

# Axle Link

- en kortslutningsskyddad säker DC-överföring



LUNDS TEKNISKA  
HÖGSKOLA  
Lunds universitet

Examensarbete av:  
André Navgren  
Per Stridh

© Copyright André Navgren, Per Stridh

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Lunds Universitet  
Box 882  
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering  
Lund University  
Box 882  
SE-251 08 Helsingborg  
Sweden

## Sammanfattning

### Axle Link

#### - en kortslutningsskyddad säker DC-överföring

Denna examensrapport redogör för hur man kan få en kortslutningsskyddad och säker inkoppling av en DC-länk mellan två skiljda elektriska system. Rapporten bygger på hur en lastbil ska kunna få en större säkerhet för att bibehålla sina elektriska bromsar om tex ett av bromssystemen tappar sin ordinarie matning.

Lastbilens bromssystem består idag av två skiljda elektriska system med ett 24 volts strömförsörjande batteri vardera. Det ingår två stycken elektriska bromsar i varje system. Om det tex blir fel på en av bromsarna och denna påverkar ett av systemen vill man kunna koppla bort denna enskilda broms med sitt system. Man vill även kunna försörja den fungerande bromsen som sitter i samma system via en så kallad *Axle Link*. Denna strömmatningslänk sitter mellan två hjulpar på samma axel.

I denna studie undersöktes möjligheten att realisera en kortslutningsskyddad och säker DC-överföring via en *Axle Link*, i första hand med diskreta komponenter. Med två styrkortsenheter dvs ett kretskort i varje sida av kraftlänken kan man få en ström att gå åt valfritt håll med kontinuerlig strömmätning. Styrningen sker med hjälp av två micro-controllers av det norska fabrikatet Atmel®.

## Abstract

### Axle Link

#### - a shortcircuit protected DC-transmission

This thesis gives an idea of how to connect a DC-link in a safe way between two separated electrical systems. The thesis is relied on how a heavy duty vehicle achieve a greater safety to keep it's electrical brakes in function if one of the electrical systems fail.

For the moment the brake systems of a heavy duty vehicle consists of two galvanic separated electrical system with a 24 volts battery each. That includes two electrical brakes in each system. If e.g there will be a failure on one of the brakes and this will infect the system, it will be possible to disconnect it at once. It will also be possible to feed a dead electrical brake unit with an *Axle Link*. This link is mounted between two wheels on the same axis.

In this thesis the possibilities of realizing a non-shortcircuit and safe DC-transmission with an *Axle Link* was studied. There are two boards mounted at each side of the *Axle Link*, and it is controlled by two micro-controllers made by the norwegian company Atmel®.

Keywords: heavy duty vehicle, Axle Link, DC-link, transmission

## Förord

Föreliggande examensarbete har kommit till som ett resultat av utvecklingen av elektriska bromsar till lastbilar, där undersökning av möjligheten att med stor säkerhet kunna koppla ihop två skiljda bromssystem.

Nuvarande bromssystem är galvaniskt skiljda i två delsystem om vardera två bromsar. För att ytterligare öka säkerheten studerades möjligheten att kunna koppla ihop två bromsenheter från olika system till samma strömkälla via en så kallad *Axle Link*. Denna kraftlänk ger en möjlighet till ökad säkerhet med att kunna ha maximalt antal bromsar inkopplade även om ett av systemen förlorar sin ordinarie strömförsörjning.

## **Innehållsförteckning:**

1.	Inledning	sid 1
2.	Material och metoder	sid 2
	Mjukvara	sid 2
	Hårdvara	sid 3
3.	Resultat	sid 8
	Realisering	sid 8
	Tider	sid 9
4.	Diskussion	sid 9
5.	Referenser	sid 10

