



Vidareutveckling av provplattform för mätning av kosmisk strålning inverkan på DRAM

Andreas Skoglund
Risiko Kader

Examensarbete
Magisterexamen i elektroteknik

Blekinge Tekniska Högskola
Oktober 2008

Abstract

SAAB Communication in Linköping offers consulting toward several national and international companies, both within the civilian and the military market. Focus is in the field of avionics and deals with telecommunication system, radio system, signature adaption, EMC, atmospheric impact etc. The later also includes the influence of cosmic radiation in electronics. The oncoming miniaturisation of electronics, especially within the memory fields causes an increased susceptibility of cosmic radiation that constantly hits our planet, therefore it is of great importance that memories is to be tested before used in airborne systems.

The purpose of this thesis is to construct a test platform in order to register faults that occur in a DDR2 SDRAM memory under influence of the mentioned radiation. This thesis is further development of a test platform previously based on a FPGA – solution. Since this test platform had not to support for the more rapidly type of memory as DDR2 SDRAM, the purpose of this thesis became to develop a new platform with support for this type of memory. This new test platform is based on PowerPC from Freescale Semiconductor®

The test platform will be connected to a PC running a program that counts the number of detected memory faults, recognises a type of error and records the number of neutrons that the memory has been exposed to during the test. The software is implemented in the programming languages assembler and C. The tested memory will be loaded with a predetermined bit pattern before the test begins, if a change in the bit pattern is detected during exposure of radiation, these faulty bit patterns will be registered together with the memory address where the error has occurred.

Sammanfattning

SAAB Communication i Linköping sysslar med konsultverksamhet mot ett flertal nationella och internationella företag inom både den civila och militära sektorn. Fokus ligger på flyget med uppdrag inom telesystem, radiosystem, signaturanpassning, EMC, atmosfärisk påverkan mm. I det sistnämnda ingår även kosmisk strålningens inverkan på elektronik. Den fortsatta miniatyriseringen av elektronik, speciellt minneselektronik leder till ökad känslighet mot den kosmiska partikelstrålningen som ständigt regnar ner på jorden, därför är det extra noga att minnen testas innan de sätts i bruk vid flygburna system.

Syftet med detta examensarbete är att konstruera en provplattform som registrerar fel som uppkommer i ett DDR2 SDRAM minne vid påverkan av den ovannämnda strålningen. Detta examensarbete är en vidareutveckling av en provplattform baserad på en FPGA – lösning. Eftersom denna provplattform saknade stöd för den snabbare minnestypen DDR2 SDRAM, blev syftet med detta examensarbete att ta fram en ny plattform som stödjer denna typ av minne. Den nya provplattformen är en PowerPC baserad lösning från Freescale Semiconductor®.

Provplattformen kommer att anslutas till en PC som kör ett program som analyserar antalet detekterade minnesfel, typ av fel samt hur många neutroner minnet har blivit utsatt för under testet. Mjukvaruutvecklingen implementeras i programmeringsspråken assembler samt C. Innan testet av minnet påbörjas, fylls minnet med ett förbestämt bitmönster, om förändringar av bitmönstret sker vid bestrålning av minnet kommer dessa ändringar att registreras tillsammans med den minnesadress där felet inträffade.

Förord

Denna rapport är utförd vid SAAB Communication i Linköping i samarbete med Uppsala Universitet och Blekinge Tekniska Högskola. Examensarbetet utfördes under vårterminen 2008 och motsvarar 30hp för magisterexamen i elektroteknik.

Vi vill med detta förord passa på att ge ett stort tack till SAAB Communication som gett oss möjligheten att utföra detta examensarbete och framförallt ett stort tack till vår handledare Dr Thomas Granlund. Han har verkligen varit tillmötesgående, hjälpsam, positiv och bjudit på många roliga stunder tillsammans. Thomas har varit en fast punkt i vår annars kaotiska tillvaro. Vi vill även ge ett stort tack till hela personalen vid SAAB Communication. Sist men inte minst vill jag verkligen ge ett stort och varmt tack till min familj som stött och varit där för mig under min studiegång!

Tack för allt!

Innehållsförteckning

1. Introduktion.....	13
1.1 Bakgrund.....	13
1.2 Syfte och mål.....	13
1.2.1 Tidigare forskning.....	14
1.3 Metoder.....	14
1.4 Avgränsningar.....	14
1.5 Tidsplan.....	15
1.6 Rapportens struktur.....	16
1.7 Kosmisk strålning.....	17
1.8 Typer av fel.....	18
1.8.1 SEU.....	19
1.8.2 MEU/MBU.....	19
1.8.3 SEL.....	19
1.8.4 Motverka fel.....	20
1.9 EMC.....	20
2. Minnestyper.....	21
2.1 SRAM.....	21
2.2 DRAM.....	21
2.3 SDRAM.....	22
2.4 DDR SDRAM.....	23
2.5 DDR2 SDRAM.....	23
3. Utrustning.....	24
3.1 Användningsområde.....	25
3.2 Mätplattformen.....	25
4. Utförande.....	27
4.1 Förlängning av SO-DIMM socket.....	27
4.2 Neutronutjämnarkretsen.....	28
4.3 Kommunikation.....	30
4.3.1 CodeWarrior® till plattform.....	30
4.3.2 TestTool till plattform.....	31
4.4 SO-DIMM DDR2 SDRAM.....	33
4.4.1 Bitmönster.....	33
5. Design.....	34
6. Laborrietester vid TSL (Theodor Svedberg Laboratory).....	36
6.1 Accelererade tester.....	37
6.1.1 Testning i praktiken.....	38
6.2 Strålkällan.....	39
6.3 Cross Section.....	40
Resultat.....	42
Referenser.....	43

Figurförteckning

Figur 1.1 Fördelningen av vertikala strängheters avskärningar, d.v.s. strålningsintensiteten, över jordens yta [13].	18
Figur 1.2 Illustration av den kosmiska strålningens inverkan i en kiselkrets [3].	19
Figur 2.1 SRAM bit cell [5].	21
Figur 2.2 DRAM bit cell [5].	22
Figur 3.1 Mätplattformen.	24
Figur 3.2 Blockdiagram över MPC8360EA MDS.	26
Figur 4.1 Förlängningsmodul samt utan förlängning.	27
Figur 4.2 Illustration av ovannämnda komponenter monterade på ett mönsterkort.	28
Figur 4.3 Neutronutjämnarkretsens komponentuppsättning.	29
Figur 4.4 (a) Optokopplare. (b) EMI filter. (c) Schmitttrigger.	29
Figur 5.1 En schematisk illustration över hur provplattformens kommunikation fungerar.	34
Figur 5.2 Flödesdiagram över mjukvaruutvecklingen i CodeWarrior®.	35
Figur 6.1 Ritning över ANITA anläggning vid TSL.	36
Figur 6.2 Typisk experimentuppsättning för accelererade tester [15].	37
Figur 6.3 Experimentuppsättning för accelererade tester vid TSL.	38
Figur 6.4 Strålkällan vid TSL.	39
Figur 6.5 En typiskt quasi-monoenergetisk neutron spektrum med en topp vid 100MeV[5].	40
Figur 6.6 En typisk CS kurva, den heldragna linjen motsvarar σ_{RAW} och den streckade kurvan motsvarar den nya CS kurvan efter att svansen har kompenserats.	41

Tabellförteckning

Tabell 4.1 Inställningsparametrar för UART.....	31
Tabell 4.2 Bytesträngarna.	32
Tabell 4.3 Kommandon.	32

Förkortningar

ADS - Application Development System
ANITA - Atmospheric-like Neutrons from th/ck TArget
BSCR - Board Control and Status Register
CAD - Computer Aided Design
CS - Cross Section
DDR - Double Data Rate
DRAM - Dynamic random access memory
DUART - Dual Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
ECC - Error Correction Check
EMC – Electro Magnetic Compatibility
eV - elektron Volt
FPGA - Field-programmable gate array
GETH - Gigabit Ethernet
IDE - Integrated Development Environment
IT - Industrial Temperature
JEDEC - Joint Electron Devices Engineering Council
JTAG - Joint Test Action Group
MBU - Multi Bit Upset
MDS - Modular Development System
MEU - Multi Event Upset
PPC - Power PC
RAM - Random Access Memory
ROM - Read Only Memory
RS-232 - Recommended Standard 232
SDRAM - Synchronous DRAM
SEL - Single Event Latch up
Serial EEPROM - Electrically Erasable Programmable ROM
SEU - Single Event Upset
SO-DIMM - Small Outline Dual In-line Memory Module
SRAM - Static RAM
TSL - The Svedberg Laboratory
USB - Universal Serial Bus
VHDL - Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language
WNR - Weapon Neutron Research

1. Introduktion

Forskning och upptäckten om kosmisk strålning går tillbaka till början av 1900-talet, närmare bestämt runt 1911 – 1912 då Victor Hess ballongfärder upptäckte hur den kosmiska strålningen ökade vid stigande altitud. Hans upptäckt bekräftades av Robert Andrews Millikan 1925 och öppnade upp för forskning inom detta område[1].

