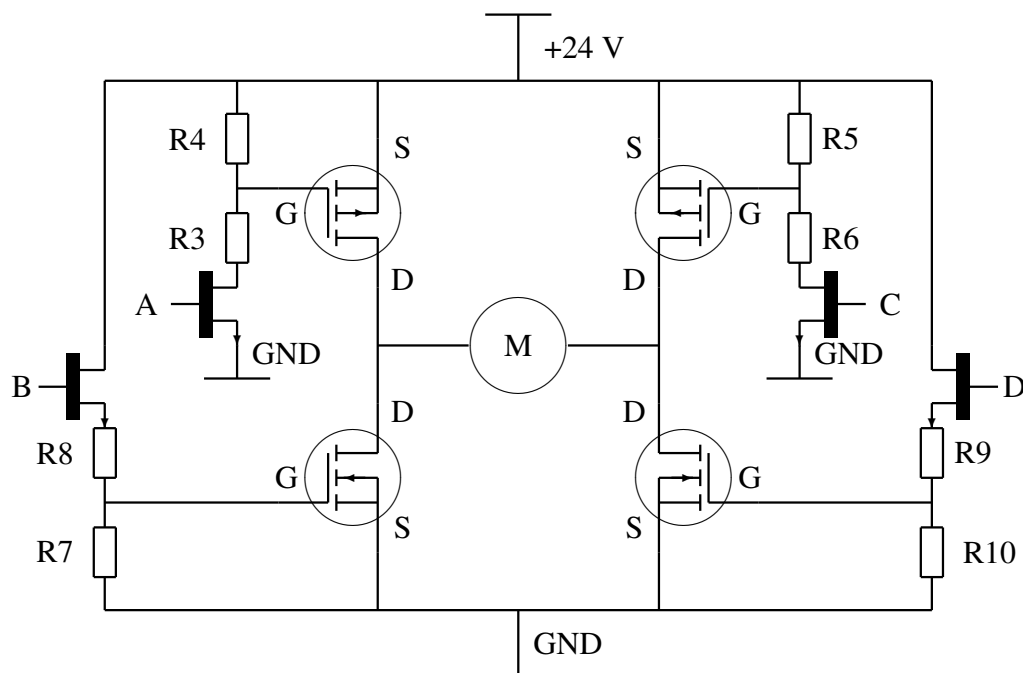




Ersättning av elektromekaniska reläer med halvledarkomponenter i en motorstyrning

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Mekatronik

MATHIAS ERNST

SAMUEL SCHEIDEGGER

Institutionen för signaler och system
Avdelningen för reglerteknik, automation och mekatronik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2013

FÖRORD

Detta examensarbete för Mekatronikingenjörsprogrammet på Chalmers tekniska högskola utfördes på uppdrag av SKF Actuation Systems i Göteborg. Arbetet löpte över tio veckor under april-maj 2013 och motsvarar totalt 30 högskolepoäng fördelat på två personer.

Under arbetet har vi haft stor användning av de kunskaper vi har tillägnat oss under utbildningen för att kunna utföra ett tekniskt korrekt och ingenjörsmässigt arbete.

Vi vill tacka SKF Actuation Systems för möjligheten att utföra arbetet, upplåtandet av arbetsplatser samt andra resurser, Louise da Silva för förmedlingen av kontakten till SKF Actuation Systems, Kjell Hermansson för hjälp i testlabbet samt med byggandet och inte minst våra två handledare Pär Högberg på SKF Actuation Systems samt Lennart Widén på Chalmers tekniska högskola.

Göteborg, maj 2013

Mathias Ernst och Samuel Scheidegger

SAMMANFATTNING

Projektets mål är att ta fram nya motorstyrningar baserade på halvledarkomponenter för testning av företagets linjära ställdon. De nya motorstyrningarna är tänkta att ersätta företagets nuvarande styrning baserad på elektromekaniska reläer. Samtliga ställdon företaget tillverkar drivs av elektriska motorer av olika typer, men på grund av begränsad styrelektronik i testlabbet har företaget enbart haft möjlighet att utföra tester på ställdon med borstade likströmsmotorer. Vidare har de elektromekaniska reläernas korta livslängd gett problem då livslängdtesterna på ställdonen kan resultera i ett större antal omslag än vad reläerna kan hantera. Detta har lett till att testerna har störts på grund av felande reläer. Styrningen har kunnat driva donen i båda riktningar, med en konstant hastighet. Riktningen har styrts via digitala signaler direkt till reläerna. En styrning som istället är baserad på halvledarkomponenter kan ha betydligt längre livslängd än elektromekaniska reläer. En halvledarbaserad lösning skulle även öppna upp för styrning av till exempel hastighet, då passande halvledarkomponenter kan vara tillräckligt snabba för att hantera en PWM-signal. Styrsignalerna önskades hålla liknande karaktär som tidigare styrning, men kunna utvidgas med analoga signaler för hastighetsstyrning. Företaget hade även önskemål om att kunna testa ställdon med asynkrona växelströms- samt borstlösa likströmsmotorer, vilka kräver specialiserade motorstyrningar. Efter att ha studerat lösningar baserade på industriella halvledarreläer, en egenkonstruerad krets samt kommersiella motorstyrningar bedömdes den lämpligaste lösningen för volymen i fråga vara att använda sig av kommersiella motorstyrningar. De bästa styrningarna för de olika motorvarianterna ansågs vara Electromen Oys EM-243A för borstade likströmsmotorer, EM-206 av samma tillverkare för bortslösa likströmsmotorer samt frekvensomriktaren Siemens SINAMICS G110 för asynkrona växelströmsmotorer. För att utvärdera delar av resultatet genomfördes praktiska tester på don med borstlös likströms- samt växelströmsmotorer. Testet på styrningen för den borstlösa likströmsmotorn fungerade som tänkt, komplett med hastighetstyrning. Växelströmsmotorn uppvisade dock försämrat vridmoment när frekvensen översteg märkfrekvensen vilket medförde att donet kördes med lägre hastighet än tänkt, men fungerade väl i detta lägre hastighetsspann. Den borstade likströmsstyrningen testades aldrig, men det är den simplaste styrningen och bör därför också uppvisa minst problem.

ABSTRACT

The project aims to specify a new, semiconductor based motor controller to be used in testing of the company's linear actuators. The new controller is meant to replace the current motor controllers, which are based on electromechanical relays. The actuators made by the company are each driven by one of three kinds of electric motors, but due to the current choice of motor controllers it's only possible to perform tests on actuators with brushed direct current motors. Furthermore, the relatively short life expectancy of the electromechanical relays at high loads can lead to problems during testing of actuator life expectancy in that failing relays disrupt the testing procedure, requiring frequent intervention. The control so far has been simply directional, up or down at constant speed, with the direction controlled by digital signals to the relays. A semiconductor based solution has the potential for significantly longer life span than what electromechanical relays allow for. Speed control could also be enabled by using a semiconductor solution since the appropriate components are fast enough to handle a PWM signal. The control signals should closely adhere to the previously implemented design, but be expanded with an analog signal for speed control. The company also wished to test actuators with asynchronous alternating current motors as well as brushless direct current motors which require their own specialized controllers. Having studied solutions based on solid state relays, commercial controllers and a controller of our own design, it was concluded that the commercial controllers were the best fit for the application and desired volume. The final choice of controllers for the different motor types were Electromen Oy's EM-243A for the brushed direct current motor, EM-206 of the same manufacturer for the brushless direct current motor, and the frequency inverter SINAMICS G110 from Siemens for the asynchronous alternating current motor. Practical tests to evaluate the resulting configuration were carried out with brushless direct current and asynchronous alternating current actuators. The brushless direct current control worked as intended, including the speed control. The asynchronous alternating current motor, however, showed a decrease in torque when the frequency were set higher than the rated frequency. This resulted in having to run the actuator a slower speed than originally intended, but the controller working well in this new, lower speed span. The controller for the brushed direct current motor were not tested, but this is the controller with the simplest function and is the easiest to configure and should therefore present the least problems in setting up.

INNEHÅLL

1	Inledning	2
1.1	Bakgrund	2
1.2	Syfte	2
1.3	Avgränsningar	3
1.4	Precisering av frågeställningen	3
2	Teknisk bakgrund	3
2.1	Linjära elektriska ställdon	3
2.2	Elektriska motorer	3
2.3	Halvledarbaserade reläer	4
3	Metod	4
4	Resultat	5
4.1	Lösningförslag till motorstyrning	5
4.1.1	Kommersiell motorstyrning	5
4.1.2	Industriella reläer	6
4.1.3	Kretskortsmonterad lösning	8
4.2	Utvärdering av lösningförslag	11
4.3	Motorstyrning för AC- och BLDC-motorer	11
4.3.1	AC-motorstyrning	12
4.3.2	BLDC-motorstyrning	13
4.4	Praktiskt test av valda motorstyrningar	13
5	Slutsatser	17
6	Referenser	19

Bilaga A: Kretskortsmonterad lösning

Bilaga B: Kopplingsschema för halvledarreläslösning

Bilaga C: Anslutning av Electromen EM-115

Bilaga D: Anslutning av Electromen EM-241

Bilaga E: Anslutning av Electromen EM-243A

Bilaga F: Anslutning av Electromen EM-206

Bilaga G: Anslutning av Siemens SINAMICS G110 0,12 kW

Bilaga H: Uppkoppling av testtrigg

Bilaga I: Program för uppmätning av stegsvar

BETECKNINGAR

AC Växelström.

BBM Break before make.

BLDC Borstlös likström.

DC Likström.

DIN-skena Monteringstandard.

EMI Elektromagnetisk störning.

FET Fälteffekttransistor.

MBB Make before break.

MOSFET Metal–oxide–semiconductor field-effect transistor. Fälteffekttransistor.

PLC Programmerbart styrsystem.

PWM Pulsbreddsmodulering.

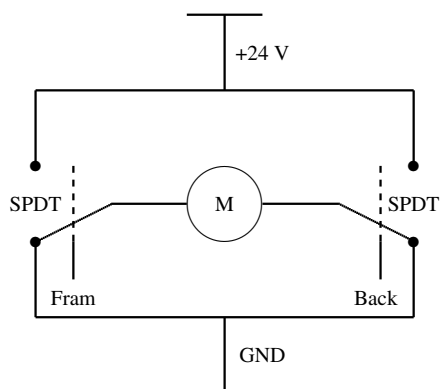
rpm Varv per minut.

SPDT Single pole, double throw.

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Företaget tillverkar ställdon drivna av elmotorer. Ett antal tester utförs på ställdonen för att mäta och kontrollera sådant som livslängd under olika laster och i olika miljöer, värmeutveckling i motor och växel eller slitning av packningar och bussningar. Ställdonen styrs med en motorstyrning huvudsakligen bestående av två stycken elektromekaniska reläer av SPDT-utförande, alltså växlande reläer, enligt figur 1.1. Detta ger fördelar eftersom man automatiskt undviker kortslutning av matning och jord tack vare elektromekaniska reläets BBM-egenskap. Vidare är det enkelt att bromsa motorn och man får ett förutsägbart beteende vid bortfall av matningsspänning om till exempel en säkring skulle gå eller om det blir strömavbrott. Dock har användningen av elektromekaniska reläer inneburit problem då de har en förhållandevis kort livslängd när de bryter strömmar upp till 12 A, vilket kan förekomma vid höga laster. Vid långa tester med hög last medför detta att reläerna hakar upp sig eller går sönder och behöver sättas igång eller bytas ut flera gånger innan testet är genomfört. Den dåliga driftsäkerheten innebär att testerna måste övervakas och åtgärder för att återuppta avbrutna tester måste vidtas. Parallellt med arbetet att ta fram en ny motorstyrning kommer också en överordnad styrning för testerna, baserad på en PLC, att tas fram i företaget. Denna kommer möjliggöra styrning och reglering av slaghastighet, intermittens och andra testparametrar. Styrningen kommer också erbjuda större flexibilitet i vilka tester som kan köras och vilka motorstyrningar som kan inkorporeras i testriggen då styrsignaler till motorstyrningarna lätt kan anpassas i mjukvaran.



Figur 1.1 *Principskiss av befintlig lösning.*

1.2 Syfte

För att minska driftstoppen under testerna av de linjära ställdonen och därmed också åtgången av resurser vill företaget undersöka möjligheten att ersätta den elektromekaniska motorstyrningen med en halvledarbaserad lösning. Då halvledarlösningar skiljer sig från elektromekaniska reläer måste en ny motorstyrning konstrueras för bibehållen funktion. Likaså insignalerna till den halvledarbaserade lösningen önskas bibehålla samma princip som tidigare motorstyrning, det vill säga med två digitala 24 V-signaler, en för drivning åt respektive håll. Dock finns det önskemål om möjlighet till utökad funktion såsom separat broms samt hastighetsstyrning, vilket skulle vara möjligt med en mer avancerad motorstyrning. För hastighetsstyrning skulle det vara önskvärt

med en motorstyrning som kan ta emot och vidarebefodra eller generera en egen PWM-signal för detta ändamål. En rapport skall produceras som jämför skattad livslängd, kostnad, behovet av kontrollogik samt förslag till konfigurationslayout.

1.3 Avgränsningar

Arbetet avses avgränsas till att ersätta nuvarande motorstyrningar med halvledarbaserade lösningar som kan driva motorer upp till 24 VDC/12 A i företagets testlab. Om tid finns undersöks också styrning för företagets AC-drivna ställdon och ställdon med BLDC-motorer. Motorstyrningen för AC-ställdon avgränsas till att hantera en trefas 0,044 kW-motor. BLDC-motorstyrningen avgränsas till att hantera en BLDC-motor med märkningen 24 V 6,2 A bestyckad med Hall-sensorer.

1.4 Precisering av frågeställningen

Lösningen måste imitera följderna av de elektromekaniska reläernas SPDT-utförande, vilket måste hanteras separat då halvledarreläer inte existerar med denna egenskap. Halvledarreläer är också betydligt känsligare mot högre spänningar och därför måste effekter som uppstår när strömmen till en induktiv last bryts hanteras. Den framtagna motorstyrningen önskas vara enkel att ansluta och montera på en DIN-skena. De minskade kostnaderna som kommer av ökad livslängd och stabilitet ska jämföras mot skillnaden i inköpspris.