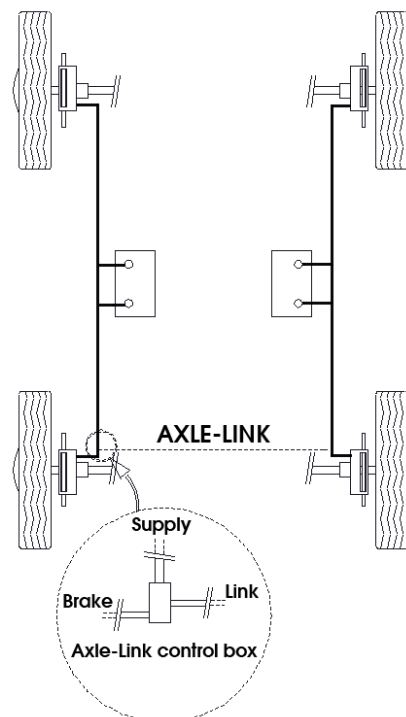






## Inledning

De senaste åren har lastbilar använt komprimerad luft för sina bromssystem. Detta har varit ett väldigt effektivt sätt att kunna överföra bromskraft snabbt och förhållandevis säkert. Nackdelen med dessa bromssystem är att det krävs en hel del kringutrustning och att det inte alltid går att reglera på ett tillräckligt bra sätt. Med dagens snabba utveckling av nya kraftelektronik komponenter och kontrollsystem är det idag möjligt att designa bromsarna som elektriska enheter. Detta innebär att varje enhet har en egen elektrisk motor som applicerar en bromsande kraft lokalt. Det krävs även en separat batterimatning som inte får påverkas av andra system. För att uppnå en viss säkerhet är idag prototypsystemen redundantly uppbyggt och består av två skilda elektriska system med sina egna batterimatningar (se figur 1).



Figur 1.

Principiell skiss över lastbilens bromssystemet och medhörande styrning av Axle Link. Systemet här är ej korskopplat.

Varje system består av två bromsenheter som sitter korskopplade.

För att ytterligare få ett säkrare system så vill man naturligtvis kunna bibehålla så många bromsar som möjligt om ett fel uppstår. Detta kan realiseras om man kan koppla ihop vilka bromsenheter man vill ifrån de olika systemen. Detta kräver att man kan skillja ifrån ordinarie strömkälla till bromsenheten och sedan koppla in bromsenheten med det andra systemets matning via en så kallad *Axle Link*. Denna kraftlänk ska kunna skicka ut strömmar åt båda hållen oberoende av vilken enhet som är spänningslös.

Det är viktigt att denna kraftlänk är helt kortslutningsskyddad och inte påverkar eller påverkas av det friska bromssystemets funktioner. Den ska också kunna utföra kontinuerliga strömmätningar i båda ändor av kraftlänken för att kunna diagnostisera och monitorera förändringar, som kan bero på normalt tyngre laster eller eventuella fel.

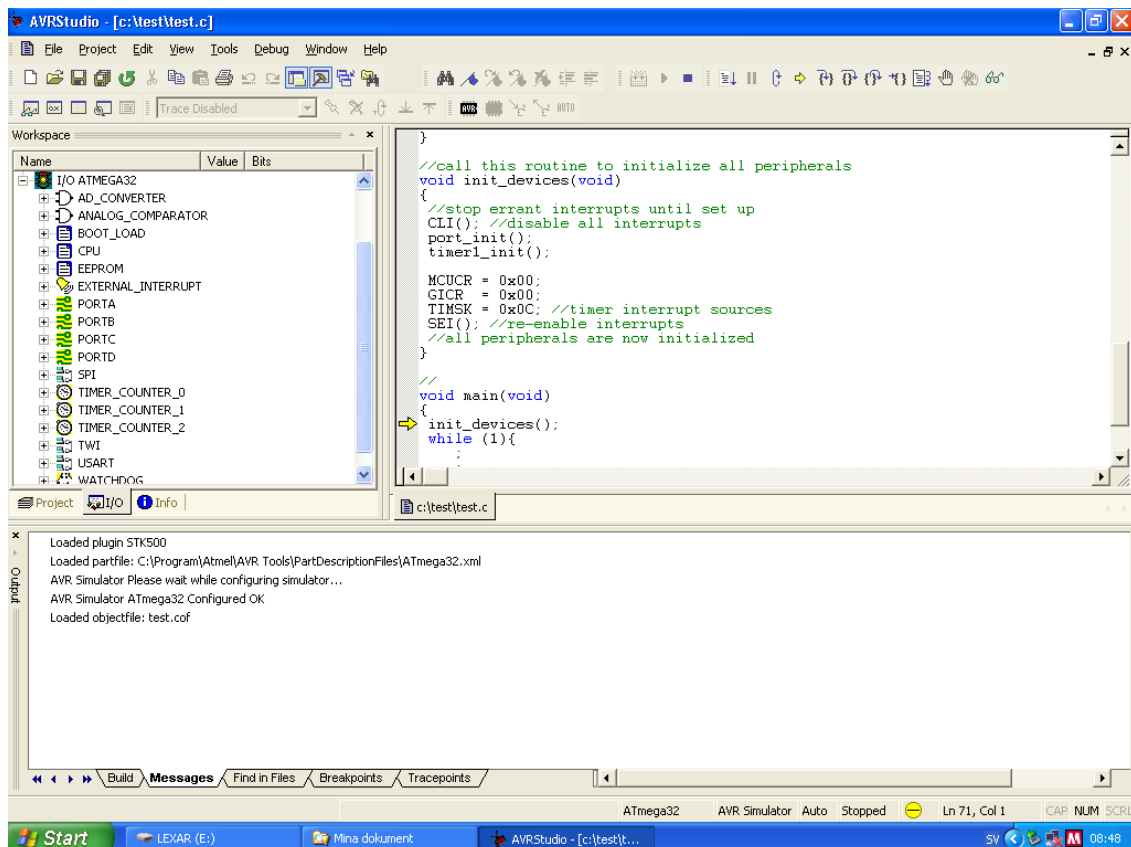
I mjukvaran sätts olika strömgränser beroende på var i in eller urkopplingsfasen kraftlänken befinner sig.