Den första artikeln gällande bitfel i en minnescell orsakad av laddade partiklar på flyghöjd, SEU (Single Event Upset) publicerades 1993 [2].

Detta observerades på ett reguljärflyg där det konstaterades att neutronerna orsakade dessa fel.

1.1 Bakgrund

Saab Communication i Linköping sysslar med konsultverksamhet mot ett flertal nationella och internationella företag inom både den civila och militära sektorn. Fokus ligger på flyget med uppdrag inom telesystem, radiosystem, signaturanpassning, EMC (Electro Magnetic Compatibility), atmosfärisk påverkan mm, mer om EMC nämns i kapitel 1.9. I det sistnämnda ingår blix och kosmisk påverkan på apparater och elektronik. Den fortsatta miniatyriseringen av elektronik med minskade effektförbrukningar möjliggör snabbare datorer, större minnen och allt kompaktare elektronik. Kosmisk strålning bestående av laddade partiklar utsända från solen och avlägsna galaxer ökar dessvärre känsligheten mot vissa störningar i elektriska system. Minnen är särskilt utsatta och noggranna kontroller av dessa är ett krav innan de får användas i flygburna system.

1.2 Syfte och mål

Vid inledning av examensarbetet var syftet att vidareutveckla en redan existerande mätplattform för minneselektronik, eftersom det var omöjligt att anpassa den befintliga mätplattformen till den nya minnestypen blev uppgiften istället att ta fram en ny plattform. Arbetet för PC-styrningen av mätplattformen har redan påbörjats och vårt mål är att anpassa den till den nya mätplattformen samt bearbeta experimentella mätdata.

Arbetet består i att utreda om detta minne som kommer att testas under hårda miljöer lämpar sig för flygburna system. Examensarbetet skall sammanställas och implementeras i olika programmeringsmiljöer som Assembler, C samt C#.

1.2.1 Tidigare forskning

Inom detta område har ett flertal examensarbeten utförts vid SAAB Communication. I det första examensarbetet skapades en mätutrustning baserad på ett FPGA system för att testa SRAM minnen [3]. Denna mätutrustning utökades sedan för testning av DRAM minnen i ytterligare ett examensarbete [4]. Baserad på tidigare examensarbeten utfördes ett fullt fungerande system för DRAM i ett tredje examensarbete [5]. För att på ett enkelt och behändigt sätt kunna presentera resultat från mätningar gjordes ett PC-gränssnitt som hanterade styrningen av mätutrustning i ett fjärde examensarbete (rapport ej färdigställd). På grund av stora skillnader gällande minneskompabilitet kunde inga delar från den gamla mätutrustningen återanvändas, den nya mätplattformen kommer istället baseras på PPC (Power PC) lösning.

1.3 Metoder

Examensarbetet inledes med att studera den kosmiska strålningens påverkan av minneselektronik för att utöka förståelse av detta fenomen. Därefter påbörjades studien av de tidigare examensarbetena rapporter för att se vad de hade utvecklat, och således ge förståelse till vad som behöver vidareutvecklas på den nya plattformen.

Arbetet består både av hårdvaru- och mjukvaruutveckling. Mjukvaruutvecklingen kräver bl.a. kunskaper i assembler och Visual C# samt förståelse i programmeringsspråket C, för att utveckla kommunikationen inom plattformen. För att minska risken för bestrålning av andra delar än minnet, konstruerades en minnesmodulförlängning. Mer om denna förlängning beskrivs i kapitel 4.1.

Gällande hårdvaruutvecklingen konstruerades en *neutronutjämnande krets* för konvertering och utjämnning av signalen från elektronräknaren till dess ingång på mätplattformen, detta förklaras mer i detalj i kapitel 4.2 samt 4.5.

Den plattform vi arbetar med är en pilotserie och är ny på marknaden. När plattformen levererades hade endast 287 exemplar tillverkats. Istället för att utveckla mjukvaruprogrammeringen i VHDL som det var bestämt i början, ändrades detta i efterhand till programmeringsspråken assembler och C för att anpassa sig till den nya PPC plattformen.

1.4 Avgränsningar

Denna examensarbets rapport riktar sig främst mot läsare med viss bakgrund i teknisk fysik och elektronik. Rapporten omfattar beskrivning av testutrustningen samt testning av mätplattformen, men utelämnar den programkod som framtagits. Istället illustreras detta med hjälp av flödesdiagram i syfte att ge läsaren en tydligare bild av mjukvaruutvecklingen. Rapporten innehåller ingen detaljerad beskrivning av PC-styrningen eftersom den utvecklades i ett tidigare examensarbete.

Eftersom bokning av accelererade tester måste göras minst ett halvår i förväg är denna typ av test begränsad till ett tillfälle.

1.5 Tidsplan

<u>Vecka</u>	<u>Moment</u>
1 - 4	Genomgång av tidigare examensarbeten samt litteraturstudier om kosmisk strålning och SDRAM DDR2 SO-DIMM minnen i väntan på microcontrollern
5	Microcontrollern anlände, installering av CodeWarrior® IDE som kommer att användas som kompilator för vår assemblerprogrammering. Tagit reda på vilken typ av minnen som skall användas till mätplattformen (IT = Industrial Temperature). Kontaktat Mentor Graphics angående programmet Dx Designer för att designa förlängning från mätplattformen till minnet som sedan kommer att bestrålas.
6	Beställde komponenter från ELFA för att designa vår neutronutjämnarkrets som skall användas för konvertering samt utjämning av signalen från elektronräknaren, signalen leder sedan vidare till mätplattformen. Kretsschemat av neutronutjämnaren kommer att bifogas i examensrapporten. Neutronutjämnaren är färdigställd och klar för inkoppling till mätplattformen.
7 - 11	Kommit underfund med hur vi genom CodeWarrior® kan kommunicera med minnet och att lägga in ett bitmönster. Assemblerprogrammering för kommunikation med mätplattformen samt minnesöverföring mellan de olika minnena för att sedan kunna styra denna överföring i programmet Test Tool.
15 - 16	Möjliggöra kommunikation mellan Visual C# Programmet TestTool och power PC:n över RS-232. Utöka nuvarande bitmönster på 4 byte till ett större minnesomfång.
17	Elektron/proton- bestrålning av SDRAM DDR2 minnet vid TSL (The Svedberg Laboratory) i Uppsala.
18 – 23	Korrigerigering av eventuella fel som upptäcktes efter besöket på TSL. Utökad funktionalitet i mjukvaran samt rapportskrivandet.
24 - 26	Semesterstängt på SAAB Communication. Arbetet fortskred hemifrån och omfattade vidareutveckling av mjukvaran samt rapportskrivande.
27 - 30	Slutfasen av examensarbetet vilket omfattar att åtgärda de fel som kvarstår i den utvecklade mjukvaran, färdigställa rapporten samt uppfylla de krav som ställts.