2 TEKNISK BAKGRUND

2.1 Linjära elektriska ställdon

Ett ställdon är en mekanism som är till för att omvandla energi till en rörelse. Rörelsen kan vara antingen cirkulär eller linjär. Ställdon kan vara hydrauliska, pneumatiska, mekaniska eller elektriska. Elektriska linjära ställdon drivs med en elektrisk motor som genom en snäckväxel är ansluten till en skruv för att omvandla motorns rotationshastighet och moment till en linjär rörelse med en viss hastighet och kraft.

2.2 Elektriska motorer

Det finns flera olika typer av elektriska motorer. En vanlig typ av motor är en borstad DC-motor. Den arbetar genom ett magnetiskt fält, alstrat av en spole, vars riktning växlas genom borstar som ligger an en kommutator. Rotationshastigheten hos en borstad DC-motor kan regleras med nivån på matningsspänningen. Borstade DC-motorers livslängd begränsas av att borsten slits under drift och måste därför underhållas.

Det finns även borstlösa DC-motorer som har en uppbyggnad lik synkrona AC-motorer med flera spolar varöver tre spänningar svänger med samma frekvens och amplitud men med 120°

fasförskjutning mot varandra. Den borstlösa DC-motorns rotationshastighet bestäms av frekvensen på spänningarna över motorns spolar. Svängingarna åstadkommes i regel med speciella mikrokontrollerstyrda motorstyrningar. Eftersom borstlösa DC-motorer inte är anpassade för att gå med eftersläpning måste frekvensen till motorn anpassas efter motorns egenskaper samt last. För att åstadkomma detta måste motorstyrningen kunna mäta rotationshastigheten på motorn. Detta görs oftast antingen genom "zero-crossing", där genererad spänning från motorn analyseras, eller med Hall-sensorer som monterats på motorn. Hall-sensorer kräver ytterligare kablar till motorn men ger att motorns rotationshastighet kan styras mycket exakt. I borstlösa DC-motorer finns det inga slitagedelar som borstarna i traditionella DC-motorer, därför kräver de också mindre underhåll. Även verkningsgraden är högre i borstlösa än i borstade DC-motorer.

En mycket vanlig förekommande elektrisk motor är asynkrona AC-motorer. Sådanna motorer kan drivas direkt från trefas nätspänning, men det begränsar kraftigt möjligheten att kontrollera rotationshastigheten då den direkt beror på nätfrekvensen. För att styra hastigheten används ofta en frekvensomriktare, som genererar en trefasspänning med en variabel frekvens. Asynkrona AC-motorer har likt borstlösa DC-motorer inga slitagedelar och kräver därför lite underhåll.

2.3 Halvledarbaserade reläer

Då elektromekaniska reläer har rörliga delar som slits ut kan det i vissa tillämpningar vara mer lämpligt att använda halvledarreläer, då dessa saknar rörliga delar. Halvledarreläer kan dessutom i vissa fall bryta strömmar över en miljon gånger per sekund, vilket ger möjlighet att till exempel hantera en PWM-signal. Halvledarreläer kan ha ett antal olika utföranden, främst beroende på vilken typ av last som ska brytas. För att bryta en likspänning som alltid har samma polaritet används principiellt en kraftig optokopplare, normalt har man dock istället en optokopplare och en transistorkrets för förstärkning av utsignalen. Ska en likspänning vars polaritet kan skifta kunna brytas kan en optokopplare vars plusutgång kopplas till ett par sammansatta MOSFET:s gemensamma gate och minusutgången till source-ingångarna. Normalt krävs flera seriekopplade fotodioder för att MOSFET:sens krav på tillräckligt hög spänning från gate till source skall uppnås. De båda transistorerna aktiveras då samtidigt av insignalen till reläet. När ingen signal ges blockerar MOSFET:sens ömsesidigt motriktade dioder strömmen genom reläet i båda riktningar. Vid växelström används vanligen även en "zero-crossing-krets eller komponenter med hysteres så att strömmen alltid bryts när den är som minst, vilket gör att komponenterna kan dimensioneras för en mindre ström.

3 METOD

För att hitta den bästa lösningen arbetades flera olika lösningsförslag fram. Detta gjordes genom att undersöka marknaden efter lämpliga komponenter. För att bedöma deras lämplighet samt hur de kan användas hämtades information från respektive datablad. Med information från databladerna samt övrig referenslitteratur bestämdes det hur olika lösningsförslag skulle se ut.

För att utvärdera de olika lösningsförslagen vägdes för- och nackdelarna samt deras uppskattade livslängd mot kostnaden för dess komponenter. Vid oklarheter angående funktion och livslängd tillämpades praktiska försök i företagets testlab.

4 RESULTAT

4.1 Lösningsförslag till motorstyrning

Initialt diskuterades problemet och en kursiv sökning efter lösningsförslag utfördes. När marknaden undersöktes hittades lämpliga kommersiella motorstyrningar som kan monteras på DIN-skena, industriella halvledarreläer monterbara på DIN-skena samt MOSFET:s för montage på kretskort. Varje typ av komponent kräver speciell periferielektronik vilket då gav tre lösningsförslag.

Gemensamt för alla föreslagna halvledarlösningar är att livslängden beror på med hur stora marginaler man håller sig inom deras angivna märkstorheter. Framförallt är det viktigt att värme som utvecklas vid omslagen kyls bort för att hålla temperaturen inom angivna gränser. Typiska värden på livslängden är 50 till 500 gånger fler operationer än elektromekaniska reläer med samma märkning (*The Life Expectancy of Solid State Relays* 2011).

4.1.1 Kommersiell motorstyrning

Den största fördelen med att använda en kommersiell motorstyrning är att det är en redan beprövad lösning som är enkel att installera och att det ofta finns färdig inkapsling för montering på DIN-skena. Nackdelar kan vara att funktionen inte är anpassad efter ändamålet, vilket kan leda till att omgivande utrustning måste anpassas efter motorstyrningen, till exempel genom vilka styrsignaler som skickas, för att ge önskad funktion. Det finns även kommersiella motorstyrningar som kan generera en PWM-signal baserad på en analog spänningssignal, vilket är önskvärt då det underlättar att i framtiden testa donen med varierande hastighet tillsammans med en PLC.

Två motorstyrningar som uppfyllde kraven hittades, båda tillverkade av Electromen Oy. Den ena, EM-243A, kostar cirka 85 € och skall kunna leverera en ström på 50 A, vilket är fullt tillräckligt för de aktuella tillämpningarna. Möjligheten att styra hastigheten finns genom att motorstyrningen kan generera en PWM-signal vars arbetscykel baseras på en analog signal 0-10 V, där den övre referensspänningen går att justera mellan 5-10 V, eller växla mellan två förinställda hastigheter med en digital signal på SPEED2-ingången (*EM-243A DC-Motor Controller 12-42V 50A*).

För att använda EM-243A behöver inställningar göras via en programmeringsenhet, EM-236. Ramptider för spänningsrampning vid start och stopp samt strömbegränsning kan ställas in via samma programmeringsenhet. EM-243A kan bevaka strömförbrukningen och mata ut denna till programmeringsenheten EM-236.

Det kan vara intressant att kunna logga strömförbrukningen och studera hur den ändras när slitaget på ställdonet ökar, därför undersöktes möjligheten att kunna skicka detta värde till en PLC. Kortet kan enligt mailkontakt med Electromen Oy beställas modifierat så att FAULT-pinnen, som normalt indikerar överhettning eller att överströmsskyddet slagit in beroende på inställning, kan ge en signal på 0-4 V motsvarande 0-100 A. För detta tas en engångsavgift på 350 €, varefter kortens styckpris är efter ordinarie listpris. Eftersom det rör sig om några enstaka motorstyrningar, samtidigt som man vill mäta strömen på mer än bara DC-motorerna, är

det bättre att köpa separata strömgivare till de motorstyrningar man vill mäta strömmen genom. EM-243A har ingen egen säkring utan måste skyddas med en extern säkring.

Den andra motorstyrningen, EM-115, klarar 25 A och kostar cirka 135 €. PWM-styrning kan användas på samma sätt som för EM-243A. Ramptider vid start och stopp, strömbegränsning, lastkompensation för att förbättra prestanda vid hög last och låga varvtal samt spänningsnivå på styrsignal ställs in med trimpotentiometrar. På EM-115 finns det ingen motsvarande möjlighet att få ut strömmen genom motorn som en signal från motorstyrningen (*EM-115 DC-motor Control Unit 12-36V 25A 4-quad.*).

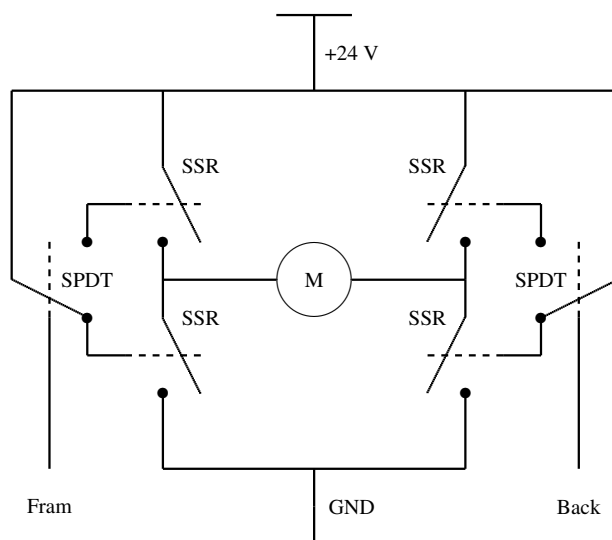
Riktning styrs på samma sätt på de båda motorstyrningarna, genom digitala signaler på ingångarna framåt (FW) eller bakåt (REV). Motorstyrningarna ger också möjlighet att bromsa motorn med signal på STOP-ingången. Här fungerar bromsarna något annorlunda i de båda styrkretsarna. EM-115 kortsluter motorn direkt till skillnad från EM-243A, som har en elektroniskt styrd broms som bygger på styrningens överspänningsskydd. Om STOP-signalen ges öppnas motorns kontakter, och först då spänningen överstiger det inställda överspänningsskyddet kortsluts motorn. Den kortslutna motorn bromsas då i båda styrningarna genom att den kinetiska energin tas upp av motorns resistans via den inducerade strömmen i motorlindningarna. Riktning och broms kan styras med en digital 24 V-signal, vilket är lämpligt för att styra testerna med en PLC. Alla anslutningar för in- och utsignaler är skruvplintar, förutom kontakten till programmeringsenheten på EM-243A.

Bromsen på EM-243A bedöms fungera på tillfredställande sätt i den aktuella uppställningen. Båda motorstyrningarna klarar med god marginal av stoleken på motorer som önskas testas. I övrigt bedöms EM-243A ha något mer önskvärd funktionalitet i form av felsignaler och inställningsmöjligheter. En säkring likt den på EM-115 är inte nödvändig då en sådan lätt kan inkorporeras i uppkopplingen av motorstyrningen. På grund av detta samt det lägre priset väljs EM-243A. Uppkoppling samt inställning av EM-115 samt EM-243A specificeras i bilaga C respektive E. Det finns inga uppgifter på livslängden varken på EM-243A eller EM-115 i databladet, och inte heller kontakt med tillverkaren gav några tydliga siffror. Däremot kan den skattas till mycket lång då den, att döma av bilder i databladet samt funktion, är uppbyggd runt MOSFET:s, som rätt använda har mycket lång livslängd (*The Life Expectancy of Solid State Relays* 2011). Dock kan ingen direkt jämförelse av kostnaden mellan detta förslag och den tidigare lösningen göras då livslängden hos den valda motorstyrningen är för diffus.

4.1.2 Industriella reläer

Användning av industriella halvledarreläer skulle ge fördelen att det blir ett modulärt system som liknar det som använts av företaget tidigare. Dock existerar inte halvledarreläer i SPDT-utförande, vilket kräver att viss periferielektronik implementeras för att imitera funktionen hos tidigare motorstyrning.

En lösning som överlades var att bygga en logikkrets som hanterade detta, men det hade inskränkt modulariteten eftersom en krets speciellt avsedd för detta skulle behöva produceras. Istället valdes en lösning som kombinerade två elektromekaniska SPDT-reläer som hanterar styrströmmarna till halvledarreläerna (figur 4.1). Detta skulle både tillgodose att efterlikna SPDT-utförandet samt lösa BBM-problemet då omslagstiden för halvledarreläer (*CKM Series* 2012) är snabbare än för elektromekaniska reläer (*General-purpose Relay G2R-[]-S* 2009).



Figur 4.1 Principskiss av lösningsförslag med industriella halvledarreläer.

Ett av problemen med den tidigare lösningen är att elektromekaniska reläer har en begränsad livslängd, vilket ledde till att testerna ofta avbröts på grund av felande reläer. Detta problem skulle även kunna introduceras i denna lösning då elektromekaniska reläer används även här. Strömmen som dessa reläer ska bryta är dock enbart styrströmen till halvledarreläerna, vilken halvledarreläerna begränsar till cirka 10 mA (*CKM Series* 2012), till skillnad från tidigare lösning då matningsströmmar till motorn på upp till 12 A bryts av elektromekaniska reläer. Vid hantering av låga strömmar finns det elektromekaniska reläer som är specificerade att klara flera miljoner omslag (*General-purpose Relay G2R-[]-S* 2009). Halvledarreläers livslängd begränsas inte av antalet omslag utan av andra faktorer som hur väl inom specifikationernas gränser de opererar och hur väl de kyls (*The Life Expectancy of Solid State Relays* 2011). Hanteras reläerna rätt är det istället de elektromekaniska reläernas mekaniska livstid som blir den begränsande faktorn.