## Material och metoder

Realisering med diskreta komponenter ger en bättre kontroll och monitoreringsmöjlighet jämfört med integrerade kretsar. Även systemets tröghet minskar dvs tiden det tar för att kraftlänken skall slå till eller ifrån. Detta är en viktig aspekt med tanke på de höga strömmar en direkt kortslutning orsakar där fränslagstiden är en avgörande faktor. Även kostnaden för komponenterna måste här tas i beaktning.

### Mjukvara

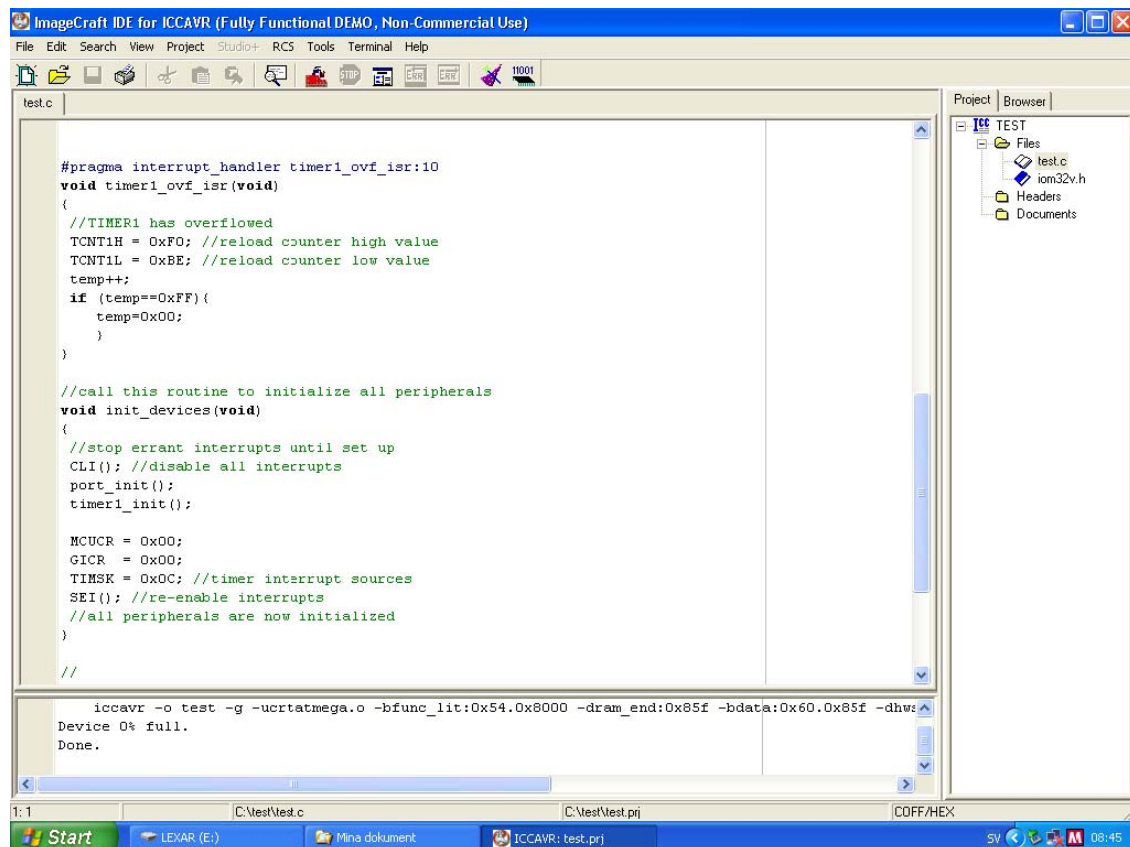
Två start och utvecklingspaket av det norska fabrikket AVR® Atmel, beteckning ATSTK 500, användes för att designa mjukvaran till kraftlänken, med den inkluderande programvaran AVR Studio (se figur 2). Tilläggsprogrammet ICC-AVR (figur 3) kompletterade och underlättade utvecklingsmiljön där det gavs möjligheten att programmera i C för att generera en användbar fil för AVR Studio. Kodning i programmspråket C var det naturliga valet för att sedan kunna kommunicera med fordonets nuvarande Can-kommunikation på ett enkelt sätt. Gränssnittet SPI (Serial Peripheral Interface) som finns inbyggt i micro-controllern används för detta ändamål.