1.6 Rapportens struktur

Rapporten innehåller följande kapitel:

- Kapitel 1 beskriver bland annat kosmisk strålning och dess inverkan i och utanför vår atmosfär, typer av fel som kan inträffa i minnen samt elektromagnetisk kompatibilitet.
- Kapitel 2 ger en överblick av de olika typer av minnen som finns och hur de har utvecklats genom åren.
- Kapitel 3 förklarar utrustningen som används och dess funktionalitet.
- Kapitel 4 beskriver själva utförandet av examensarbetet såsom utvecklingsverktyg, kommunikation mellan de olika delarna samt hur det interagerar med varandra.
- Kapitel 5 illustrerar och förklarar konstruktionen av de olika delarna i detta examensarbete.
- Kapitel 6 beskriver det besök som gjordes vid Uppsala Universitet i syfte att testa mätplattformens robusthet.
- Kapitel 7 diskuterar problem som uppstått under examensarbetes gång.

1.7 Kosmisk strålning

Med kosmisk strålning menas partikelstrålningen som kommer från rymden. Denna strålning var okänd fram till 1912 då Victor Hess visade med hjälp av ett elektrooskop och en luftballong, som han befanns sig i, att det fanns laddade partiklar i vår atmosfär och att de kom från rymden [6].

Man visste inte varifrån strålningen kom ifrån förrän i början av 1940-talet då de första riktiga jonsensorerna hade utvecklats. Då såg man att solen var en viktig källa, genom att korrelera kraftiga utbrott på solens yta s.k. soleruptioner (Solar Flares), med ökad intensitet uppmätta med jonsensorerna. Samtidigt upptäckte Pierre Auger den sekundära kosmiska strålningen m.h.a. två partikeldetektorer [7].

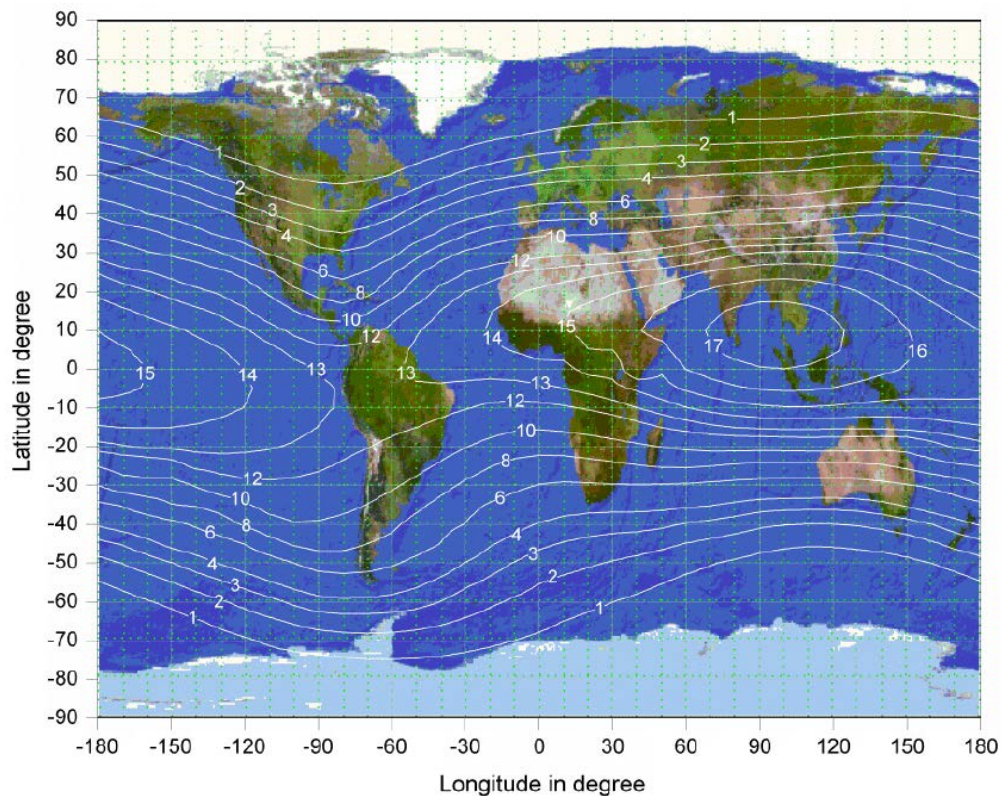
En av de viktigare upptäckterna gjordes av teoretikern Eugene Parker som 1958 förutsade att det måste finnas en solvind [8]. Detta bekräftades av Mariner II 1962 [9]. Solvinden består av protoner och elektroner. Solvinden är viktig för oss här på Jorden eftersom den adderar solens magnetfält till Jordens och på så sätt förstärker vårt skydd mot laddade partiklar från rymden. Solvinden har låg energi under 1 keV.

NASA fotograferade för första gången 1987 en supernova. Supernovor är det andra bidraget till den kosmiska strålningen och bidrar framförallt från 1 GeV och upp i energi [10]. Det totala bidraget från den kosmiska strålningen, joner från rymden, spänner från några få eV (elektron volt) till ca 10 000 000 GeV i energi. Denna strålning når olika djupt i atmosfären dels beroende på energi men också p.g.a. jordens magnetfält [11]. Nedan i figur 1.1 ses ett intensitetsdiagram över Jorden. Strålningen avtar generellt sett mot polerna, men det finns också lokala områden av förhöjt respektive försänkta strålningsflöden.

Partikelstrålningen ovan atmosfären orsaker allvarliga fel när de träffar exempelvis en rymdfärja. Detta klarades då den första rymdfärjan återvände till jorden. Trots att månflygningen inte varade länge och den kosmiska strålningen inte kunde orsaka större problem kunde teknikerna se att partiklarna från den kosmiska strålningen hade gjort rispor i rymdhjälmen, det uppstod också bland annat problem med elektronisk utrustning, bilder togs inte vid exakta tidpunkter och instrumenten gav oförväntade utslag. Idag har den kosmiska strålningen kommit att bli en faktor som man måste ta på största allvar [12].

Den partikelstrålning som är aktuell vad gäller påverkan på elektronik i jordens atmosfär är den s.k. sekundära kosmiska strålningen. Den bildas genom att de laddade partiklarna från rymden, den kosmiska strålningen, träffar molekylerna i atmosfären och genom en spallation process splittras dessa och ut kommer neutroner, protoner, myoner mm. Mätningar i atmosfären på elektroniska minnen har visat att det är neutronerna som är de partiklar som generera majoriteten av mjuka fel i elektronik [13].

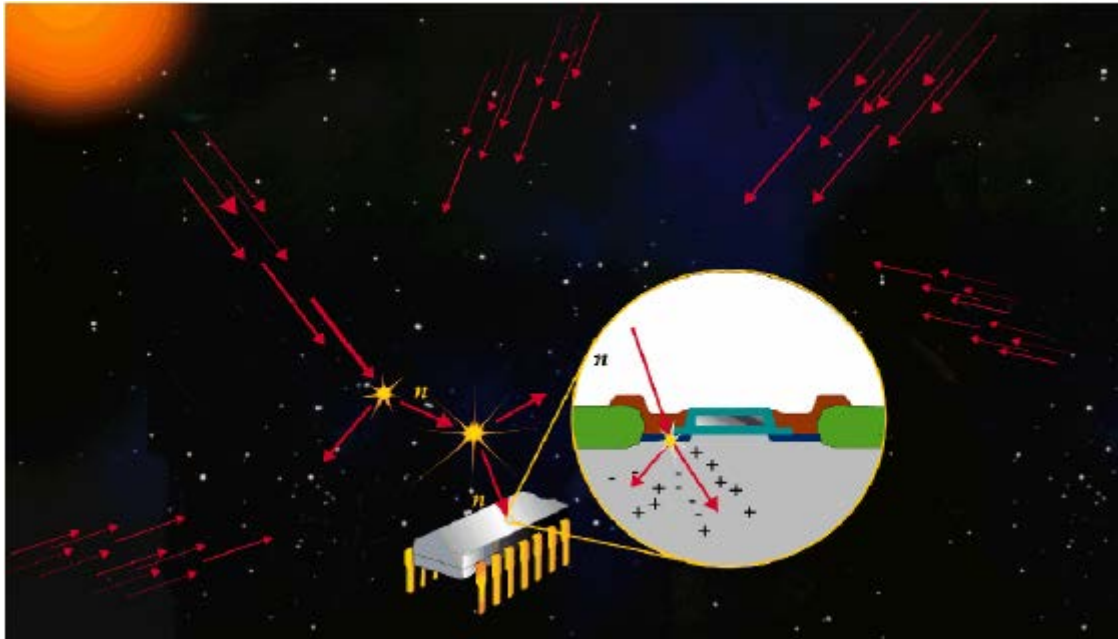
Dessutom ökar den sekundära kosmiska neutronstrålningen med höjden och är ca 400 ggr starkare på 10 till 12 km höjd än vid markytan. Därför testas flygplanselektronik, speciellt flygkritisk elektronik, mot neutronstrålning, vilket också görs här i detta examensarbete.