En nackdel med att delvis använda elektromekaniska reläer är att PWM-styrning skulle bli uteslutet vilket var ett önskemål för framtida utveckling av motorstyrningen. Detta dels då reläerna skulle slitas ut snabbt på grund av många omslag och även studsande kontakter samt relativt långa omslagstider gör att de inte är lämpliga för att hantera PWM-signalers höga frekvens.

Elmotorer har hög induktans vilket gör dem strömtröga. Detta innebär att då matningen bryts bildas det en spänning över motorn som kan bli betydligt större än matningsspänningen. I detta fall kommer denna spänning att belasta halvledarreläerna, vilka då kan ta skada. För att skydda halvledarreläerna valdes det att placera en skyddsdiod över vardera reläs utgångar enligt bilaga B.

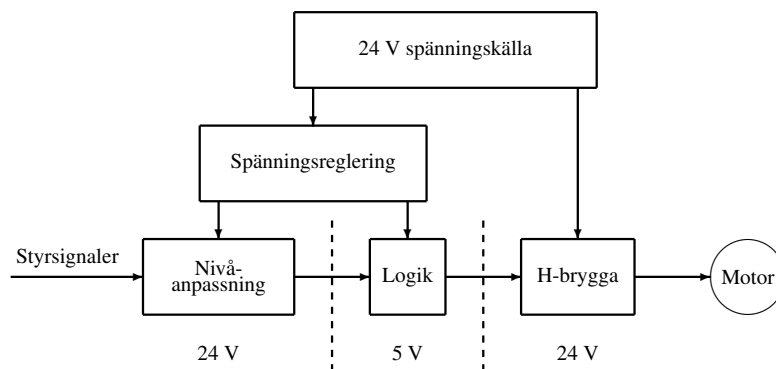
Kraven som sattes för att finna lämpliga halvledarreläer var att de skulle kunna hantera minst 1,5 gånger motorns maximala strömförbrukning, det vill säga 18 A, 24 V likström samt enkelt kunna monteras på DIN-skena. Efter noggrannare undersökning av marknaden visade det sig att det fanns två lämpliga alternativ; Crydom CKM0630 och Selectron HS D1140D. Selectrons modell är snabbare och hanterar större ström men också dyrare. Däför valdes att i första hand rekommendera reläet från Crydom då båda uppfyller kraven. För att finna lämpliga elektromekaniska SPDT-reläer sattes kraven att de skulle hantera 24 V likström samt minst 10 mA. Detta gav ett brett utbud och därför sorterades de efter att livslängden vid strömförbrukningen 10 mA skulle vara så lång som möjligt vilket tidigare konstaterats vara begränsande faktorn för motorstyrningen

hela livslängd. Ett passande elektromekaniskt relä skulle till exempel vara Omron G2R-1-S 24 DC (S). Kostnaden för en uppsättning enligt bilaga B med dessa reläer samt skyddsdioder till halvledarreläerna skulle bli runt 3500 SEK. Livslängden begränsas förmodligen av det elektromekaniska reläet vars livslängd är vid aktuell last specificerad till minst 20 miljoner omslag (*General-purpose Relay G2R-[J-S 2009)*.

4.1.3 Kretskortsmonterad lösning

En kretskortsmonterad lösning baserad på FET:s skulle introducera många problem som måste lösas för att uppnå en väl fungerande motorstyrning. Det skulle krävas mycket periferielektronik, önskemålet om att kunna montera motorstyrningen på DIN-skena skulle behöva behandlas separat samt att kretsen skulle behöva byggas av en sakkunnig. Dock bedömdes materialkostnaden att kunna bli så mycket lägre att det ändå skulle kunna vara ett intressant alternativ samt att lösningen eventuellt skulle kunna utnyttjas i framtida motorstyrningar avsedda för företagets kunder.

Motorstyrningen skall efterlikna en existerande lösning som har en H-bryggeliknande uppställning enligt figur 1.1, därför valdes det att också basera kretsen på en H-brygga. För att styra omkopplarna i H-bryggan krävs det någon form av logik för att generera styrsignaler till respektive omkopplare (figur 4.2).



Figur 4.2 Principskiss av kretskortsmonterad lösning.

4.1.3.1 Logik

För att styra omkopplarna i H-bryggan togs det fram tre förslag på lösningar; logiska grindar, en kommersiell H-bryggedrivringskrets och en mikrokontrollerbaserad lösning.

En mikrokontroller skulle kunna användas och programmeras för att åstadkomma BBM-funktionalitet och för att generera en PWM-signal från en analog styrsänkning från till exempel en PLC. Mikrokontrollern som lösning på logikdelen valdes dock bort eftersom det skulle kräva att varje motorstyrning skulle behöva programmeras, detta skulle ge extra steg i installationen samtidigt som den eftersökta funktionen är av så enkel karaktär att det går att lösa med mindre avancerade kretsar.

En lösning med en kommersiell H-bryggedrivringskrets vore fullt genomförbar. Några av dessa har dessutom fördröjningsfunktioner för att hantera BBM-problem och möjlighet att skicka ut en PWM-signal till omkopplarna i H-bryggan. Kostnaden för att konstruera en lösning med logiska

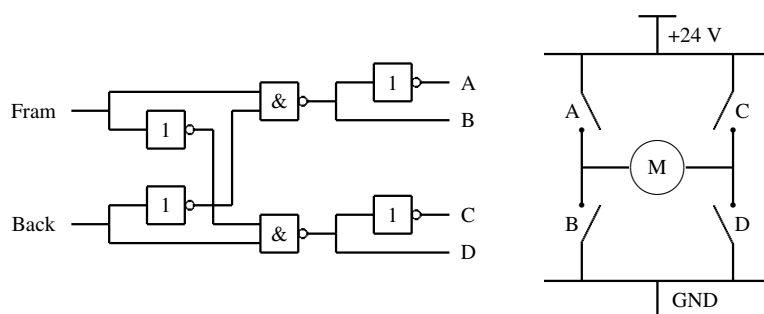
Fram	Back	A	B	C	D
0	0	1	0	0	1
1	0	0	1	1	0
0	1	0	1	0	1
1	1	0	1	0	1

Tabell 4.1 In- och utsignaler för det logiska grindnätet i den kretskortsmonterade lösningen.

grindar beräknades till mindre än hälften jämfört med två stycken halvbyggdrivare vilket gjorde att valet föll på att konstruera logiken i motorstyrningen med logiska grindar.

Logiska grindar är tillräckligt snabba för att hantera en PWM-signal, vilket kan användas för att senare implementera en hastighetsstyrning, och smidiga att använda då de själva hanterar strömbegränsningar av in- och utsignal. En nackdel är att de vanliga logikkretsserierna inte kan hantera en matningsspänning på 24 V, därför måste en lägre spänningsnivå genereras. De saknar även möjligheten att ta emot en analog styrsignal och generera en PWM-signal för hastighetsreglering utan behöver ta emot en färdig PWM-signal. Logiska grindar arbetar i realtid och saknar därmed möjligheter för exempelvis tidsfördröjningar, därför kan de inte användas för att implementera en lösning på BBM-problemet och således måste även detta problem hanteras separat.

En tabell med önskade utsignaler (tabell 4.1) till H-bryggan vid olika styrsignaler ställdes upp och därigenom beräknades ett grindnät. Resultatet (figur 4.3) valdes att konstrueras med NAND-grindar och inverterare.



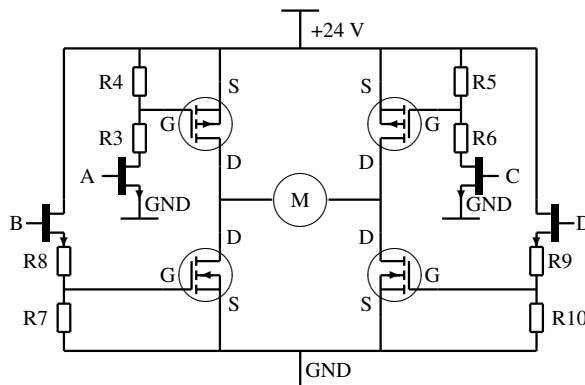
Figur 4.3 Logiskt grindnät för kretskortsmonterad lösning.

4.1.3.2 H-Bryggga

Enligt Valentine 1998 s. 13 är MOSFET:s det bästa valet för motorstyrningar där motorspänningen understiger 100 V. Motorerna som skall styras med denna motorstyrning har märkspänningen 24 V (*FL57BL03-24V-30100TBB-8P-1(R.S04) Specification* 2010), därför valdes det att använda fyra MOSFET:s som omkopplare i H-bryggan.

MOSFET:s finns i två olika utföranden: n- och p-kanalstransistorer. nMOSFET:s öppnar strömkanalen då spänningen från gate till source, V_{gs} , överstiger ett visst värde (*IRF540, SiHF540 Power MOSFET* 2012). pMOSFET:s öppnar till skillnad från nMOSFET:s strömkanalen då spänningen från gate till source, V_{gs} , är negativ under ett visst värde (*IRF5305PbF HEXFET® Power MOSFET* 2003). För att kunna uppnå spänningar som öppnar strömkanalerna på MOSFET:s

användes både nMOSFET:s och pMOSFET:s enligt figur 4.4. Varje MOSFET kan öppnas eller strypas separat genom att låta en ström gå in i basen på respektive bipolär transistor. Då ingen strömsignal ges till de bipolära transistorerna kommer spänningsnivån på gate-ingångarna på varje MOSFET bli samma som på source-ingången vilket ger strypta MOSFET:s. Vid öppnade bipolära transistorer kommer spänningen på gate-ingångarna på MOSFET:sen vara en nivå som kan anpassas via spänningsdelning mellan de två intilliggande resistorerna. Genom att välja lika stort värde på $R_3...R_{10} = R$ fås $V_{gs} = (24 - V_{ce}) \cdot R/2R = 11,9 \text{ V}$ i nedre halvan av H-bryggan och $V_{gs} = (V_{ce} - 24) \cdot R/2R = -11,9 \text{ V}$ i övre halvan. V_{ce} är kollektor-emitter-spänningen över en bipolär transistor. Genom denna uppbyggnad kan både n- och pMOSFET:sens krav på styrsignalernas spänningsnivåer i förhållande till source-ingångarna uppfyllas.



Figur 4.4 MOSFET:s i kretskortsmonterad lösning.

4.1.3.3 Kopplingsschema

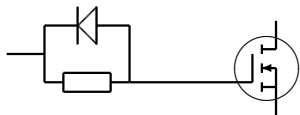
För att kunna göra uppskattningar av priset samt funktionen togs ett kopplingsschema med preciserade komponenter fram enligt bilaga A.

Det mest kritiska valet av komponenter är valet av MOSFET:s. För att kunna hantera 24 VDC/12 A induktiv last valdes att komponenterna minst skulle klara 1,5 gånger strömmen, det vill säga 18 A. Utbudet hos ELFA Distrelec genomskötses och de mest lämpliga MOSFET:sen som hittades var IRF540PBF nMOSFET (*IRF540, SiHF540 Power MOSFET* 2012) samt IRF5305PbF (*IRF5305PbF HEXFET® Power MOSFET* 2003) pMOSFET då de är de billigaste som uppfyller kraven. MOSFET:s har i sin konstruktion inbyggda dioder som kan användas för att leda bort stömmen vid brytning av en induktiv last. De valda MOSFET:sen bedömdes utifrån databladet tillräcklig tåliga för att hantera strömmen vid brytning av den aktuella lasten. För att hålla matningsspänningen stabil trots elektromotoriska spänningar placerades två stycken större kondensatorer parallellt mellan +24 V matning och jord. Anledningen att två stycken kondensatorer valdes var för att frekvenssvaret skulle bli snabbare. För att minska högfrekventa störningar placerades ytterligare två, mindre, kondensatorer på samma sätt.

Grindnätet av NAND- och inverteringsgrindar valdes att byggas upp av en HEF4093BP NAND-logikkrets (*HEF4093B Quad 2-input NAND Schmitt trigger* 2011) som har fyra grindar med två ingångar vardera, samt en M74HC240B1R inverterarlogikkrets (*M74HC240 Octal Bus Buffer with 3 State Outputs (Inverted)* 2001) som har åtta inverterare med en ingång vardera. Det är den mest kostnadseffektiva lösningen för att uppnå det resultat som önskas. Dessa två tillhör olika serier; 4000- respektive 7400-serien, men är vid rätt matningsspänning kompatibla med

varandra. Dock kan det vara av intresse att åter överlägga dessa val vid implementation av PWM-styrning då 7400-serien är snabbare. Ingen av logikkretsarna kan matas med 24 V, därför måste spänningen till grindnätet regleras. Maximal matningsspänning för 7400-serien är 7 V (*M74HC240 Octal Bus Buffer with 3 State Outputs (Inverted)* 2001) och 18 V för 4000-serien (*HEF4093B Quad 2-input NAND Schmitt trigger* 2011), därför valdes det att använda en 5 V spänningsregulator för att mata logikkretsarna. Även styrsignalerna på 24 V måste anpassas till denna spänningsnivå, detta gjordes genom optokopplare.

Det finns flera förbättringar att göra men eftersom det i första hand söks en ungefärlig bild av funktion, kostnader och livslängd bedömdes kretsen som tillräcklig. Till exempel ger lösningen med logikgrindar potentiellt en kortslutning under cirka 100 ns vid varje omslag. För att lösa BBM-problemet utan H-bryggekrets kan en diod och resistor parallellkopplade till varje MOSFET:s gate (figur 4.5) användas för att öka resistansen vid påslag, men låta frånslag gå via dioden. På så sätt fås ett långsammare tillslag än frånslag, vilket gör att kortslutning i H-bryggan undviks. Genom att välja värde på resistansen justeras fördröjningen så att kortslutning undviks samtidigt som avbrottet som uppstår blir så kort som möjligt. Priset för att bygga ovan beskriven motorstyrning skulle bli cirka 215 SEK (bilaga A). Även här är det svårt att jämföra livslängd mot befintlig motorstyrning då de inte specificeras på samma sätt.



Figur 4.5 Schematiskt lösningsförslag på BBM-problematik för kretskortsmonterad lösning.