Figur 2.

Utvecklingsmiljön AVR-Studio som följer med startpaketet ATSTK 500. Programmet ger möjlighet till att programmera i assembler och att köra debugger.

En viss kommunikation används mellan micro-kontrollerna för att tala om för den ihopkopplade bromsenheten om den är matad av en *Axle-Link* och om bromsenheten på andra sidan *Axle-Link*:en är vid liv. Denna information får varje micro-controller direkt vid uppstart. För enkelhetens skull används endast I/O portar för detta ändamål. I ett senare skede är det tänkt att använda den befintliga Can-bussen för alla typer av meddelande. I dagsläget är det möjligt att använda SPI som gränssnitt mot systemets CAN-kommunikation alternativt att använda en micro-controller med inbyggt CAN-interface.



Figur 3.

ICCAVR finns som en gratisversion på internet och kompletterar AVR Studio så att man kan skriva programspråket i C. Ovan visas ett exempel på ett programavsnitt.

### Hårdvara

Micro-controllern som används är en Atmega32 från Atmel, som jobbar med 8-bitar. Den bygger på Atmels AVR-RISC-arkitektur (Reduced Instruction Set Computer) vilket gör att den har en relativt snabb exekveringstid pga minimalt antal instruktioner.

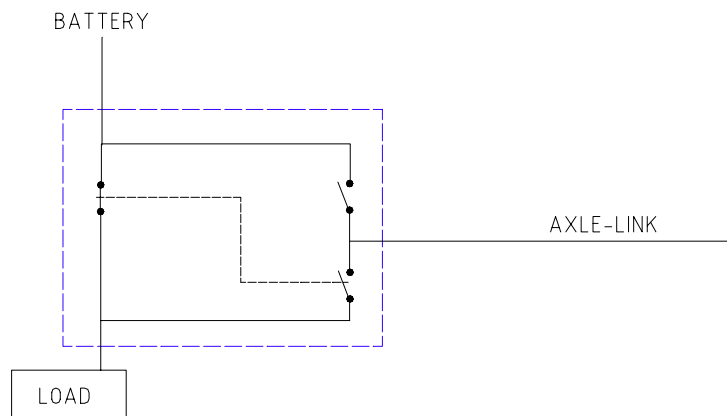
Controllern har 8 st valbara ingångar till A/D omvandlare, SPI-interface, USART (Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter), PWM-utgångar mm, och innesluts i en 40-pins dil-kapsel.

För *Axle-Link*:en används två micro-controllern som styr vars en sida av *Axle-Link*:en.

När denna är inkopplad har de två micro-controllerna samma strömkälla, där den matande sidan bestämmer en eventuell nedkoppling av länken.

En spänningsdelare och en sk *Photovoltaic Isolator* på en "död" bromsenhet ser till att Mos-Fet switchen öppnar till microkontrollern när den känner av att den matas via *Axle-Link*:en. Samtidigt sätts en förregling så att den ordinarie batterimatningen ej kan kopplas in under detta skede. Den matande sidan kontrollerar att inte strömmen blir onormalt hög när den kopplar in länkmattningen. Om den skulle bli det kopplas kraftlänken bort direkt som en första åtgärd. När *Axle-Link*:en precis har kopplats in och microkontrollerna ej monitorerar någon onormalt hög ström är det tänkt att ett testprogram för bromsenheten körs. Samtidigt mäts strömmen och kopplar ifrån bromsmotorns drivsteg om en given strömnivå överskrids. Om testprogrammet körs utan några problem går *Axle-Link*:ens program över till att bara övervaka strömmen över länken. Microkontrollern kan när som helst koppla ifrån länken under drift vid behov, tex om ordinarie matning börjar att fungera igen och denna ska kopplas in, eller om tex strömnivåer överskrids.