Figur 1.1 Fördelningen av vertikala strängheters avskärningar, d.v.s. strålningsintensiteten, över jordens yta [13].

1.8 Typer av fel

I princip nästan alla som har en grundläggande erfarenhet inom datorelektronik och elektronikkomponenter har bevittnat oförklarliga händelser som t.ex. när datorn plötslig slocknar och all information försvinner, sådana fel uppstår ofta och kallas för *mjuka fel* eller *hårda fel*. Generellt sätt, när fel uppstår i en minnescell, det vill säga ändrad eller förlorad information av en specifikt bit kan detta åtgärdas genom uppdatering av minnet. Dessa fel delas in i olika klasser SEU (Single Event Upset), MEU (Multi Event Upset), MBU (Multi Bit Upset) samt SEL (Singel Event Latchup) vilka förklaras i nedanstående underkapitel. Figur 1.2 illustrerar den kosmiska strålningens inverkan i en kiselkrets, det vill säga, neutronerna som träffar kiselkretsen ger upphov till olika typer av laddningar i kretsen.



Figur 1.2 Illustration av den kosmiska strålningens inverkan i en kiselkrets [3].

1.8.1 SEU

När den kosmiska strålningen kolliderar med atomkärnor i den övre atmosfären skapas en skur av subatomära partiklar. Vid tiden den kosmiska strålningen når flygplans altitud och lägre, är det de oladdade neutronerna som ger upphov till mjuka fel i elektroniken. Dessa neutroner kan interagera med kisel och andra beståndsdelar i integrerade kretsar där neutronerna avlämnar en laddning i vissa regioner som kan ge upphov till ett bitfel dvs. ändrar endast en bit till en etta eller en nolla eller vice versa, detta fenomen är känt som SEU. Detta är den största bidragande faktorn av mjuka fel i moderna integrerade kretsar [14].

1.8.2 MEU/MBU

MEU eller MBU räknas till *mjukt fel* där de laddade partiklarna träffar minnescellen och ändrar innehållet, vilket orsakar bitfel på två eller flera närliggande ställen vid samma tillfälle [15].

1.8.3 SEL

Ett mer allvarigare problem är SEL då en kortslutning uppstår i minnescellen när den har blivit träffad av en partikel, detta är av typen *hårda fel* och kan endast återställas genom att bryta strömmen till minnet [15].

1.8.4 Motverka fel

ECC (Error Correction Check) är en algoritm som används för att studera en sekvens av nummer för att kunna detektera och korrigera mjuka fel i den givna sekvensen. Detektering av fel är enklare än att rätta fel i en given sekvens. I dagsläget används detektering av fel bland annat i kreditkortsnummer i syfte till att undvika att fel nummer uppges. Felrättande koder används i bland annat i CD/DVD spelare, modem samt vid dataöverföring.

RAM minnen med ECC kräver en extra krets för att hantera feldetekteringen, i denna sparas det ett extra checkmönster som kontrollerar om ursprunglig data överensstämmer med förväntad data. ECC kan detektera och särskilja mellan SEU och MEU, men endast SEU kan korrigeras.

Mjuka fel kan även undvikas genom att använda sig utav ett tillverkningsmaterial som tål mer strålning, detta kan även undvikas genom att ta hänsyn till olika EMC förhållanden. Nedanstående kapitel förklarar denna ytterliggare.

1.9 EMC

EMC (Electro Magnetic Compatibility) tar upp aspekterna gällande en utrustnings förmåga att interagera med annan utrustning utan att de stör ut varandra, genom att sprida och ta emot elektromagnetisk energi. För att uppnå detta finns två centrala begrep, det första är emission som relaterar till den oönskade elektromagnetiska energi som skapas av någon källa och hur man kan reducera uppkomsten av energi. Den andra viktiga centrala begreppet gäller känsligheten/immuniteten hos den elektriska utrustningen som skall fungera korrekt trots närvaro av den oönskade energin.

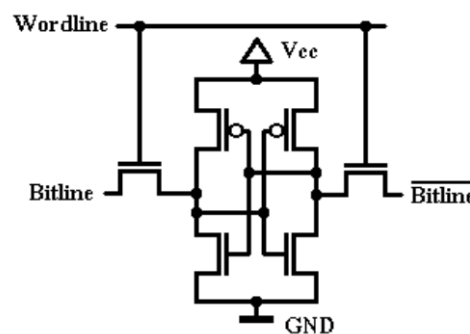
Eftersom denna provplattform som används under detta examensarbete, endast kommer att användas som *stand-alone* vid tester och inte i flygburna system, behöver den inte uppfylla några särskilda EMC-specifika krav.

2. Minnestyper

I stora drag finns två olika typer av minnen, RAM (Random Access Memory) samt ROM (Read Only Memory). I det förstnämnda bevaras informationen endast under den tid som minnet är strömförsörjt, bryts strömmen försvinner således informationen. Denna sorts minne är snabbare än ROM och används därför ofta för att spara undan information som inte har till syfte att lagras en längre tid utan kommer att återskrivas frekvent. Exempel på ROM är CD/DVD - skivor som används för att spara undan information under en längre tid. För att förstå funktionaliteten hos ett SDRAM DDR2 minne som är fokus i detta examensarbete, kommer närliggande minnestyper att klargöras kortfattat.

2.1 SRAM

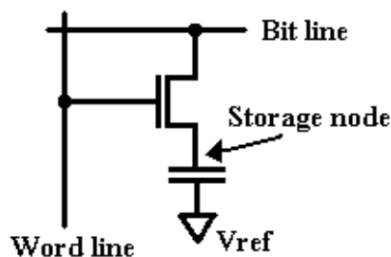
SRAM (Static RAM) är en minnestyp som är mer tillförlitlig än DRAM (Dynamic RAM) och termen statisk kommer från att den inte behöver uppdateras. Ett enkelt SRAM minne byggs upp av celler bestående sex transistorer där en bit lagras. Tillgång till bitcellen möjliggörs genom åtkomst till *wordline* som styr de anslutna transistorerna som i sin tur styr om cellen ska anslutas till *bitlines*. Dessa används för att hantera och överföra data för såväl läs och skriv operationer, vilket illustreras i figur 2.1 [3][5].



Figur 2.1 SRAM bit cell [5].

2.2 DRAM

DRAM (Dynamic RAM) skiljer sig från SRAM minnen genom att minnescellerna kontinuerligt behöver uppdateras för att kvarhålla data. Fördelen med DRAM är att det endast krävs en kondensator och transistor för att lagra en bit istället för 6 transistorer i ett SRAM minne. Enkelt förklarat är biten satt till 1 när kondensatorn är laddad, när strömmen i kondensatorn har laddats ur är biten satt till 0, På grund av läckström i kondensatorn kommer laddningen gradvis att avta i kondensatorn, och på grund utav denna anledning måste DRAM minnen uppdateras kontinuerligt för att kvarhålla informationen [5][16]. Figur 2.2 illustrerar en typisk DRAM bit cell. Tillgång till bitcellen möjliggörs genom åtkomst till *wordline* respektive *bitline* på samma sätt som i SRAM fallet.

