen R_c .

- Vilka samband gäller mellan de olika impedanserna och spänningarna?

⇒ Svar: $\hat{V}_{1,\text{eq}} =$ _____
 $Z_{1,\text{eq}} =$ _____

- Den här uppgiften går ut på att rita om kretschemat för den icke-förenklade kretsen ovan för tomgångsfallet respektive fallet med låst rotor.

a) Kretschema för tomgångsfallet

b) Kretschema med låst rotor

4.2 Y/D-kopplingar

- Rita kopplingschema för en motor med Y-kopplad stator. Utgå från fasspänningarna L1-L3 och använd beteckningar S1-S6 enligt Figur 1.

- Rita nu samma koppling fast med D-kopplad stator.

- Antag att huvudspänningen $U_H = \sqrt{3}U_F$ samt effektförbrukningen, S [VA] med $\cos(\varphi)$, hos en balanserad 3-fas last är kända. Skriv upp uttryck för linjeströmmar, $I_{L,i}$, strömmar genom de 3 lasterna samt impedanserna, $Z_{i/ij}$, för de båda kopplingsalternativen. Uttryck t.ex. impedanserna $Z_{i/ij}$ i sina respektive real- och imaginärdelar med hjälp av den reaktiva och aktiva effekten Q och P .

4.3 Matematiska samband för asynkronmotorn

Motorns moment

- Ställ upp en ekvation för motorns moment som funktion av slip s och thevinin-ekvivalenta resistanser/impedanser.

⇒ Svar: $T =$ _____

- Ställ upp ekvationerna för skattning av parametrar efter tomgångsprov och prov med låst rotor. Antag att proven är utförda med Y-kopplad stator och rotor samt att mätningar samlats in enligt material från föreläsning. Vi kommer i räkningarna att anta att $X_1 = X_2$.

- Som ett delmoment i skattningen av motorparametrarna skall konstanten X_2 skattas. Det visar sig att det för rimliga värden på parametrarna blir en andragradsekvation som skall lösas. Ställ upp lösningen till andragradsekvationen. Det kan bli grötigt så inför gärna hjälpstorheter.

- Som bekant finns det två rötter till en andragradsekvation. Vilken av rötterna är den sökta lösningen och varför?

⇒ Svar: _____

- Visa hur man med hjälp av omsättningsprovet kan räkna ut storleken på R_2 givet mätningar av spänning över rotorn respektive över statorn samt resistansen i rotorlindningarna.

⇒

- Finns det några problem med att använda detta värde i sin modell och i så fall vilket?

⇒ Svar: _____

5 Uppgifter för hemarbete

Notera att momentmätningarna inkluderar friktionsmomentet eftersom vi nollställer momentangivelsen vid tomgång. Därför skall friktionsmomentet dras bort från det modellerade momentet.

- Skatta parametrarna X_1 , X_2 , R_2 enligt de formler ni tagit fram i förberedelseuppgifterna. Antag att $X_1 = X_2$.
- Räkna ut thevininekvivalenterna för R_1 , X_1 samt V_1 enligt de formler ni tagit fram i förberedelseuppgifterna. Antag att V_1 motsvarar den spänning som användes till mätningarna i Avsnitt 3.2. Tänk på att statorn då var D-kopplad och att formlerna avser en motor med Y-kopplad stator.

Tips: Spänningen över en D-kopplad lindning är huvudspänningen U_H medan spänningen över en Y-kopplad lindning är fasspänningen U_F . Förhållandet mellan spänningarna är således $\frac{U_H}{U_F} = \sqrt{3}$

- Hur förhåller den skattade resistansen R_2 till den med omsättningsprovet uträknade R'_2 .

⇒ Svar: _____

- Är skillnaden rimlig? Argumentera för svaret.

⇒ Svar: _____

- Rita i samma figur följande kurvor/mätpunkter. Använd kryss för att plotta faktiska mätningar och var noga med att lägga till en legend som beskriver vad som avses.

- Modellerat moment enligt uttrycket för moment som funktion av thevininekvivalenta impedanser/spänningar.
- Mätt moment från Figur 6

Extrauppgifter (obligatorisk för Doktorander)

- Antag att R_2 är känd från omsättningsprovet och räkna ut reaktanserna i kretsen på samma sätt som förut.
- Använd storheterna för att räkna ut och plotta moment i samma figur som tidigare uppgifter.
- Extrauppgift, ta med core-loss resistansen R_c och jämför resultatet med de övriga kurvorna