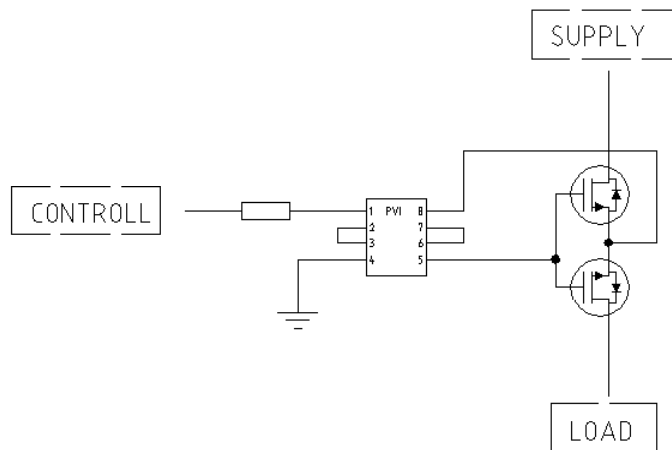
För att realisera en switch som tåler höga effekter var naturligtvis Mos-FET transistoren det självklara valet. Det finns idag Mos-Fet transistorer som klarar en bit över 200 ampere, och tack vare Mos-Fet:ens låga  $R_{DS,on}$  så blir effektutvecklingen relativt låg i transistoren även vid höga strömmar.



Figur 4.  
Principskiss över en kontrollbox, realiserad med switchar.

På grund av diodverkan över Mos-FETarna i backriktningen motkopplas dessa parvis så att man får en switch som stänger för ström i båda riktningar (se figur 5). Denna parasiteffekt är viktig att tänka på vid konstruktion av alla typer av halvledarswitchar, då man kan få en helt annan funktion än vad man hade tänkt sig från början.

Switchen kopplas i en high-side konfiguration vilket innebär att den ligger mellan lasten och strömkällan. Detta skapar ett problem till, nämligen att man måste driva switchens gate med en högre spänning än vad man får in över *Axle-Link*:en, dvs i vårt fall högre än 24 volt.



Figur 5.

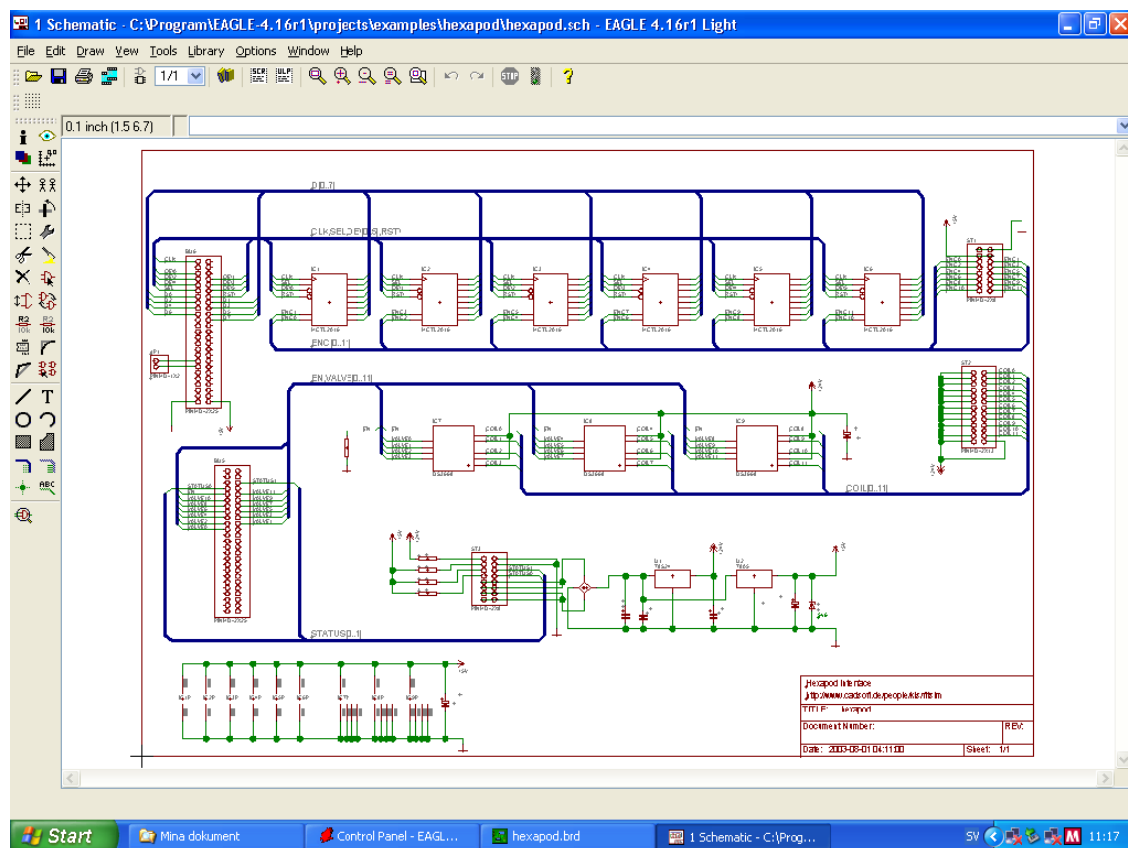
Principschema över hur en halvledarswitch i high-side konfiguration kan designas. PVI-kretsen driver MosFetarnas gate. Transistorerna är motkopplade för att motverka diodverkan över drain-source.