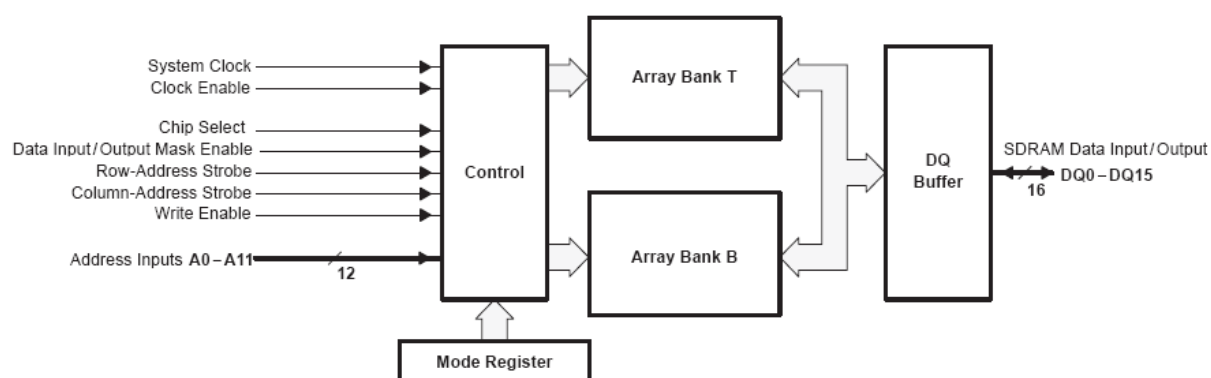


Figur 2.2 DRAM bit cell [5].

2.3 SDRAM

SDRAM (Synchronous DRAM) använder sig utav ett synkroniserat gränssnitt, vilket innebär att minnet väntar på en klocksignal innan data kan sändas till minnet. Det är synkroniserat med datorns system bus och därigenom med processorn. Detta är den största skillnaden mellan SDRAM och DRAM, som såldes saknar synkronisering och ingång för en klocksignal.

All ingångar till SDRAM minnet klockas på den positiva flanken av den synkroniserade klockan. Data in- och utgångarna på 16-bitar (DQ0-DQ15) är också synkroniserade med den positiva flanken av system klockan (CLK). De två bankarna, Array Bank **T** och **B**, måste aktiveras innan det går att upprätta en läs eller skrivförbindelse. Figur 2.3 illustrerar ett blockdiagram över ett SDRAM minne.



Figur 2.3 SDRAM block diagram [17].

2.4 DDR SDRAM

DDR (Double Date Rate) SDRAM är en hög hastighets CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) som internt är konfigurerad som en quad-bank DRAM. Den använder sig av Double Date Rate arkitekturen för att uppnå en hög hastighetsfunktionalitet. Arkitekturen är designad för att överföra två dataord per klockcykel. DDR SDRAM är en förbättrad version av SDRAM där informationen överförs på både positiv samt negativ flank av klocksignalen. För en mer detaljerad beskrivning för denna minnestyp gällande minnesarkitekturen och dess funktionalitet, se [18].

2.5 DDR2 SDRAM

För att förstå skillnaden mellan DDR SDRAM och DDR2 SDRAM måste dess arkitektur studeras. Den största skillnaden ligger i hur mycket data som överförs per klockcykel. Som ovan nämnt överför DDR två data ord per klockcykel medans med hjälp av multiplexerteknik DDR2 klarar att överföra det dubbla, nämligen fyra dataord. Detta trots att både typerna av minne använder sig utav samma minnesceller.

I de både typerna klockas minnescellerna internt av samma frekvens, medans den externa frekvensen till I/O bufferten av minnet är högre hos DDR2 SDRAM minnet. Databussen som ansluter minnescellerna med bufferten är dubbelt så bred jämfört med DDR minnet. Därmed genomför I/O bufferten en multiplexering, där informationen som kommer från minnescellerna och går ut genom buffertarna i en databuss med samma bredd men med en dubbelt så hög frekvens. Detta tillåter att höja minnets bandbredd utan att öka den interna klockfrekvensen hos minnescellerna. Övergången från DDR till DDR2 liknar övergången från SDRAM till DDR, där man började med denna metod att överföra mer än ett dataord per klockcykel.

Dessvärre har denna metod också sina nackdelar, den största är att fördröjningen ökar, vilket i sin tur leder till att åtkomsttiden till minnet ökar. Minnesfördröjningen beror inte på frekvensen av I/O buffertarna eller bredden av databussen som kommer från minnet, utan det beror på själva fördröjningen i minnescellerna. För en mer detaljerad beskrivning av denna minnestyp gällande minnesarkitekturen och dess funktionalitet, se [19].

3. Utrustning

Testutrustningen består av en Power PC microcontroller från Freescale Semiconductors[®] [20] som stödjer minnestyperna SO-DIMM (Small Outline – Dual Inline Memory Module) DDR SDRAM, DDR2 samt flashminne. Plattformen har olika I/O-portar varav två seriella RS-232 portar som kommer att användas som insignal från elektronräknaren samt för kommunikation med programmet TestTool.

Hårdvaruprogrammeringen i examensarbetet sker i programmeringsspråken assembler och C, med hjälp utav programmet CodeWarrior[®] som medföljer microcontrollern. För vidareutveckling av mjukvaran i programmet TestTool används utvecklingsverktyget Microsoft Visual Studio C#

Plattformen levererades med två SO-DIMM DDR2 SDRAM moduler, dessa moduler var inte av modellen "Industrial Grade"¹ vilket är ett krav för utförandet av examensarbetet. Det minne som medföljde plattformen användes för testning och utveckling av den hårdvarunära-programmeringen för att skapa ett förbestämt bitmönster samt möjliggöra kommunikationen. Därefter byttes det medföljande DDR2 minnet ut mot ett nytt minne som uppfyller det specifika kravet för att utförande utav arbetet. Konfigurationsfilen för minnet skall anpassas enligt de nya specifikationerna på minnet. Figur 3.1 illustrerar hur mätplattformen ser ut.



Figur 3.1 Mätplattformen.

¹ Minnestyper som är av sorten "Industrial Temperature" har två krav, omgivningstemperaturen av minnet samt temperaturen inom minnet: $40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 85^{\circ}\text{C}$ respektive $-40^{\circ}\text{C} \leq T_C \leq 95^{\circ}\text{C}$. JEDEC (Joint Electron Devices Engineering Council) specifikationer kräver att uppdateringshastigheten dubblas när T_C överskrider 85°C . Kommersiella minnen har endast kravet $0^{\circ}\text{C} \leq T_C \leq 85^{\circ}\text{C}$. [MT47H16M16BG-37E IT]

3.1 Användningsområde

Som tidigare nämnt i kap 1.7, utsetts dessa minnen för en hård miljö när de befinner sig på flygplanshöjd. Strävan efter ett robust och stryktålig minne har i årtal varit en viktig punkt inom forskningsvärlden, vilket detta examensarbete syftar till att fastställa för minnestypen DDR2.