4.2 Utvärdering av lösningsförslag

Efter att de olika lösningförslagen presenterats för företaget och diskuterats ansågs det att lösningförslaget baserat på en kommersiell motorstyrning skulle passa bäst. Lösningen med industriella halvledarreläer faller bort för att den har både sämst funktion, möjligheten att styra motorernas hastighet via PWM finns inte, och att kostnaden för lösningen är den högsta. Efter diskussioner om att köpa en kommersiell motorstyrning eller att själva producera en krets valdes förslaget att själva producera en krets bort. Anledningen till detta var att antalet efterfrågade motorstyrningar är för många för att själva bygga kretsen, men för få för att låta någon annan producera kretsen jämfört med det högre priset på en kommersiell motorstyrning. Avvikelse i styrsignaler ansågs kunna hanteras av den mer avancerad PLC-baserade styrningen som håller på att utvecklas parallellt där styrsignalerna enkelt kan anpassas. Företaget har dessutom tidigare använt några av Electromen Oys motorstyrningar och har tillgång till bland annat en EM-115 samt en EM-241, som är en mindre strömtålig variant av EM-243A, för praktiska test av funktionen hos dessa. Detaljer kring uppkoppling av EM-241 finns i bilaga D.

4.3 Motorstyrning för AC- och BLDC-motorer

Företaget tillverkar inte bara ställdon med borstade DC-motorer utan även med AC- eller BLDC-motorer. Det fanns ett önskemål att i mån av tid även undersöka möjligheten att implementera

liknande motorstyrningar för AC- samt BLDC-ställdon. Efter att lösningen för borstade DC-motorer hade tagits fram bedömdes det att det fanns nog tid för att även undersöka både AC- samt BLDC-motorstyrningar.

I testlabet där motorstyrningarna är tänkta att användas sker liknande tester med olika typer av motorer. För att förenkla uppställningen önskas ett modulärt system där motorstyrningarna enkelt kan bytas ut beroende på vilken motortyp som skall testas. Det önskas också att inkopplingen samt insignalerna till de olika motorernas motorstyrning skall vara liknande.

4.3.1 AC-motorstyrning

Företaget önskar att kunna utföra tester med 0,04 kW asynkrona AC-motorer, vilket är i de nedre spannet av typiska AC-motorers effekt. För att kunna implementera hastighetsstyrning av motorerna valdes det att använda en frekvensomriktare som styr motorns hastigheten genom att variera frekvensen på spänningen till de tre faserna på motorn. Frekvensomriktare märkta med en viss effekt har även en begränsning på minsta last, detta begränsar urvalet av lämpliga sådana, då motorerna som avses att styras har en förhållandevis låg effekt. Frekvensomriktare för effekter i den storleken matas oftast med 230 V enfas. Detta begränsar också utspänningen till 230 V, vilket skulle innebära att dessa motorer bör köras delta-kopplade (Spielberg 2011). Den billigaste frekvensomriktaren som uppfyllde kraven visade sig vara Siemens SINAMICS G110 0,12 kW (*SINAMICS G110 Operating Instructions* 2005) som även finns tillgänglig i en variant med inbyggt EMI-filter, vilket är önskvärt i miljön där de är avsedda att användas. G110 finns i två utföranden, den ena, USS-varianten, kontrolleras och konfigureras via RS-485 och den andra, analoga varianten, styrs via digitala och analoga ingångar samt konfigureras via en tillhörande Basic Operating Panel, BOP. För att efterlikna styrningen för borstade DC-motorer som styrs via digitala och analoga ingångar valdes det att använda den analoga varianten av G110.

G110 har många olika avancerade inställningsmöjligheter (*SINAMICS G110 Parameter List* 2004). För att förenkla användandet och inkopplingen valdes det att enbart modifiera de nödvändiga inställningsparametrarna och låta övriga behålla fabriksinställningen. Inställningar för motorns egenskaper hämtas direkt ur databladet för denna (Spielberg 2011). Frekvensomriktaren kan styras med olika signaluppsättningar med antingen två eller tre ledare. För att bäst efterlikna DC-motorstyrningen valdes det att använda den som kallas "2-wire control". Signalerna i "2-wire control" består av två digitala 24 V-signaler; en för fram och en för back, samt en analog 0-10 V-signal för hastighetsstyrning. Detta är analogt med den valda DC-motorstyrningen EM-243A och G110 skulle därför kunna styras med samma uppställning som EM-243A.

G110 kan även ställas in att lägga an en DC-broms när ingen riktningssignal ges. DC-bromsen arbetar genom att lägga en konstant spänning över en av spolarna i motorn med avsikt att skapa ett magnetfält som minskar motorns rotation. Ett önskemål var att kunna bromsa ställdonet genom motorn, vilket DC-bromsen kan användas till. DC-bromsen kan även ligga an då motorn står still. När bromsen är anlagd utvecklas det värme i motorn, detta bör tas i beaktning och maximal bromsström samt bromstid bör beräknas. Dessa begränsningar kan sedan ställas in i G110 för att undvika överhettning av motorn. Kompletta inställningar samt inkoppling kan beskådas i bilaga G. Kostnaden för en G110 av vald modell, tillbehör för DIN-skenemontering samt BOP är 1920 SEK. Det finns inga uppgifter på livslängd från tillverkaren, men då det rör sig om halvledarkomponenter bedöms den vara tillfredsställande lång.

4.3.2 BLDC-motorstyrning

Företaget tillverkar också ett ställdon som drivs av en 24 V BLDC-motor med märkströmmen 6,2 A. Det finns intresse av att även kunna testa ställdon med dessa motorer på liknande sätt som ställdonen med borstade DC-motorer. Motorn har inbyggda Hall-sensorer och hastigheten kan med hjälp av dessa styras mycket exakt. Efter avsökning av marknaden visade det sig att Electromen Oy även tillverkade två olika BLDC-motorstyrningar i lämplig storlek med gränssnitt likt den valda styrningen för borstade DC-motorer. EM-151B som kan hantera 25 A och kostar 120 € samt EM-206 som kan hantera 10 A och kostar 84,16 €. Båda styrningar skulle passa tillämpningen, dock har EM-206 nackdelen att den har en regenererande broms (*EM-206 Brushless Motor Controller 12-36V 10A*). Detta innebär att elströmen som uppstår då motorns rotation drivs av ett yttre moment kommer att läggas tillbaka på matningsledningen. Detta kan vara önskvärt om motorstyrningen matas med en elektrisk ackumulator, men kan vid matning via till exempel switchade nätaggregat skada nätaggregaten eftersom höga spänningar kan uppstå. Detta kan dock hanteras då företaget har tillgång till kraftiga linjära nätaggregat och därför väljs EM-206 för att genomföra praktiska tester samt utvärdering.

Inställning av EM-206 sker via två byglar samt fyra stycken trimpotentiometrar. Den ena bygeln anger 60° eller 120° motorkommutering och den andra om Hall-sensorerna eller "zero-crossing" skall användas för att bestämma motorns hastighet. Av de fyra trimpotentiometrarna används två stycken för skalning av den analoga hastighetssignalen, en för inställning av rotationshastighet samt en för strömbegränsning. Insignalerna skiljer sig något från DC-motorstyrningen EM-243A; istället för en fram- och en backsignal har EM-206 en påsignal, en riktningssignal och även en bromssignal. Dock har EM-206 i likhet med EM-243A en analog hastighetssignal 0-10 V. Motorn körs åt ett håll då påsignal ges och åt det andra hållet då på- och backsignal ges samtidigt. Hastigheten i båda riktningar ställs via den analoga hastighetssignalen. Fullständig inkoppling samt konfiguration kan beskådas i bilaga F. Det finns önskemål även här att hålla en last stationär. Det kan åstadkommas genom att montera en för ändamålet anpassad elektromekanisk broms på BLDC-motorn som kan hålla hela lasten. Det totala priset för EM-206 samt tillbehör för DIN-skenemontering blir 94 €. Det finns inga uppgifter om livslängd, men bör vara lång då motorstyrningen är baserad på halvledarkomponenter.

4.4 Praktiskt test av valda motorstyrningar

För att utvärdera de valda lösningarna skulle det utföras praktiska tester med dessa. Tid och resurser begränsade antalet tester som kunde utföras och därför bestämdes det att de ställdon det skulle utföras tester på var AC- samt BLDC-ställdon. Detta då företaget hade intresse av att utföra flera tester på dessa don samt att de redan hade tillgång till ett exemplar av den valda BLDC-motorstyrningen EM-206 som använts i andra sammanhang. Uppkopplingen skulle ske på DIN-skenor i ett skåp och styras med ett system som utvecklas parallellt för Siemens LOGO! PLC-system.

Testerna som företaget vill utföra samtidigt som funktionen hos de framtagna motorstyrningarna testas är för AC-ställdonet en last på 100 kg som repetitivt höjs först med en hastighet motsvarande 120 Hz till motorn till en viss höjd, sedan fortsätter med en hastighet motsvarande 50 Hz till toppläget och sedan sänks till bottenläget med hastigheten motsvarande 50 Hz. Under detta förfarande vill företaget kunna mäta temperaturen i motorn och växeln samt strömen till

motorn. Detta kräver tre lägesgivare monterade i anslutning till ställdonet, en temperaturgivare, ett egenkonstruerat strömmätningsskort samt ingångar till PLC:n för motsvarande funktioner. BLDC-ställdonet vill de testa att köra med 400 kg last i högsta möjliga hastighet från botten- till toppläge, pausa fem sekunder, tillbaka till bottenläge och sedan pausa ett visst antal sekunder som regleras för att ge en temperatur på 60 °C i ställdonets växel. Även här vill de kunna mäta strömen till motorn. Förutom att det enbart behövs två stycken lägesgivare för detta är givarna analoga med AC-motorn.

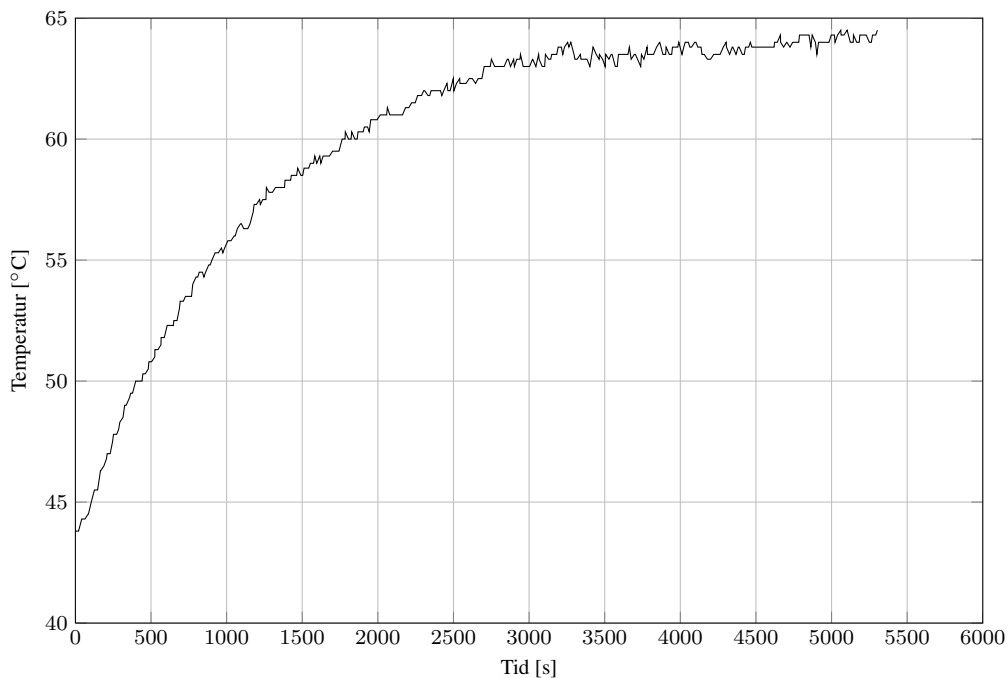
Frekvensomriktaren G110 för AC-ställdonen matas med 230 V samtidigt som bland annat PLC:n samt BLDC-motorstryningen EM-206 matas med 24 V. För att skåpet ska vara modulärt valdes det att mata PLC:n, samt andra 24 V-enheter med ett internt nätaggregat för att minska antalet externa anslutningar. Det visade sig dock att det inte var lämpligt att mata EM-206 med det switchade nätaggregatet som användes i lådan på grund av att spänningen som återmatades blev så hög att överspänningsskyddet i nätaggregatet slog ifrån. Istället valdes det att mata BLDC-motorstyrningen med ett externt linjärt nätaggregat som kunde hantera den återmatade strömmen. Övriga 24 V-enheter valdes dock att matas med det interna nätaggregatet för att hålla skåpet användbart även utan extern 24 V-matning. All matning säkras internt och kopplas i största möjliga utsträckning genom ett säkerhetsrelä som kan brytas via ett nödstopp. 230 V-matningen kopplas dessutom genom en jordfelsbrytare. Anslutning till PLC samt övriga detaljer i uppkopplingen kan studeras i bilaga H.

G110 konfigureras utöver inställningar för motorns egenskaper samt "2-wire control" med ett antal andra inställningar. Anmärkningsvärda inställningar är startströmmen, som enligt databladet för motorn kan uppnå 470% (Spielberg 2011), men den maximala inställningen på G110 är 400% (*SINAMICS G110 Parameter List* 2004), vilket blir den valda inställningen. För att minska slitaget på motor och ställdon samt för att minska startströmen valdes en startramp på 1,5 s. Däremot sattes stopprampen till 0 s för att undvika att donet slår i ändläget efter att ha passerat en ändlägesgivare på grund av den stoppsträcka som skulle uppstå vid stopprampning. Den så kallade OFF3-stopprampningen används inte i denna tillämpning och lämnas då till fabriksinställningen 5 s. DC-bromsen konfigureras att matas med 0,048 A efter konsultation med företaget. Den maximala bromstiden sattes till 15 s, den behöver dock inte begränsas enligt ekvation och kan därför ökas vid behov. Kompletta parameterinställningar kan studeras i bilaga G. Då AC-motorn skulle köras med hastigheter uppåt 120 Hz uppstod det problem. Hastigheten rampades aldrig upp över en viss frekvens och motorns hastighet låg tydligt under den utgående frekvensen. En anledning till detta kan ha varit att eftersläpningen blev för stor och motorn tappade för mycket vridmoment vid höga frekvenser, en annan att induktansen i motorn dämpade matningen vid så höga frekvenser. Efter undersökning av slaghastigheten vid frekvenserna i spannet 50 till 120 Hz och diskussioner med företaget angående detta bestämdes det att den höga hastigheten istället för 120 Hz skulle vara 85 Hz, vilket experiment visat att motorn kunde uppnå med 100 kg last.