För att en Mos-Fet transistor ska böttna dvs öppna helt krävs en  $V_{GS}$  på ca 8 volt. Detta kan lösas men att använda en MOSFET-gate driver som lyfter upp spänningen 10-15 volt med  $V_{source}$  som referens. Nackdelen med detta är att kretsen bara driver under en viss tid och kräver en återhämtning för att bygga upp en ny spänning, oftast används dessa i switchande applikationer.

Vi valde att använda oss av en *Photovoltaic Isolator* som är en optisk spänningsgenerator. En lysdiod på ingången gör att en spänning på 10 volt genereras på utgången vilket kan driva och böttna en Mos-Fet kontinuerligt. Kretsen genererar en väldigt låg ström vilket gör att MosFet:en öppnar lite långsammare men har fortfarande en snabb frånslagstid. Det krävs en väldigt liten ström för att driva gaten på en Mos-Fet vilket också är en av fördelarna med denna transistortyp.

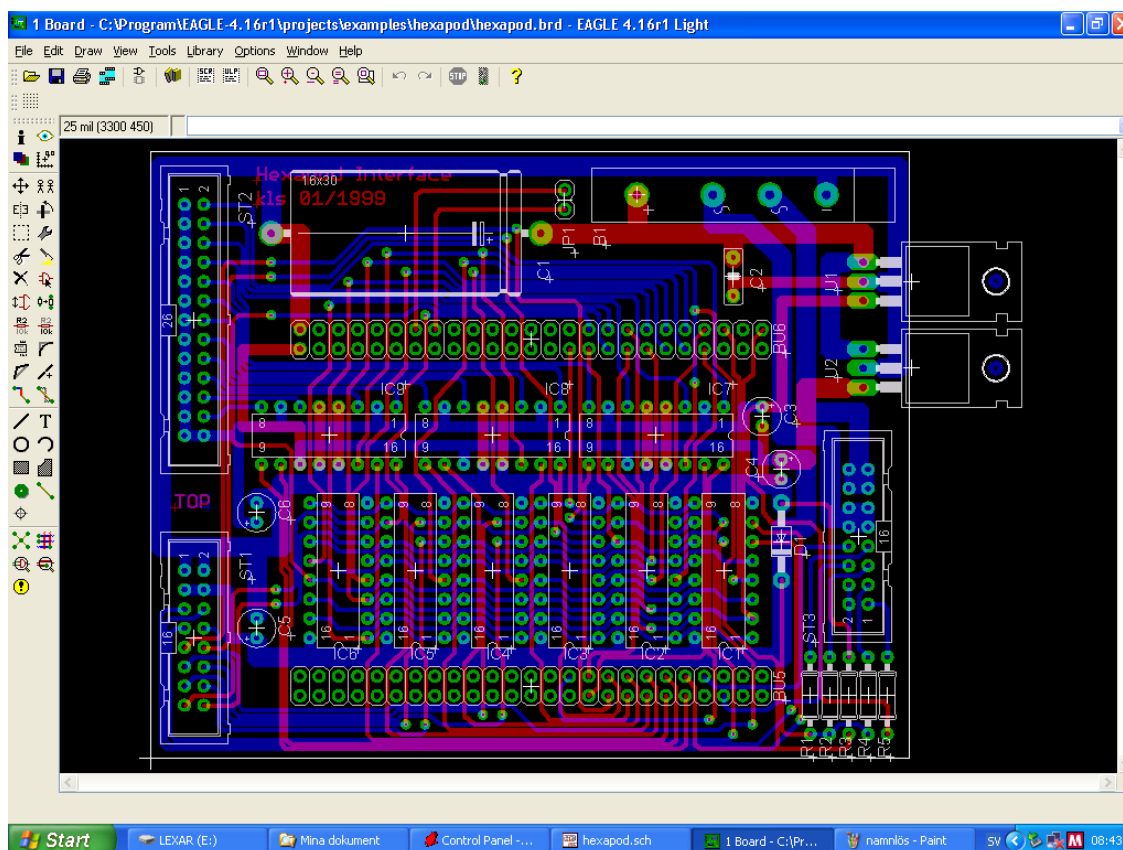
Mönsterkortan designades med hjälp av verktyget och utvecklingsmiljön EAGLE 4.16 (Easily Applicable Graphical Layout Editor) och fås som en gratisversion genom internet. Med detta verktyg kan man både rita kretschema (figur 5) och konvertera detta direkt till en layout för kretskort (figur 6). Programmet inkluderar även en sk. *CAM-processor* vilken kan generera gerber-filer. Dessa filer används av mönsterkortstillverkaren där all information om den aktuella kretskortslayouten finns lagrade.