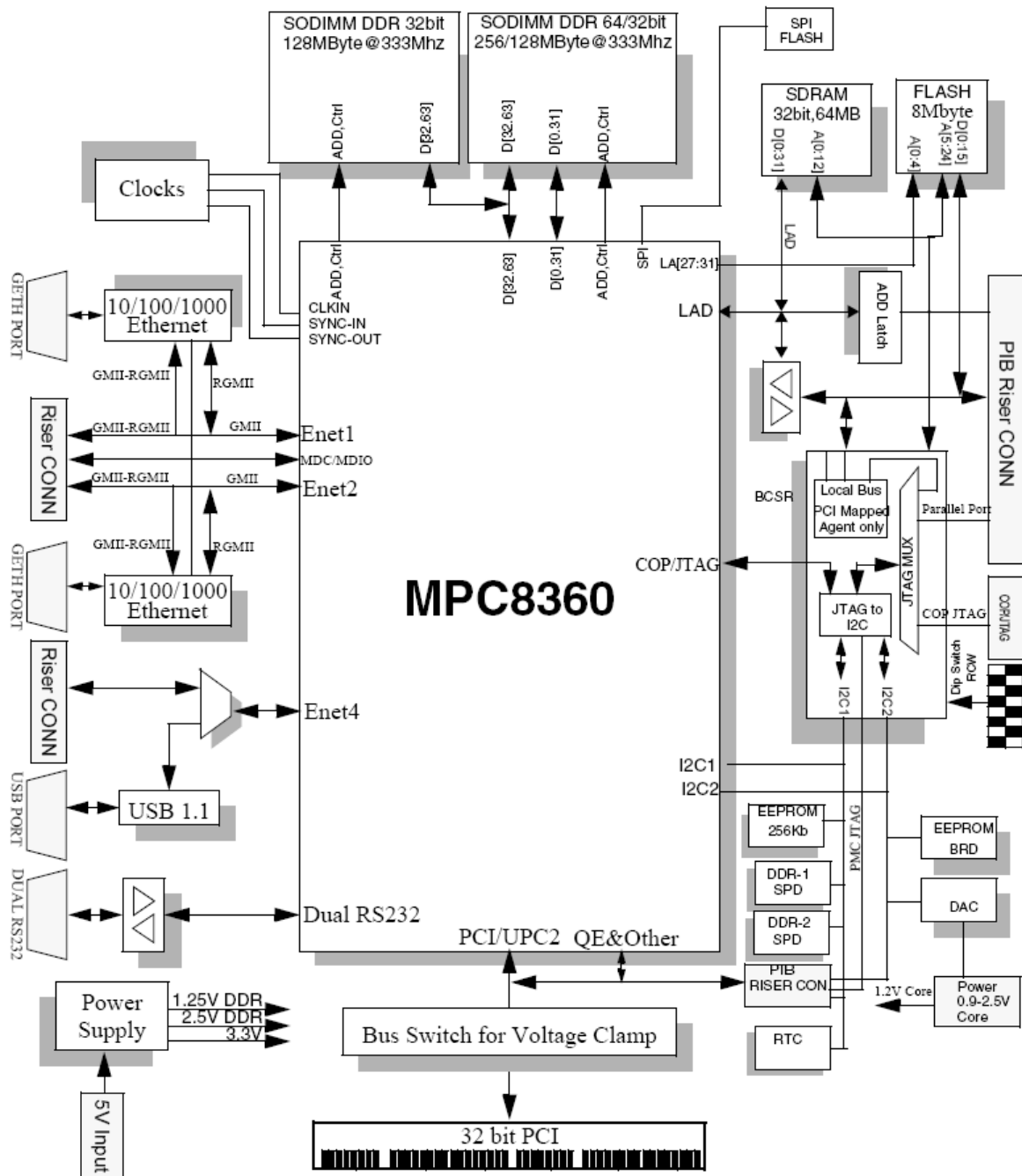
3.2 Mätplattformen

Denna plattform MPC8360EA MDS (Modular Development System) av typen ADS (Application Development System) tillhandahåller en fullständig utvecklingsmiljö [1]. Processorn på denna plattform erbjuder en kostnadseffektiv och hög integrerad kommunikation lämplig för nätverk och trådlös infrastruktur.

Denna plattform stödjer ett flertal periferienheter, såsom I/O-portar för GETH(Gigabit Ethernet), USB (Universal Serial Bus) samt DUART (Dual Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), olika minnestyper DDR, DDR2, SDRAM, Serial EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM), FLASH samt BSCR(Board Control and Status Register).

Applikationsmjukvaran som är framtagen för denna plattform kan användas i *stand-alone mode*, vilket innebär att den är fristående och som används i detta projekt. Kommunikationen sker genom JTAG (Joint Test Action Group) USB Tap vilket används för överföring av användarens utvecklade mjukvara genom programmet CodeWarrior®.

Nedanstående figur 3.2 illustrerar blockdiagrammet över MPC8360EA MDS. Detta blockdiagram visar hur de olika delarna på plattformen interagerar med varandra. Här syns framför allt hur DDR-minnet, flash-minnet samt UART (Dual RS-232) kommunicerar med varandra över processorn.



Figur 3.2 Blockdiagram över MPC8360EA MDS.

4. Utförande

Det viktigaste momentet i detta projekt är att upprätta kommunikation med minnet som ska testas vid strålningsproven. Detta projekt är en vidareutveckling av tidigare examensarbeten men skiljer sig avsevärt både hårdvaru- och mjukvarumässigt sett. I de tidigare arbetena har utvecklingsmiljön varit en FPGA-baserad plattform med mjukvara skriven i programmeringsspråken VHDL samt Visual C#.

Eftersom Visual C# är ett mjukvarubaserat programmeringsspråk kunde källkoden i det tidigare arbetet återanvändas med hjälp av mindre modifieringar.

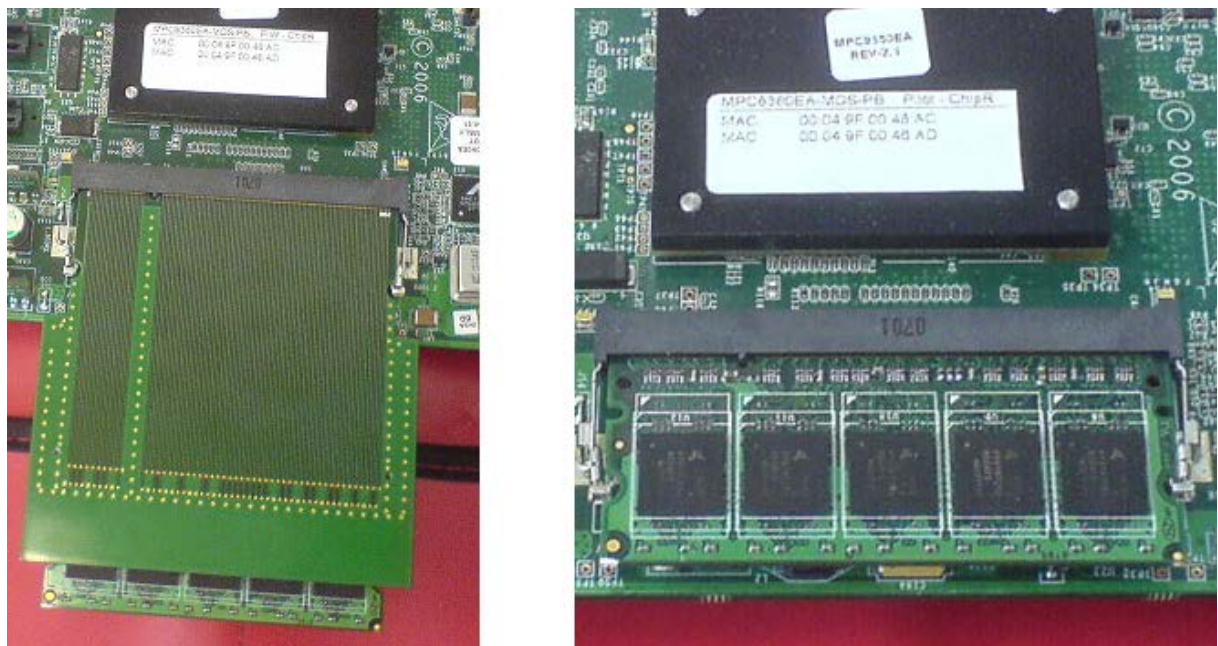
För att möjliggöra kommunikation med minnet samt fylla det med ett förbestämt bitmönster användes programmeringsspråken assembler samt C, vilket i vardagligt tal kallas Inline Assembly.