EM-206 visade sig vara svår att ställa in då skalan på de olika trimpotentiometrarna är något oklar. För att få motorn att gå bra krävdes det att trimpotentiometrarna ställdes in och testades under drift, dock anges teoretiska optimala inställningar i bilaga F.

Då företaget vill utföra tester där BLDC-ställdonet skall köras med en intermittens som ger en temperatur på 60 °C i ställdonets växel krävdes det en regulator. Siemens LOGO! har ett funktionsblock för PI-regulator och därför bestämdes det att parametrarna för en PI-regulator passande detta ändamål skulle tas fram. Regulatorn utformades så att utsignalen var intermittensen i procent och insignalen var temperaturen i växeln i grader celcius. Testet är utformat så att väntetiden

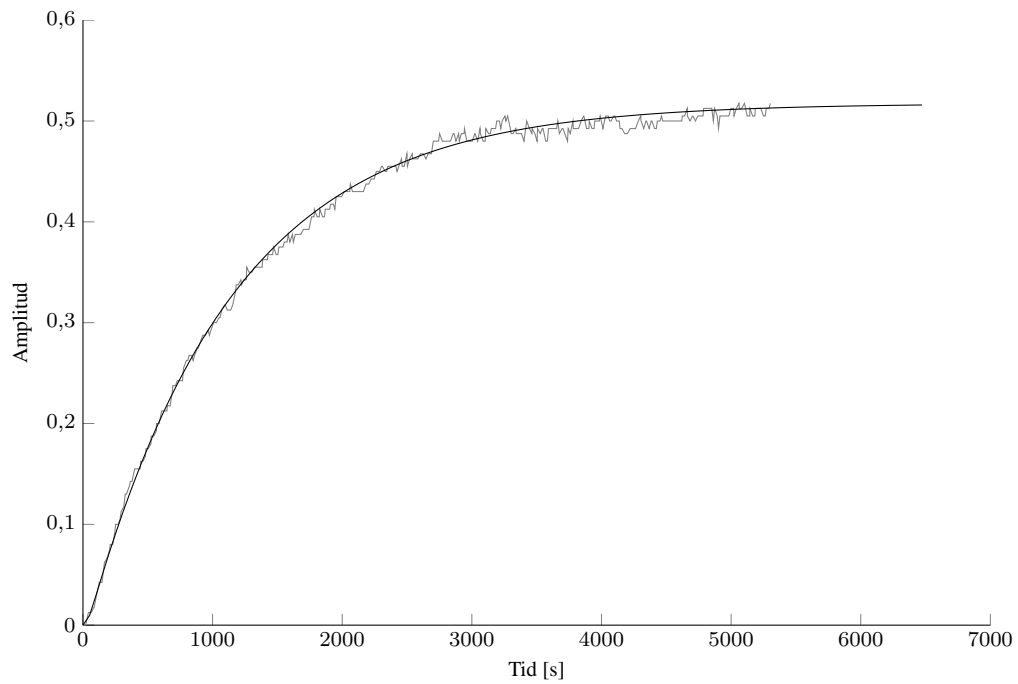
när ställdonet är i det övre läget alltid är 5 s, därför skall regulatorns utsignal enbart påverka den nedre väntetiden. För att ändå ge en korrekt representation av intermittenzen skall även väntetiden i det övre läget räknas in i denna. Det skrevs ett program till Siemens LOGO! för att utföra ett stegsvar efter dessa premisser som kan beskådas i bilaga I. För att inte överstiga motorns specificerade maxtemperatur 70 °C (*FL57BL03-24V-30100TBB-8P-1(R.S04) Specification 2010*) gjordes experiment på ungefärlig intermittenzen för att uppnå 60 °C. Därefter bestämdes det att steget skulle göras från 20% till 60% intermittenzen (figur 4.6). Ur det uppmätta stegsvaret bestämdes parametrar för att enligt metoden i Thomas 2008 ss. 112-113 ta fram en överföringsfunktion. Det kunde utläsas en dötid på $L = 8$ s. Med kompensation för dötiden bestämdes $t_{1/3}$ till 477 s och $t_{2/3}$ till 1252 s. Starttemperatur $T_{20\%}$ och sluttemperatur $T_{60\%}$ bestämdes till 43,8 °C respektive 64,5 °C. Processen identifierades att ha två tidskonstanter och $Q = t_{2/3}/t_{1/3} \approx 2,62$ gav $a = 0,025$ och $P = 1,095$. T bestämdes därur till $T = t_{2/3}/(P(1+a)) \approx 1115,5$. Förstärkningen K bestämdes till $K = (T_{60\%} - T_{20\%})/(60 - 20) = 0,5175$. Detta gav överföringsfunktionen i ekvation 4.1.



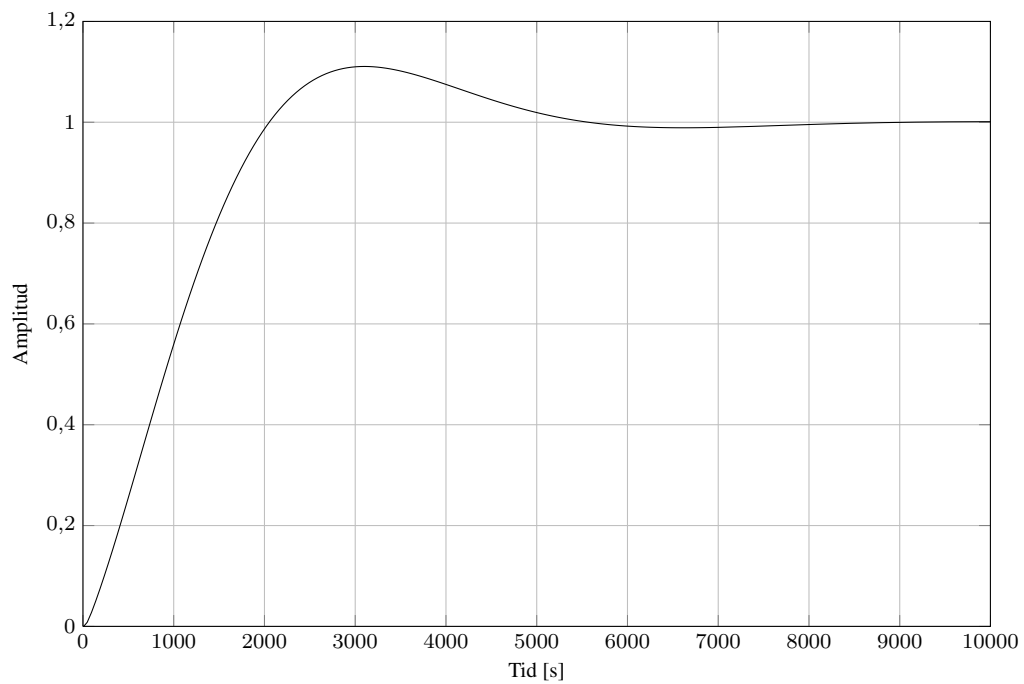
Figur 4.6 Stegsvaret för temperaturen i BLDC-ställdonet vid intermittenzen från 20% till 60%.

$$G(s) = \frac{K \cdot e^{-Ls}}{(1 + Ts)(1 + aTs)} \approx \frac{0,5175 \cdot e^{-8s}}{31110 \cdot s^2 + 1143 \cdot s + 1} \quad (4.1)$$

För att ge en fingervisning om överföringsfunktionens precision jämfördes modellens stegsvar med det uppmätta resultatet (figur 4.7), vilket visade ett tillfredsställande resultat. För att beräkna lämpliga PI-parametrar användes MATLABs `pidtool` där resultaten blev $K_p = 0,96$ och $T_i = 362$. För ett system med modellen för BLDC-ställdonet återkopplat via PI-regulatorn blir stegsvaret enligt figur 4.8.



Figur 4.7 Stegsvär för modellen jämfört med det uppmätta stegsvaret.



Figur 4.8 Stegsvär för med PI-regulatorn reglerad modell.

5 SLUTSATSER

Valet att använda en kommersiell motorstyrning var en tidseffektiv lösning, därför fanns det även tid att även undersöka motorstyrningar även för både AC- samt BLDC-motorer. Detta renderade i att praktiska tester av DC-motorstyrningen uteblev. Detta kan anses vara acceptabelt då motorstyrningen som helhet redan är testad av tillverkaren. Vid val av motorstyrning där kritiska delar hade konstruerats på egen hand hade dock praktiska tester varit nödvändiga för att säkerställa funktionen. Till skillnad från den valda BLDC-motorstyrningen, EM-206, som testades och visade sig vara svår att ställa in korrekt har den valda DC-motorstyrningen, EM-243A, en speciellt avsedd inställningsenhet, istället för trimpotentiometrar. Detta talar för att konfigurationen av EM-243A kan vara enklare och att motorstyrningen därmed också är enklare att använda i praktiken. DC-motorstyrningar är enklare i konstruktionen då de reglerar hastigheten genom att ställa spänningsnivån till motorn, till skillnad från BLDC-motorstyrningar som reglerar frekvensen och därmed också måste vara medveten om motorns rotationshastighet. Även dessa faktorer minskar vikten av praktiska tester av DC-motorstyrningen.

För att styra AC-ställdon valdes det en frekvensomriktare som då också kan reglera hastigheten på motorn i ställdonet. AC-motorn uppvisade oväntat beteende då frekvensen rampades över en viss gräns; istället för att öka, minskade hastigheten för att tillslut stanna. Efter tester med olika last förmodades problemet bero på stor eftersläpning som lett till minskat vridmoment. Det resultatet anses inte helt tillfredsställande, men då det förmodas bero på motorn är det svårt att påverka detta genom frekvensomriktaren. Eventuellt skulle högre startström eller längre ramptider kunna minska problemet, men efter experimenterande med detta visade det sig ha marginell effekt. En nackdel med systemet är att frekvensomriktaren matas med 230 V och då också enbart kan lämna ifrån sig 230 V till motorn, vilket gör att motorn bör köras delta-kopplad. En intressant sak att undersöka hade varit hur motorn beter sig i högre frekvenser matad med 400 V och Y-kopplad, men vilket då inte är möjligt med den valda frekvensomriktaren. En annan oväntad egenskap med uppställningen av styrningen till AC-ställdonet var att frekvensomriktaren till synes utvecklade lika mycket värme när donet stod i viloläge som under drift, men då specifikationerna för hur ställdonet får monterats följts ansågs inte det kunna skapa några problem. Den valda frekvensomriktaren, Siemens SINAMICS G110 finns också tillgänglig i en variant som styrs och kan konfigureras via RS-485. Att frångå önskemålen om styrsignaler liknande den ursprungliga styrningen och istället använda RS-485-varianten skulle förenkla inkopplingen, då färre signalkablar behöver anslutas samt att konfigurationen då skulle kunna ske automatiskt av PLC:n.

BLDC-styrningen EM-206 fungerade mycket tillfredsställande efter vissa problem med konfigurationen. EM-206 ställs in helt via jumprar och trimpotentiometrar som i praktiken visade sig vara svåra att ställa in. Även inkoppling av motorfaser och Hall-sensorer innebar vissa problem då de båda måste vara synkroniserade mot varandra, även detta är i teorin enkelt men visade sig innebära svårigheter i praktiken.