För detta arbetet var det tänkt att använda en kretskortsfräs för ändamålet, vilket innebär att man maximalt kan få dubbelsidiga kretskort, alternativt att etsa korten själva.



Figur 6.

Användarmiljön Schematic från EAGLE 4.16, här gratisversionen light. Schemat byggs upp mha programmets komponentbibliotek där sk *footprints* från olika komponent-tillverkare kan väljas.



Figur 7.

Så här kan layouten för ett kretskort se ut i board, EAGLE 4.16. Man kan välja att designa layouten i board direkt eller att konvertera ifrån schematic.

Kontinuerlig strömmätning över *Axle Link*:en är viktigt eftersom eventuella nya fel på den inkopplade bromsen under drift ska kunna koppla ifrån länken igen.

För denna kontroll valdes att använda två strömmätningsskretsar som mäter länkens matarsida och mottagarsida oberoende av strömriktning. Kretsen innehåller ett Hall-element som påverkas av strömmens magnetfält. Utdignalen ifrån denna krets skickas sedan vidare in till en A/D omvandlare på micro-controllern, som tar hand om informationen.

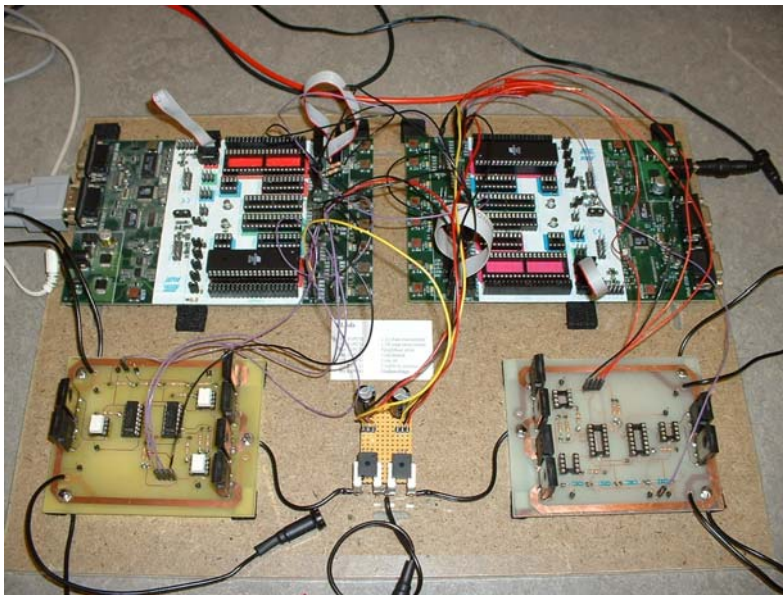
Tiden det tar att exekvera programkod för Atmels® micro-controller är ca  $0,25 \mu\text{s}$  för en rad. Det tar ca 8 programrader för tillslag av *Axle Link*:en om man fått reda på om det andra bromssystemet ligger nere, dvs  $8 * 0,25 = 2 \mu\text{s}$ . Efter detta går programmet över till att övervaka strömmen som blir i länken, så att den inte överstiger satta gränsvärden.

Även hårdvaran har en viss fränslag och tillslagstid, där MosFet-transistorn har en typisk  $t_{off}$  på 130 ns och drivkretsen för transistorns gate tar ca  $2 \mu\text{s}$  att stänga. Dessa tider beror på olika strökapacitanser hos de olika komponenterna.

Hade man valt en *Smart Highside High Current Power Switch* istället hade man haft en  $t_{on}$  på 600  $\mu s$  och en  $t_{off}$  på ca 200  $\mu s$ , alltså ingen skillnad i frånslagstid. Om man kan hitta en snabbare *gatedriver* skulle man kunna få ner frånslagstiden radikalt.

Fördelen med att använda två *noder* för mäta strömmar är att man även kan kontrollera differensen mellan noderna och upptäcka ett eventuellt isolationsfel på *Axle Link*:en. Strömmätningsskretsarna är matade från vars en sida av länken vilket innebär att om en bromsenhet är död har man ändå ett fungerande mätställe och en garanti på att man inte skickar ut ström på *Axle-Link*:en i onödan.

## Resultat



Figur 8.  
Uppställningsplats med prototypkort för AxleLink-principen. Överst syns utvecklingskorten ASTK 500.