4.1 Förlängning av SO-DIMM socket

Som tidigare nämnts, krävs att minnet förlängs med en viss längd ifrån processorn för att minska risken att den utsätts för strålning vid testning, minnet kommer att utsättas för olika typer av laddade partiklar exempelvis protoner.

Om processorn utsätts för strålning av dessa partiklar kan allvarliga problem inträffa såsom mjukvaru- och hårdvarufel och därför är det ett krav att minnet förlängs från plattformen.

En skräddarsydd förlängningsmodul konstruerades vilket illustreras nedan i figur 4.1.



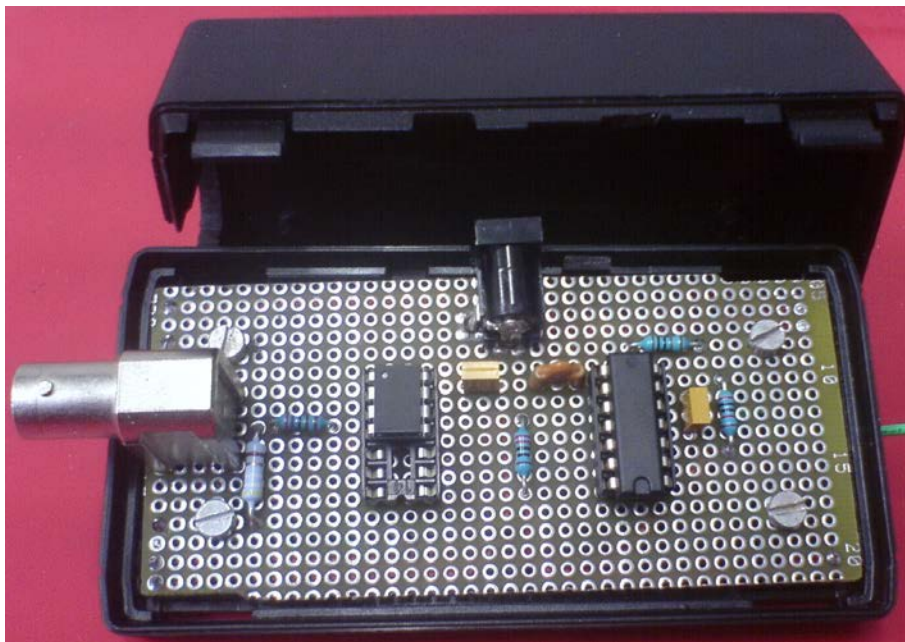
Figur 4.1 Förlängningsmodul samt utan förlängning.

4.2 Neutronutjämnarkretsen

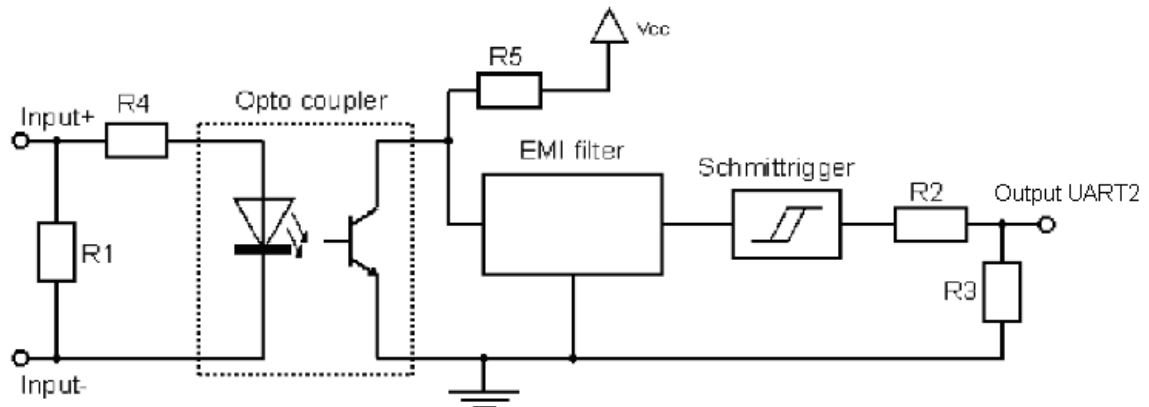
Denna krets konstruerades i syfte att motta signalen från neutronräknaren och för att utjämna signalen som inkommer samt uppfylla kravet att plattformen kräver en BNC-anslutning.

För att framställa denna signalutjämnare återanvändes den tidigare komponentuppsättningen som används i den gamla mätplattformen. De vitala komponenterna för att skapa denna, består utav en optokopplare, EMI-filter samt en schmitttrigger. Optokopplaren omfattar komponenter för att motta protoner samt isolera dessa från den ström som flödar genom kretsen. EMI (Electro Magnetic Interference)-filtret syftar till att skydda ömtåliga kretsar mot störningarna som kan uppstå. En schmitttrigger är en komparator-krets som tillhandahåller och medför en positiv återkoppling. Eftersom utsignalen från EMI-filter är högre än det tröskelvärde som krävs för utrusningen, möjliggör schmitttriggern att denna signal dämpas till en lägre nivå [21].

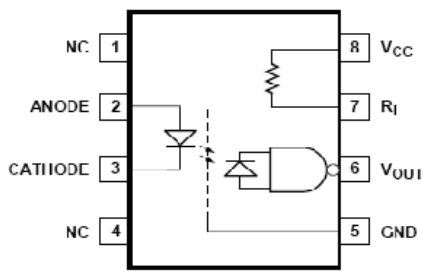
Denna box inkopplas mellan neutronräknaren och plattformens seriella ingång. Figur 4.2 visar hur komponenterna är monterade i praktiken samt figur 4.3 åskådliggör hur de olika komponenterna är sammankopplade samt i figurerna 4.4a - 4.4c visas de enskilda beståndsdelarna.



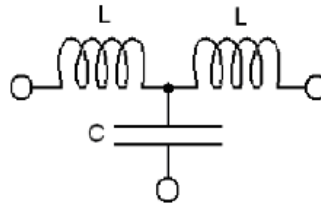
Figur 4.2 Illustration av ovannämnda komponenter monterade på ett mönsterkort.



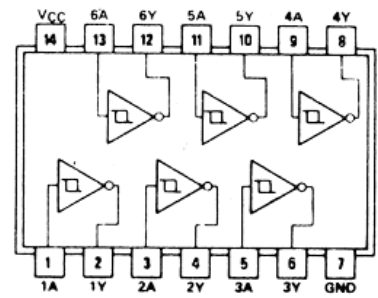
Figur 4.3 Neutronutjämnarkretsens komponentuppsättning.



Figur 4.4 (a) Optokopplare.



(b) EMI filter.



(c) Schmitttrigger.

4.3 Kommunikation

Huvuduppgiften i detta projekt är att skapa en mjukvara som skall skicka förbestämd information samt inställningar till utrustningen för att upprätta en förbindelse och uppfylla de specifika krav som ställs. Ett viktigt moment är att behandla och tolka den information som sänds mellan de olika enheterna, förutom detta krävs att data skall sparas i en loggfil samt att visualisera dessa data i realtid.

För att upprätthålla kommunikation med utrustningen, används utvecklingsverktyget CodeWarrior® samt programmet TestTool som är utvecklat i Visual C#.

4.3.1 CodeWarrior® till plattform

Utvecklingsmiljön i CodeWarrior® skiljer sig avsevärt från andra kända kompilatorer/debuggers. Detta gjorde att mycket tid lades ner på förståelse av utvecklingsverktygets uppbyggnad. Till att börja med skapades en ny projektfil med hjälp av *getting started* - manualen. Detta steg omfattade val av: processor (PowerPC 8360), plattform (rev 2.1), programmeringsspråk (C) samt anslutning (USB TAP). För att fastställa att kommunikation med plattformen etablerades, initierades det seriella gränssnittet UART med inställningsparametrar för: baudrate, antal databitar, val av paritet samt antal stoppbitar. Därefter skickades en kort data sträng till plattformen som returnerade ett svar vilket indikerade att kommunikationen var upprättad med plattformen.