Parametrarna till PI-regulatorn som togs fram visade sig fungera tillfredsställande. Regulatorn avser att reglera intermittensen för ställdonens slag. Ingen undersökning av insvängningsförloppet utfördes, men då regleringen är av så enkel karaktär gjordes bedömningen utifrån att mäta temperaturen och konstatera att den lagt sig på inställt börvärde. En möjlighet var att betrakta processen som diskret där ett sampel tas efter varje slag för att undvika eventuella periodiska temperaturändringar som uppkommer av slagens cykliska natur. Detta avfärdades av flera skäl. Dels då olika intermittenser skulle ge olika samplingsfrekvenser, dels då temperaturändringarna

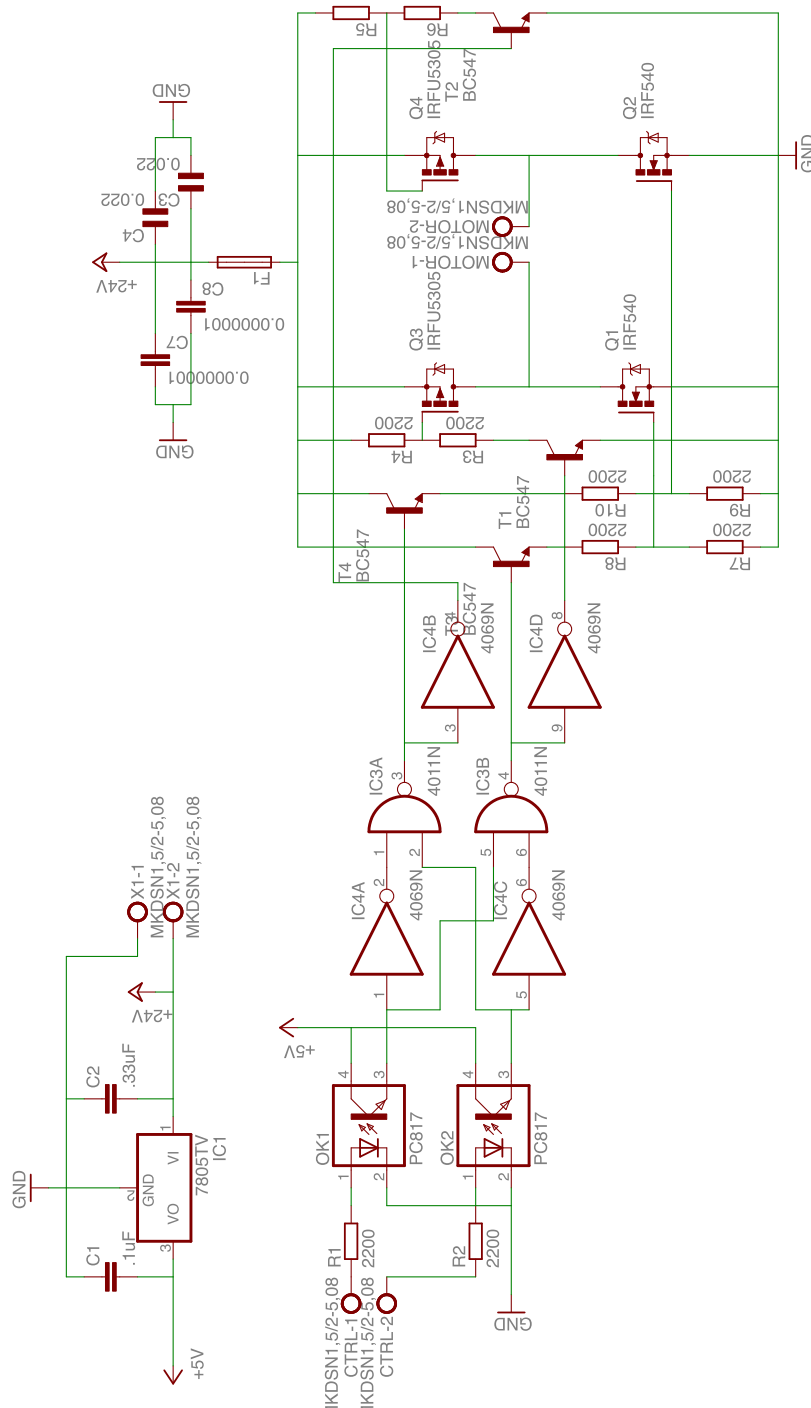
under ett slag observerades vara små under framtagande av stegsvaret, och dels då Siemens LOGO! har ett färdigt block för PI-regulator men stora begränsningar för vad som kan implementeras i övrigt. På grund av detta har processen betraktats som en kontinuerlig process lämplig att regleras med en PI-regulator.

6 REFERENSER

- CKM Series* (2012). Crydom Inc. URL: http://www.crydom.com/en/products/catalog/c_km.pdf (hämtad 2013-05-20).
- EM-115 DC-motor Control Unit 12-36V 25A 4-quad*. Electromen Oy. URL: http://www.electromen.com/pdf/EN_em-115.pdf (hämtad 2013-05-20).
- EM-206 Brushless Motor Controller 12-36V 10A*. Electromen Oy. URL: http://www.electromen.com/pdf/EN_em-206.pdf (hämtad 2013-05-20).
- EM-243A DC-Motor Controller 12-42V 50A*. Electromen Oy. URL: http://www.electromen.com/pdf/EN_em-243a.pdf (hämtad 2013-04-11).
- FL57BL03-24V-30100TBB-8P-1(R.S04) Specification* (okt. 2010). DC Brushless Motor. Fuling Motor.
- General-purpose Relay G2R-[J-S* (2009). OMRON Corporation. URL: http://www.ia.omron.com/data_pdf/data_sheet/g2r--s_ds_csm42.pdf (hämtad 2013-05-20).
- HEF4093B Quad 2-input NAND Schmitt trigger* (nov. 2011). NXP Semiconductors. URL: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000286.pdf> (hämtad 2013-05-20).
- IRF5305PbF HEXFET® Power MOSFET* (okt. 2003). International Rectifier. URL: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf5305pbf.pdf> (hämtad 2013-05-20).
- IRF540, SiHF540 Power MOSFET* (okt. 2012). Vishay Intertechnology, Inc. URL: <http://www.vishay.com/docs/91021/91021.pdf> (hämtad 2013-05-20).
- M74HC240 Octal Bus Buffer with 3 State Outputs (Inverted)* (2001). STMicroelectronics. URL: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000286.pdf> (hämtad 2013-05-20).
- SINAMICS G110 Operating Instructions* (april 2005). Siemens AG. URL: http://www.automation.siemens.com/doconweb/pdf/SINAMICS_1109_E/G110_BA.pdf (hämtad 2013-05-20).
- SINAMICS G110 Parameter List* (nov. 2004). Siemens AG. URL: https://www.automation.siemens.com/doconweb/pdf/SINAMICS_1008_E/G110_PL.pdf (hämtad 2013-05-20).
- Spielberg (sept. 2011). *LFU56/2B-11 Data Sheet*. Three-phase A.C. Motor. ATB.
- The Life Expectancy of Solid State Relays* (febr. 2011). URL: <http://www.crydom.com/en/Tech/Newsletters/Solid%20Statements%20-%20Life%20Expectancy%20of%20SSRs.pdf> (hämtad 2013-05-20).
- Thomas, Bertil (2008). *Modern reglerteknik*. Fjärde upplagan. Stockholm: Liber AB. ISBN: 91-47-09323-6.
- Valentine, Richard (1998). *Motor Control Electronics Handbook*. New York: McGraw-Hill. ISBN: 0-07-066810-8.

BILAGA A: KRETSKORTSMONTERAD LÖSNING

1 Kopplingsschema



Figur 1 Kopplingsschema för kretskortsmonterad lösning.

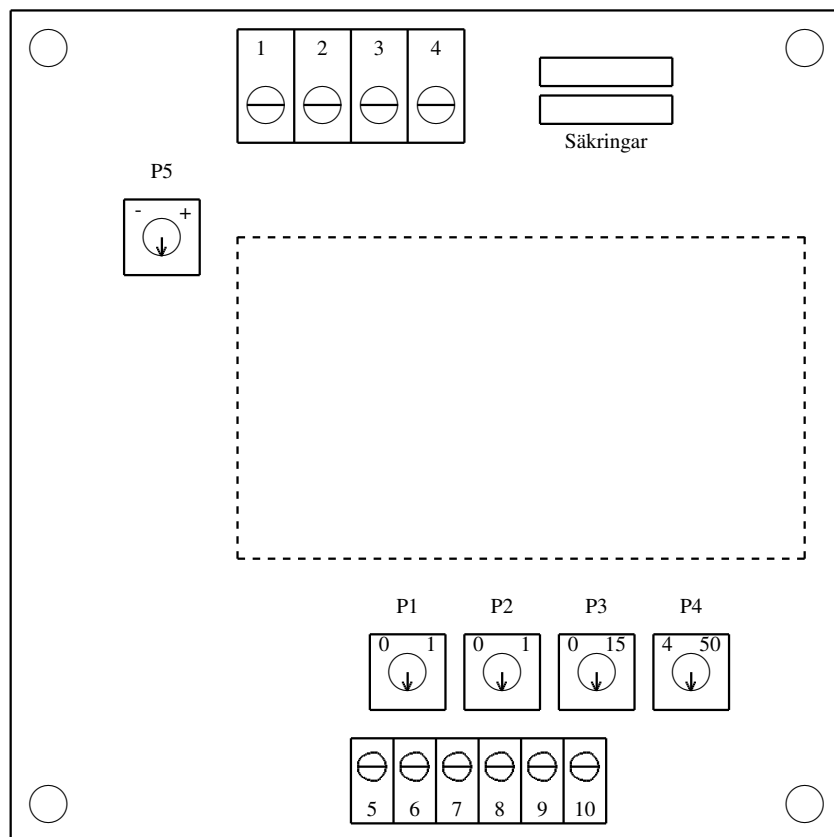
2 Komponentlista

Beteckning	Antal	À Pris [SEK] ¹	Pris [SEK]
Logikkrets Octal Inverter TS DIL-20, M74HC240B1R	1	6,51	6,51
Logikkrets Quad 2-In. NAND S.-T. DIL-14, HEF4093BP	1	4,65	4,65
Spänningsregulator 5 V TO-220, L7805ACV	1	6,33	6,33
Elektrolytkond 330 nF 100 VDC, TKPR33M2AD11ME4	1	0,66	0,66
Elektrolytkond 100 nF 100 VDC, TKP0R1M2AD11ME4	1	0,66	0,66
IRF540PBF	2	17,5	35
IRF5305PbF	2	14,4	28,8
EL 817	2	4,38	8,76
BC547A	4	0,512	2,048
MF55SSF/MF0204	8	0,712	5,696
Säkring 25 A 32 VDC, Natur, F7925	1	4,38	4,38
Säkringshållare miniOTO, mini, FUN, FK1, H7810	1	12,8	12,8
WGR222M1VK42VU	2	14,4	28,8
Kylelement, 579302B00000	4	6,05	24,2
SF1H104Z-L515B	2	0,647	1,294
Laboratoriekort FR2 fenolpapper, 811-5	1	32,7	32,7
Kopplingsplint PCB 2P 5 mm	2	5,96	11,92
		Summa:	215,208

¹ Priser från Elfa Distrelecs hemsida <http://www.elfa.se/>.



BILAGA C: ANSLUTNING AV ELECTROMEN EM-115



Figur 1 *Principskiss av Electromen EM-115.*

1 Anslutning av kablar

1 24 V matningsspänning (bör ha 12 A säkring)

2 Motor +

3 Motor -

4 Jord

6 Backsignal från PLC

7 Framsignal från PLC

9 Analog hastighetssignal från PLC

10 Signaljord

Övriga Oanslutna

2 Parameterinställning via trimpotentiometrar

P1 1 (Ingen intern hastighetsbegränsning)

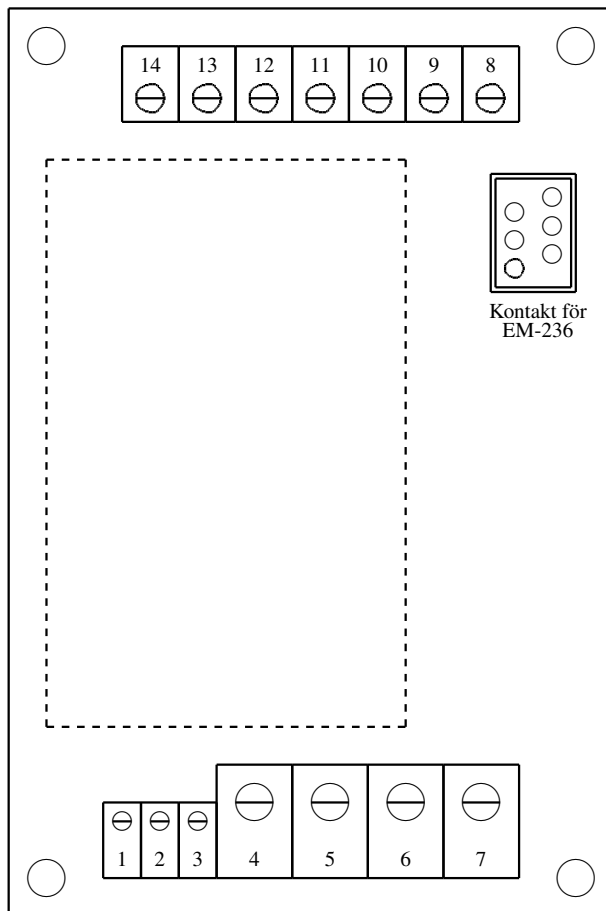
P2 Används ej

P3 0 (Ingen rampning)

P4 50 A (Strömbegränsning)

P5 Testas

BILAGA D: ANSLUTNING AV ELECTROMEN EM-241



Figur 1 *Principskiss av Electromen EM-241.*

1 Anslutning av kablar

4 Jord

5 Motor +

6 Motor -

7 24 V matningsspänning (bör ha 20 A säkring)

8 Signaljord

9 Framsignal från PLC

10 Backsignal från PLC

11 Bromssignal från PLC

12 Analog hastighetssignal från PLC

Övriga Oanslutna

2 Parameterinställning via EM-236

5 running speed-2=0 (SPEED-2 analog ingång)

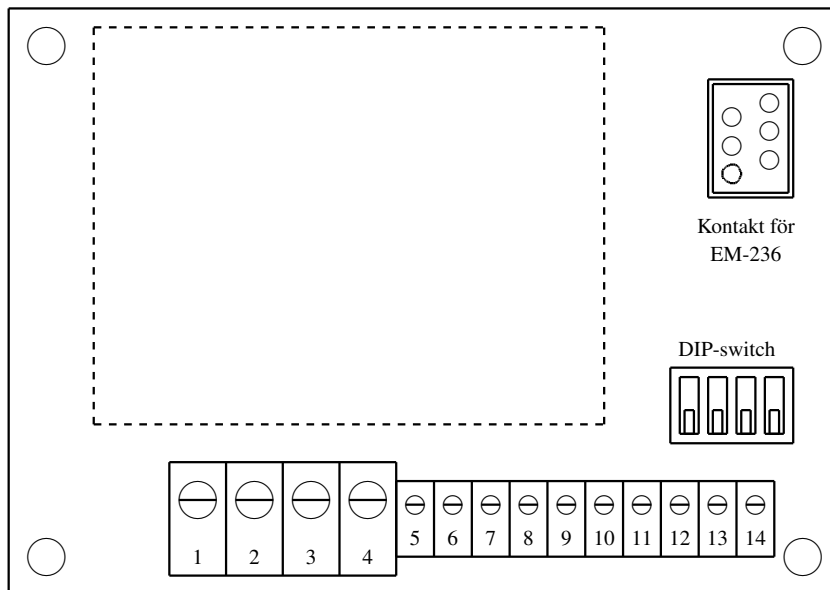
8 trip=0 (Ingen strömbegränsning, kan konfigureras efter motor)