### *Realisering*

Med två prototypkort får man en principlösning på hur man skulle kunna realisera en *Axle-Link*, utan hänsyn till gemensam jordledning. Att använda en high-side konfiguration för Mos-Fet switcharna gjorde att en del komplikationer framkom och därigenom valdes en enklare lösning än vad som var tänkt ifrån början. Istället för att använda en *high-side MosFet switch driver* valdes en speciell typ av optokopplare (Photovoltaic Isolator). Den fungerar som en galvaniskt skild strömgenerator med tillräcklig kapacitet att driva en transistor-gate. Detta visade sig



att fungera utmärkt men med transistorns bottenningstid som en kritisk del pga effektförluster. Detta visade sig ha den fördelen att man får en bättre chans att utföra ström-mätningar under tiden switchen slår till. Tillslagsfördröjningen ger upphov till en effektutveckling i transistor-switchen där spänningsfallet  $V_{DS}$  och strömmen  $I_D = K(V_{GS} - V_{TR})^2$  är en betydande faktor.

### *Tider*

Frånslagstiden är också viktig pga att man måste kunna koppla ifrån länken snabbt vid tex en direkt kortslutning eller isolationsfel.

Om man sätter igång länken och försöker mata en direkt kortslutning mot jord tar det 212,5  $\mu\text{s}$  innan switchen får signal att stänga. *Axle Link*:en försöker att koppla in sig (med valfri inställning i mjukvaran) 5 gånger innan den avbryter sina försök. Mellan varje nytt försök tar det 10  $\mu\text{s}$ .

Om *Axle Link*:en redan är igång och en kortslutning av en bromsenhet uppkommer tar det maximalt 422  $\mu\text{s}$  innan switchen stänger, alltså dubbla tiden. Dessa tider är program-exekveringstider.

Hårdvaran har då en  $t_{off}$  (frånslagstid) på maximalt 200  $\mu\text{s}$  vilket ger en total frånslagstid på ca 600  $\mu\text{s}$  för switchen att stänga helt hårdvarumässigt.

## **Diskussion**

Att kunna koppla ihop två skiljda system men att ändå vara helt säker på att de inte kommer att påverka varandras funktion är en svår uppgift. Det kräver att man kan ha kontinuerlig kontroll över ett antal noder och att systemen reagerar för minsta lilla avvikelse från satta gränsvärden. Ibland kan det tyckas vara bäst att behålla olika system galvaniskt skiljda, och därigenom utesluta interaktion mellan dessa i kraftsammanhang.

Fördelen med att systemen kan integreras är också att beakta. Med en ihopkoppling kan man få en helt annan säkerhet och försäkra sig att alltid ha en relativt säker spänningsmatning till sin applikation. Till denna studie har inte den gemensamma jordledningen tagits i beaktning. Man skulle kunna realisera detta med en dubblering av plusmatningens styrning, dvs att man bryter ifrån jordledningen på samma sätt som plusledningen.

Tiden det tar att koppla bort en *Axle Link* skulle kunna optimeras med tex en kompaktare kod och snabbare drivkrets för transistor-switcharnas gate. Att använda en sk *Intelligent Powerswitch* gör inte att man får ett snabbare system utan snarare bara ett dyrare.

## *Referenser*

1. Mark N. Horenstein, *Microelectronic circuits and devices, Second edition*, Prentice Hall, ISBN 0-13-701335-3
2. Richard C. Dorf & James A. Svoboda, *Introduction to Electric Circuits, 5<sup>th</sup> edition*  
John Wiley & Sons, Inc, ISBN 0-471-38689-8
3. Dr. A. Graf Siemens AG HL LH TM 2, D-81617 Munich  
A. Koroncal, Siemens AG, EZM VI 32, A-9500 Villach  
P. Sommer, Siemens AG, HL LH PM 2, D-81617 Munich  
Dr. J. Tihanyi, Siemens AG, HL LH PE IC, D-81617 Munich  
Dr. A. Blessing, Mercedes-Benz AG, EP/VET, T723, D-70322 Stuttgart  
*Sense Highside Switch in Smart Power Technology takes over Fuse Function*  
7. Internationale Fachtagung Elektronik im Kraftfahrzeug 12./13. September 1996, Baden-Baden
4. International Rectifier  
*HV Floating Mos-Gate Driver ICs*  
INT978
5. Mitchell Lee, *MIC5011 Design Techniques*  
MICREL, Application Note 1
6. Jess Brown, Guy Moxey, *Power MOSFET Basics: Understanding MOSFET Characteristics Associated With The Figure of Merit*  
Vishay Siliconix, Document Number: 71933, 08-Sep-03
7. Vrej Barkhordarian *Power MOSFET Basics*,  
International Rectifier, El Segundo, Ca.
8. Ulf Bilting, Jan Skansholm, *Vägen till C*  
Studentlitteratur, ISBN 91-44-01468-6