15 start ramp=10 (0,1 s startramp)

16 stop ramp=10 (0,1 s stoppramp)

Övriga Standardinställning

BILAGA E: ANSLUTNING AV ELECTROMEN EM-243A



Figur 1 *Principskiss av electromen EM-243A.*

1 Anslutning av kablar

1 24 V matningsspänning (bör ha 20 A säkring)

2 Motor +

3 Motor -

4 Jord

5 Signaljord

6 Framsignal från PLC

7 Backsignal från PLC

8 Stopsignal från PLC

9 Analog hastighetssignal från PLC

Övriga Oanslutna

2 Parameterinställning via EM-236

5 running speed-2=0 (SPEED-2 analog ingång)

6 current limit FW=20 (20 A strömbegränsning framåt)

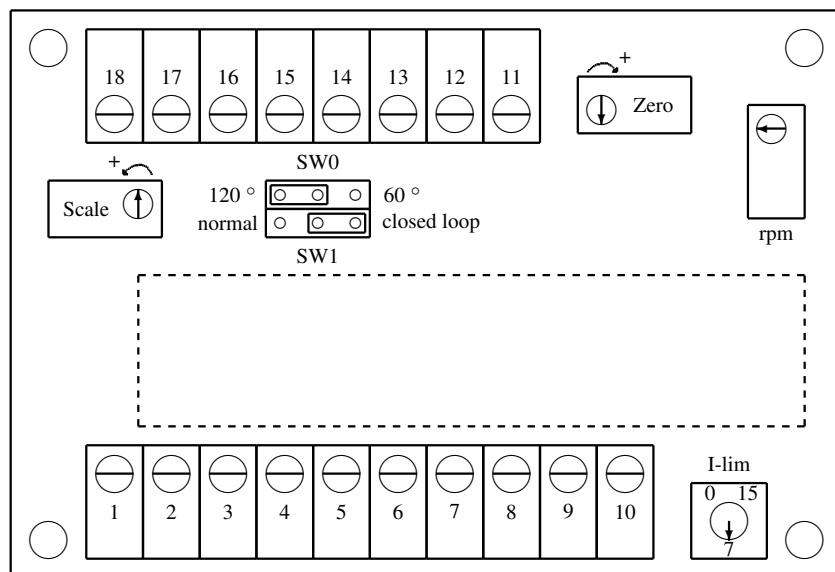
7 current limit REV=20 (20 A strömbegränsning bakåt)

15 start ramp=10 (0,1 s startramp)

16 stop ramp=10 (0,1 s stoppramp)

Övriga Standardinställning

BILAGA F: ANSLUTNING AV ELECTROMEN EM-206



Figur 1 *Principskiss av Electromen EM-206.*

1 Anslutning av kablar

1 24 V matningsspänning (bör ha 12 A säkring)

2 Jord

3 Motor fas C

4 Motor fas B

5 Motor fas A

6 Jord hallsensor

7 Hallsensor C

8 Hallsensor B

9 Hallsensor A

10 6,2 V matning hallsensorer

12 Analog hastighetssignal från PLC

13 Bromssignal från PLC

14 Riktningssignal från PLC

15 Påsignal från PLC

17 Signaljord

Övriga Oanslutna

2 Parameterinställning via trimpotentiometrar

Scale Max. (10 V analog styrsignal)

Zero Min. (0 V nolläge för analog styrsignal)

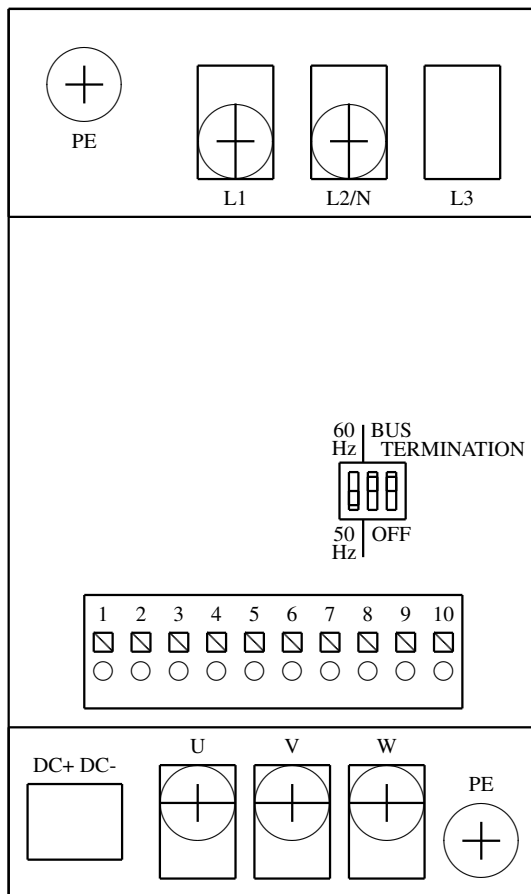
rpm Testas

I-lim 15 A (15 A trömbegränsning)

SW0 120° (120° motorkommutering)

SW1 Closed loop (Återkoppling med hallsensorer)

BILAGA G: ANSLUTNING AV SIEMENS SINAMICS G110 0,12 KW



Figur 1 *Principskiss av Siemens G110 FSA.*

1 Anslutning av kablar

PE (2 st) Matningsjord/motorjord

L1 Fasledare matningsspänning

L2/N Neutralledare matningsspänning

U Motorlindning U (Delta-kopplad)

V Motorlindning V (Delta-kopplad)

W Motorlindning W (Delta-kopplad)

3 Framsignal från PLC

4 Backsignal från PLC

9 Analog hastighetssignal från PLC

Övriga Oanslutna

2 Parameterinställning via DIP-switchar

DIP-switch 50 Hz

Övriga Används ej

3 Parameterinställning via BOP för ATB 3~Mot 56 0,04 kW

P0003 3 (Åtkomstgrad 3)

P0010 1 (Starta grundinställningar, P0003 måste vara 1)

P0100 0 (Använd kW och 50 Hz nätfrekvens)

P0304 230 (230 V, nominell motorspänning)

P0305 0.26 (0,26 A, märkström för motorn)

P0307 0.04 (0,04 kW, märkeffekt för motorn)

P0308 0.77 (0,77, effektfaktor för motorn)

P0309 59 (0,59, verkningsgrad för motorn)

P0310 50 (50 Hz, märkfrekvens för motorn)

P0311 2800 (2800 rpm, varvtal för motorn)

P0335 0 (Passiv kylning på motorn)

P0640 400 (4-faldig överlastströmgräns för motorn)

P0700 2 (Använd digitala ingångar för styrning)

P1000 2 (Använd analog ingång för hastighetsstyrning)

P1080 0 (0 Hz minsta frekvens till motorn)

P1082 85 (85 Hz högsta frekvens till motorn)

P1120 1.5 (1,5 s startramp)

P1121 0 (0 s stopramp)

P1135 5 (5 s OFF3-stopramp)

P1300 0 (Linjär hastighetsstyrning)

P3900 1 (Slutför grundinställningar samt återställ övriga till fabriksinställningar)

P0003 3 (Åtkomstgrad 3)

P0702 2 (Digital ingång 2, back)

P0727 1 (2-signalsstyrning, fram/back)

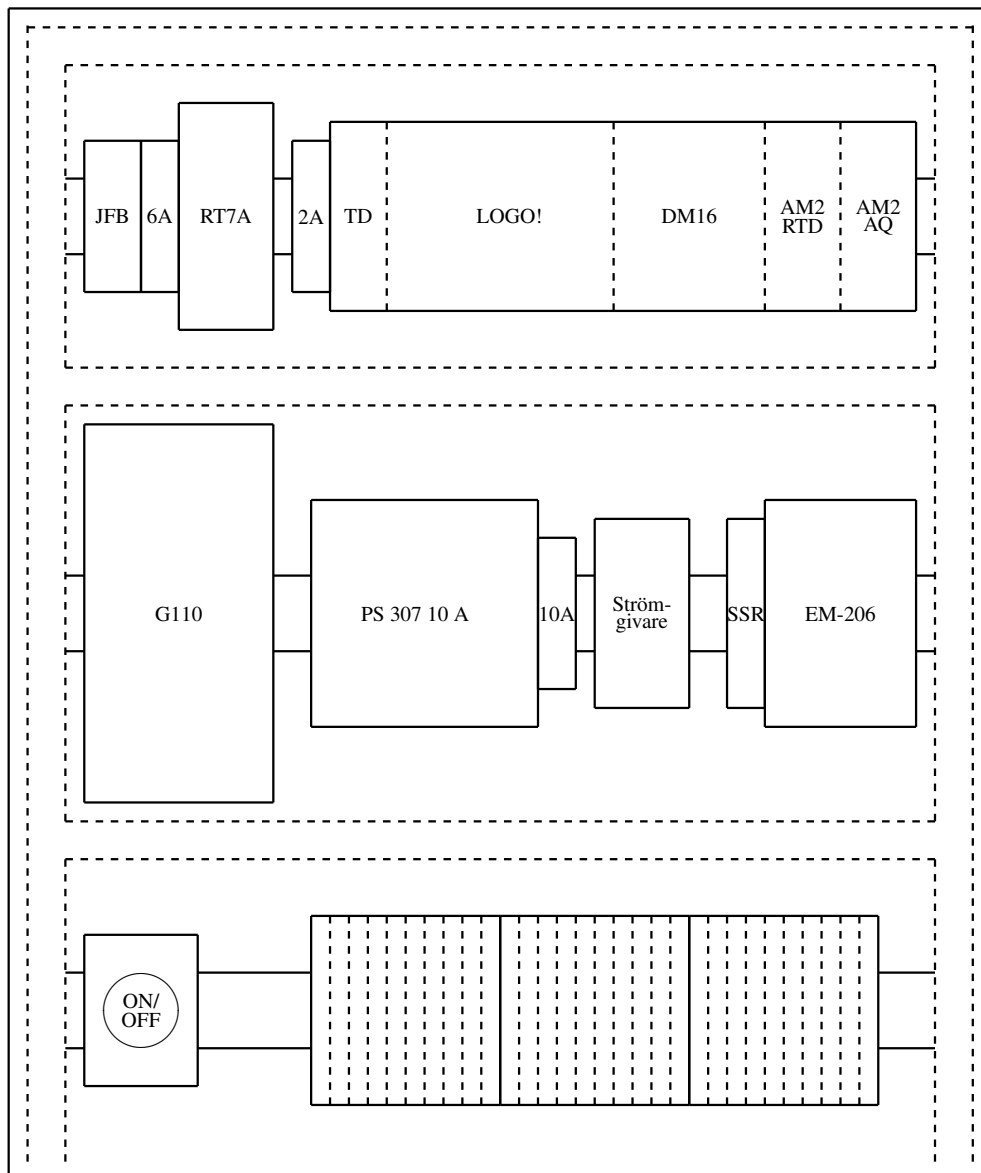
P1232 26 (0,048 A bromström vid 0,26 A märkström)

P1233 15 (Maximalt 15 s DC-broms)

P1234 15 (Bromstillslag vid 15 Hz)

P2000 85 (Referensfrekvens för hastighetsstyrning)

BILAGA H: UPPKOPPLING AV TESTRIGG



Figur 1 *Placering av moduler i testlåda.*

1 Anslutning av matningspänning

PS 307 ON/OFF → JFB → 6A → PS 307

RT7A PS 307 → 10A → RT7A

G110 ON/OFF → JFB → 6A → RT7A → G110

EM-206 Extern 24 V-plint → RT7A → EM-206

SSR PS 307 → 10A → RT7A → SSR

LOGO! PS 307 → 10A → RT7A → 2A → LOGO!

2 Anslutning av Siemens PS 307 10A

L1 JFB (2)→6A→L1

N JFB (N2)→6A→N

GND Jord

L+ L+→10A→RT7A (A1)

L+ L+→10A→RT7A (53)

M LOGO! (RCE M)

M LOGO! (DM16 M)

M LOGO! (AM2 RTD M)

M LOGO! (AM2 AQ M)

M EM-206 (17)

M SSR (A2-)

M SSR (0)

M Strömgivare (M)

M Plint (1)

3 Anslutning av säkerhetsrelä Jokab RT7A

A1 PS 307 (L+)→10A→A1

A2 Plint (1)

S13 Plint (210)

S14 Plint (211)

S23 S24 (byglas)

S34 S14 (byglas)

S53 Plint (212)

X1 Plint (213)

23 Extern +24 V-plint

24 EM-206 (1)

43 JFB→6A (L1)→43

44 G110 (L1)

53 PS 307 (L+)→10A→53

54 54→2A→LOGO! (RCE L+)

- 54** 54→2A→LOGO! (DM16 L+)
- 54** 54→2A→LOGO! (AM2 RTD L+)
- 54** 54→2A→LOGO! (AM2 AQ L+)
- 54** LOGO! (RCE Q1.2)
- 54** LOGO! (RCE Q2.2)
- 54** SSR (+)
- 54** Strömgivare (L+)
- 54** Plint (2)

4 Anslutning av Electromen EM-206

- 1** RT7A (24)
- 2** Extern 0 V-plint
- 3** Strömgivare (B1+)
- 4** Plint (201)
- 5** Plint (202)
- 6** Plint (203)
- 7** Plint (100)
- 8** Plint (101)
- 9** Plint (102)
- 10** Plint (204)
- 12** LOGO! (AQ V2+)
- 13** LOGO! (DM16 Q3)
- 14** LOGO! (DM16 Q2)
- 15** LOGO! (DM16 Q1)
- 17** PS 307 (M)

5 Anslutning av SSR Phoenix Contact PLC-OSC-24DC/24DC/10/R

- A1+** LOGO! DM16 Q3
- A2-** PS 307 (M)
- +** RT7A (54)
- 0** PS 307 (M)

A Plint (205)

6 Anslutning av Siemens SINAMICS G110

Övre PE Jord

L1 RT7A (44)

L2/N JFB (N2)

Undre PE Plint (209)

U Strömgivare (B2+)

V Plint (207)

W Plint (208)

3 LOGO! (RCE Q2.1)

4 LOGO! (RCE Q1.1)

7 PS 307 (M)

9 LOGO! (AQ V1+)

10 PS 307 (M)

7 Anslutning av strömgivare

L+ RT7A (54)

M PS 307 (M)

A1 LOGO! (RCE I7)

A2 LOGO! (RCE I8)

B1+ EM-206 (3)

B1- Plint (200)

B2+ G110 (U)

B2- Plint (206)

8 Anslutning av Siemens LOGO! med moduler

RCE L+ RT7A→2A→RCE L+

M PS 307 (M)

RCE Q1.1 G110 (3)

RCE Q1.2 RT7A (54)

RCE Q2.1 G110 (4)

RCE Q2.2 RT7A (54)

RCE I1 Plint (111)

RCE I2 Plint (112)

RCE I3 Plint (106)

RCE I4 Plint (114)

RCE I5 Plint (115)

RCE I6 Plint (116)

RCE I7 Strömgivare (A1)

RCE I8 Strömgivare (A2)

DM16 M (reläingångar) Plint (1)

DM16 Q1 EM-206 (15)

DM16 Q2 EM-206 (14)

DM16 Q3 EM-206 (13)

DM16 Q3 SSR (A1+)

DM16 I1 Plint (103)

DM16 I2 Plint (104)

DM16 I3 Plint (105)

DM16 I4 Plint (113)

DM16 I5 Plint (107)

AM2 RTD M1+ Plint (117)

AM2 RTD IC1 Plint (118)

AM2 RTD M1- Plint (119)

AM2 RTD M2+ Plint (108)

AM2 RTD IC2 Plint (109)

AM2 RTD M2- Plint (110)

AM2 AQ M1 Plint (1)

AM2 AQ M2 Plint (1)

AM2 AQ V1+ G110 (9)

AM2 AQ V2+ EM-206 (12)

AM2 AQ GND Jord

9 Kabelindex

1. ON/OFF (GND) ↔ Plint (GND)
2. ON/OFF (3) ↔ JFB (N1)
3. ON/OFF (1) ↔ JFB (1)
4. JFB (2) ↔ 6A (1)
5. JFB (N2) ↔ PS 307 (N)
6. JFB (N2) ↔ G110 (L2/N)
7. 6A (2) ↔ PS 307 (L1)
8. 6A (2) ↔ RT7A (43)
9. G110 (övre PE) ↔ Plint (GND)
10. RT7A (44) ↔ G110 (L1)
11. PS 307 (GND) ↔ Plint (GND)
12. Plint (1) ↔ RT7A (A2)
13. PS 307 (M) ↔ LOGO! (RCE M)
14. PS 307 (M) ↔ LOGO! (DM16 M)
15. PS 307 (M) ↔ LOGO! (AM2 RTD M)
16. PS 307 (M) ↔ LOGO! (AM2 AQ M)
17. Extern 0 V-plint ↔ EM-206 (2)
18. PS 307 (M) ↔ EM-206 (17)
19. PS 307 (M) ↔ SSR (A2-)
20. PS 307 (M) ↔ SSR (0)
21. PS 307 (M) ↔ Strömgivare (M)
22. PS 307 (M) ↔ Plint (1)
23. PS 307 (L+) ↔ 10A (1)
24. 10A (2) ↔ RT7A (A1)
25. 10A (2) ↔ RT7A (53)
26. RT7A (54) ↔ 2A (1)
27. 2A (2) ↔ LOGO! (RCE L+)
28. 2A (2) ↔ LOGO! (DM16 L+)
29. 2A (2) ↔ LOGO! (AM2 RTD L+)
30. 2A (2) ↔ LOGO! (AM2 AQ L+)
31. RT7A (54) ↔ LOGO! (RCE Q1.2)

32. RT7A (54) ↔ LOGO! (RCE Q2.2)
33. RT7A (24) ↔ EM-206 (1)
34. RT7A (54) ↔ SSR (+)
35. RT7A (54) ↔ Strömgivare (L+)
36. RT7A (54) ↔ Plint (2)
37. RT7A (S13) ↔ Plint(210)
38. RT7A (S14) ↔ Plint(211)
39. RT7A (S23) ↔ RT7A (S24)
40. RT7A (S34) ↔ RT7A (S14)
41. RT7A (S53) ↔ Plint (212)
42. RT7A (X1) ↔ Plint (213)
43. EM-206 (3) ↔ Strömgivare (B1+)
44. EM-206 (4) ↔ Plint (201)
45. EM-206 (5) ↔ Plint (202)
46. EM-206 (6) ↔ Plint (203)
47. EM-206 (7) ↔ Plint (100)
48. EM-206 (8) ↔ Plint (101)
49. EM-206 (9) ↔ Plint (102)
50. EM-206 (10) ↔ Plint (204)
51. EM-206 (12) ↔ LOGO! (AQ V2+)
52. EM-206 (13) ↔ LOGO! (DM16 Q3)
53. EM-206 (14) ↔ LOGO! (DM16 Q2)
54. EM-206 (15) ↔ LOGO! (DM16 Q1)
55. SSR (A1+) ↔ LOGO! (DM16 Q3)
56. SSR (A) ↔ Plint (205)
57. G110 (Undre PE) ↔ Plint (209)
58. G110 (U) ↔ Strömgivare (B2+)
59. G110 (V) ↔ Plint (207)
60. G110 (W) ↔ Plint (208)
61. G110 (3) ↔ LOGO! (RCE Q2.1)
62. G110 (4) ↔ LOGO! (RCE Q1.1)
63. G110 (9) ↔ LOGO! (AQ V1+)

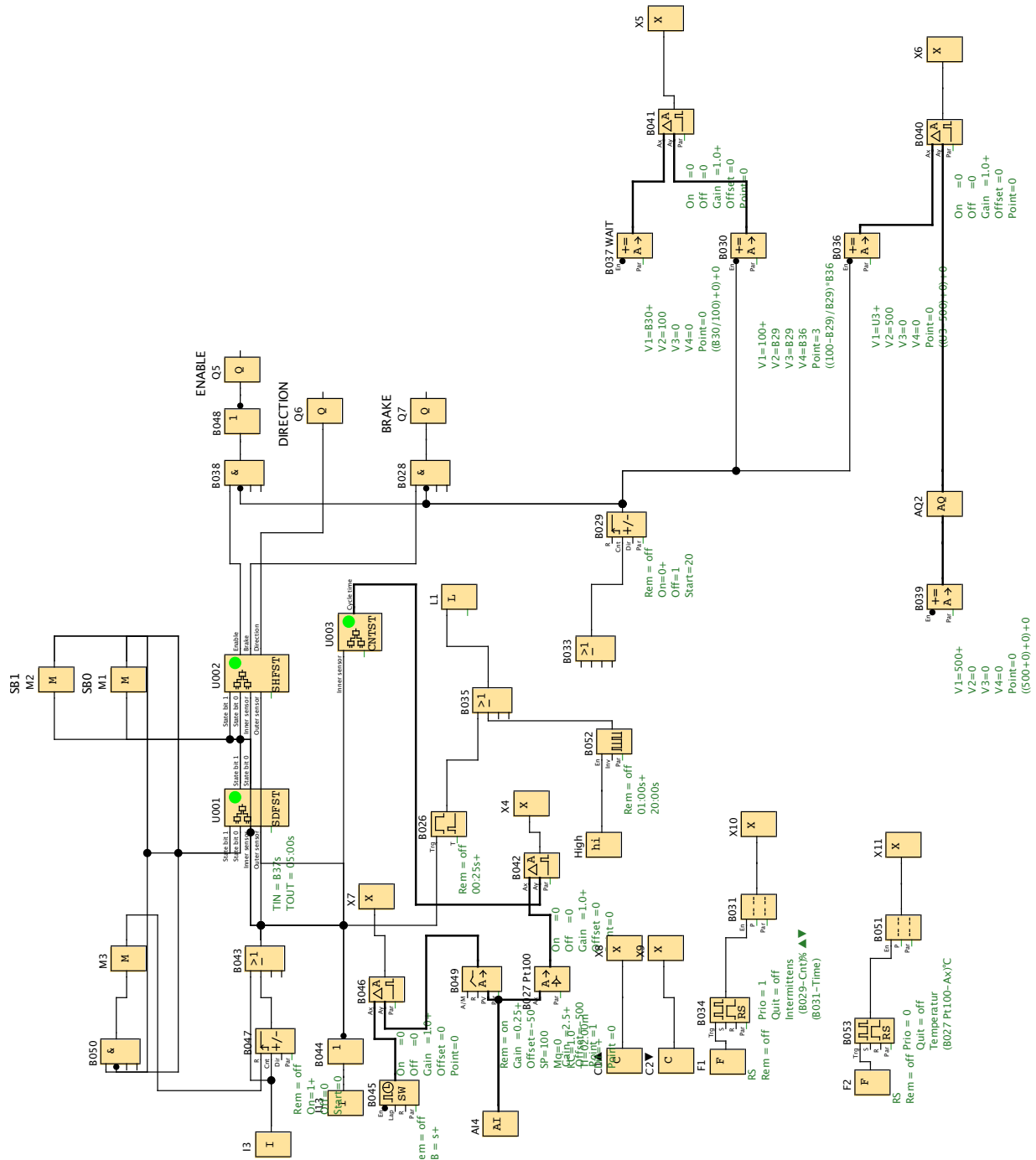
64. Strömgivare (A1) ↔ LOGO! (RCE I7)
65. Strömgivare (A2) ↔ LOGO! (RCE I8)
66. Strömgivare (B1-) ↔ Plint (200)
67. Strömgivare (B2-) ↔ Plint (206)
68. LOGO! (AM2 AQ GND) ↔ Plint (GND)
69. LOGO! (RCE I1) ↔ Plint (111)
70. LOGO! (RCE I2) ↔ Plint (112)
71. LOGO! (DM16 I4) ↔ Plint (113)
72. LOGO! (RCE I4) ↔ Plint (114)
73. LOGO! (RCE I5) ↔ Plint (115)
74. LOGO! (RCE I6) ↔ Plint (116)
75. LOGO! (DM16 I1) ↔ Plint (103)
76. LOGO! (DM16 I2) ↔ Plint (104)
77. LOGO! (DM16 I3) ↔ Plint (105)
78. LOGO! (RCE I3) ↔ Plint (106)
79. LOGO! (DM16 I5) ↔ Plint (107)
80. LOGO! (AM2 RTD M1+) ↔ Plint (117)
81. LOGO! (AM2 RTD IC1) ↔ Plint (118)
82. LOGO! (AM2 RTD M1-) ↔ Plint (119)
83. LOGO! (AM2 RTD M2+) ↔ Plint (108)
84. LOGO! (AM2 RTD IC2) ↔ Plint (109)
85. LOGO! (AM2 RTD M2-) ↔ Plint (110)
86. G110 (7) ↔ PS 307 (M)
87. G110 (10) ↔ PS 307 (M)
88. LOGO! (AM2 AQ M1) ↔ Plint (1)
89. LOGO! (AM2 AQ M2) ↔ Plint (1)
90. LOGO! (DM16 M (reläingångar)) ↔ Plint (1)
91. Extern +24 V-plint ↔ RT7A (23)

10 Anslutning av kopplingsplint

- 1** Inre lägesgivare BLDC (ben 3)
- 1** Yttre lägesgivare BLDC (ben 3)
- 1** Mekanisk broms BLDC (kontakt 2)
- 1** Inre lägesgivare AC (ben 3)
- 1** Mittre lägesgivare AC (ben 3)
- 1** Yttre lägesgivare AC (ben 3)
- 2** Switch auto/manuell BLDC (3)
- 2** Knapp manuell in BLDC (3)
- 2** Knapp manuell ut BLDC (3)
- 2** Inre lägesgivare BLDC (ben 1)
- 2** Yttre lägesgivare BLDC (ben 1)
- 2** Switch auto/manuell AC (3)
- 2** Knapp manuell in AC (3)
- 2** Knapp manuell ut AC (3)
- 2** Inre lägesgivare AC (ben 1)
- 2** Mittre lägesgivare AC (ben 1)
- 2** Yttre lägesgivare AC (ben 1)
- 100** BLDC-motor (hallsensor C)
- 101** BLDC-motor (hallsensor B)
- 102** BLDC-motor (hallsensor A)
- 103** Switch auto/manuell BLDC (ben 4)
- 104** Knapp manuell in BLDC (ben 4)
- 105** Knapp manuell ut BLDC (ben 4)
- 106** Inre lägesgivare BLDC (ben 4)
- 107** Yttre lägesgivare BLDC (ben 4)
- 108** Pt100-givare BLDC (ben 1)
- 109** Pt100-givare BLDC (ben 1)
- 110** Pt100-givare BLDC (ben 2)
- 111** Switch auto/manuell AC (ben 4)
- 112** Knapp manuell in AC (ben 4)
- 113** Knapp manuell ut AC (ben 4)

- 114** Inre lägesgivare AC (ben 4)
- 115** Mittre lägesgivare AC (ben 4)
- 116** Yttre lägesgivare AC (ben 4)
- 117** Pt100-givare AC (ben 1)
- 118** Pt100-givare AC (ben 1)
- 119** Pt100-givare AC (ben 2)
- 200** BLDC-motor (fas C)
- 201** BLDC-motor (fas B)
- 202** BLDC-motor (fas A)
- 203** BLDC-motor (hallsensor jord)
- 204** BLDC-motor (hallsensor matning)
- 205** Mekanisk broms BLDC (kontakt 1)
- 206** AC-motor (motorlindning U)
- 207** AC-motor (motorlindning V)
- 208** AC-motor (motorlindning W)
- 209** AC-motor (jord)
- 210** Nödstopp (1)
- 211** Nödstopp (2)
- 212** Knapp återställ (3)
- 213** Knapp återställ (4)

BILAGA I: PROGRAM FÖR UPPMÄTNING AV STEGSVAR



Figur 1 *Program till Siemens LOGO! för uppmätning av stegsvar.*