Huvudprogrammet i projektet är (main.c) och innehåller mjukvaruutvecklingen som fyller hela minnesrymden, vilken har en start- och slutadress. Inom detta intervall skrivs ett förbestämt bitmönster till minnet med hjälp utav en *write-loop*. Efter att detta moment har exekverats, placerades ett visst antal fel inom intervallet som skiljer sig, från det ovan nämnda bitmönster i syfte att detektera samt korrigera fel i programkoden innan den testas i praktiken.

Nästa steg var att anpassa det ovan nämnda seriella gränssnittet, vilket medförde att drivrutinen i binärkod för UART-gränssnittet behövde modifieras. Källkod för detta gränssnitt skapades eftersom en binärkod inte går att ändra.

Med hjälp av den drivrutinen som skapats i ren källkod, modifierades de inställningsparametrar som TestTool använder sig av för att möjliggöra kommunikation mellan de två enheterna. Tabell 4.1 visar de inställningsparametrar som är ett krav för att möjliggöra kommunikation med programmet TestTool.

Tabell 4.1 Inställningsparametrar för UART.

Inställningar	Värde
Port	COM1
Baudrate	9600 bps
Paritet	Udda
Antal databitar	8
Antal stopbitar	1

Den källkod som skrivs och utvecklas i detta utvecklingsverktyg kommer framöver att överföras till flashminnet. Där exekveras sedan programkoden som bland annat etablerar kommunikation med det seriella gränssnittet. Detta innebär att de inte kommer att finnas någon kommunikation mellan CodeWarrior® och programmet TestTool eftersom programkoden kommer exekveras i flashminnet i framtiden.

4.3.2 TestTool till plattform

TestTool är ett styrprogram för en utrustning som mäter antalet fel som sker när minnen utsätts för strålning. Programmet är byggt i Visual Studio C# vilket gör det väldigt användarvänligt. Mindre modifieringar av källkoden i det tidigare skapade programmet har gjorts till syfte att uppfylla nya krav som tillkommit, vilka kommer specificeras nedan.

Som tidigare nämnts i kapitel 3, måste en förbindelse upprättas mellan plattformen och programmet TestTool, detta möjliggörs via plattformens seriella gränssnitt (RS-232) över UART.

I programmet görs inställningar för vilken storlek av minne utrustningen använder sig av samt tidsintervallet, vilket specificerar hur ofta programmet ska inhämta information från mätplattformen. Därefter startas diagnosen i programmet. Antal fel som registreras kan i realtid ses visuellt i programmet samt även övervakas genom att använda sig av en portmonitor som lyssnar av serieporten. Därefter sparas information om antal registrerade fel (SEU och MEU), aktuell tid när felen inträffat samt de nya kraven vilka är att även spara bitmönster och minnesadressen där felen skett. Under tiden diagnosen körs registreras ovan nämnd information i en loggfil (XML-fil).

Responsen från mätplattformen sänds som en sträng om 8 Byte. Denna sträng returneras från utrustningen vid tre scenarion, det första scenariot är om fel har inträffat vilket returnerar ID koden 1, i det andra scenariot skickas antal neutroner som träffat minnet som returnerar ID 2 och i det tredje scenariot kan ett felmeddelande returneras.

När fel inträffat består den 8 byte långa strängen av, Chip som är det aktuella minnet, ID vilket specificerar de olika scenarierna som tillsammans delar på de första byten i strängen, byte 2-5 anger minnesadressen där fel inträffat, byte 6 anger tiden för när fel inträffat och slutligen innehåller byte 7-8 det felaktiga bitmönstret.

När fel inte har inträffat innehåller strängen endast ID, antal neutroner som träffat minnet samt tiden. Dessa scenarion illustreras i tabell 4.2.

Tabell 4.2 Bytesträngarna.

Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7	Byte 8
Chip	ID1	Adress			Tid	Data	
	ID2	Neutronräknare			Tid		
	ID≠ ID1≠ID2	Kod					

Olika typer av kommandon skickas mellan TestTool och mätplattformen för att upprätta en förbindelse. Det viktigaste kommandot är att sända ut en begäran till mätplattformen som returnerar något av de tre ovannämnda scenarierna, detta skickas som ett hexadecimalt tal med koden 0AH. De ytterligare fyra kommandon som kan sändas till mätplattformen samt ovannämnt kommando illustreras i tabell 4.3 nedan.

- Reset – 0BH: Nollställer hela mätplattformen
- Reset neutronräknare – 52H: Nollställer endast neutronräknaren
- Minnesstorlek – F2H: Specificerar i rader och kolumner den minnesrymden som ska testas
- Generera fel – C5H: Används vid test sammanhang för att placera ut ett visst antal fel i minnet

Tabell 4.3 Kommandon.

Kommando	Byte 1	Byte 2	Byte 3
Avläsning	0AH		
Reset	0BH		
Reset neutronräknaren	52H		
Minnesstorlek	F2H	Rader	Kolumner
Generera fel	C5H		

4.4 SO-DIMM DDR2 SDRAM

Som tidigare nämnts medföljde ett SO-DIMM DDR2 SDRAM minne på 256MB med plattformen, som inte var av typen Industrial Grade. Nya minneskretsar från tillverkaren Micron® införskaffades som uppfyllde Industrial Temperature kravet samt utan funktionen ECC. Dessa minnen monterades enligt standarden för en SO-DIMM modul med storleken 256 MB av företaget Rotakorn.

4.4.1 Bitmönster

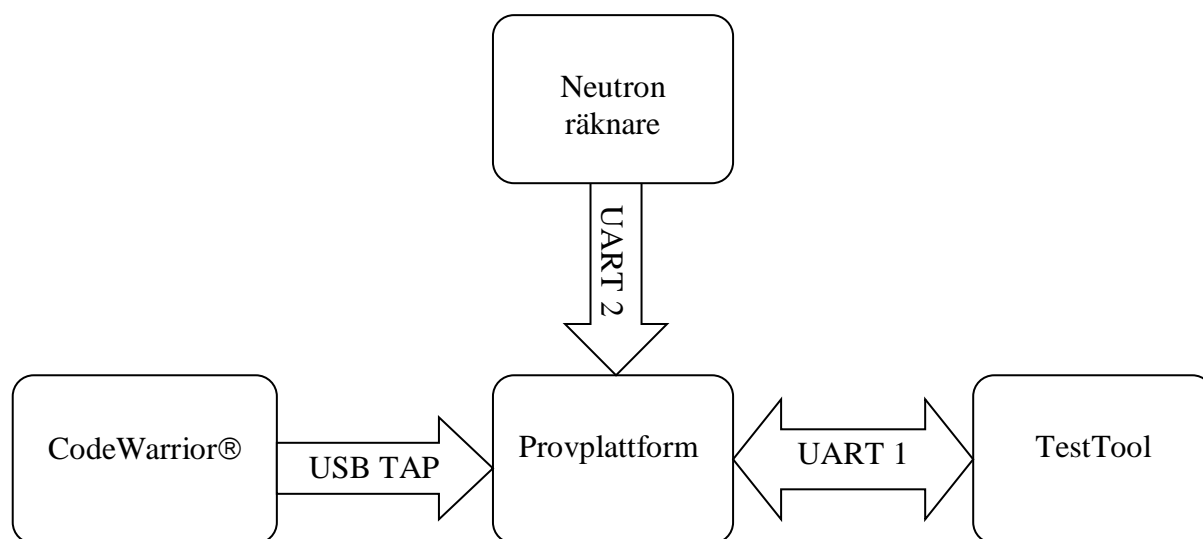
Hela minnesrymden i det ovannämnda minnet förladdades med olika typer av bitmönster innan testning av minnet för detektering av de typer av fel som kan uppstå vid bestrålning av minnet påbörjas.

Följande bit mönster användes:

- Endast Nollor
- Endast Ettor
- Sekvens av nollor samt ettor (55H)

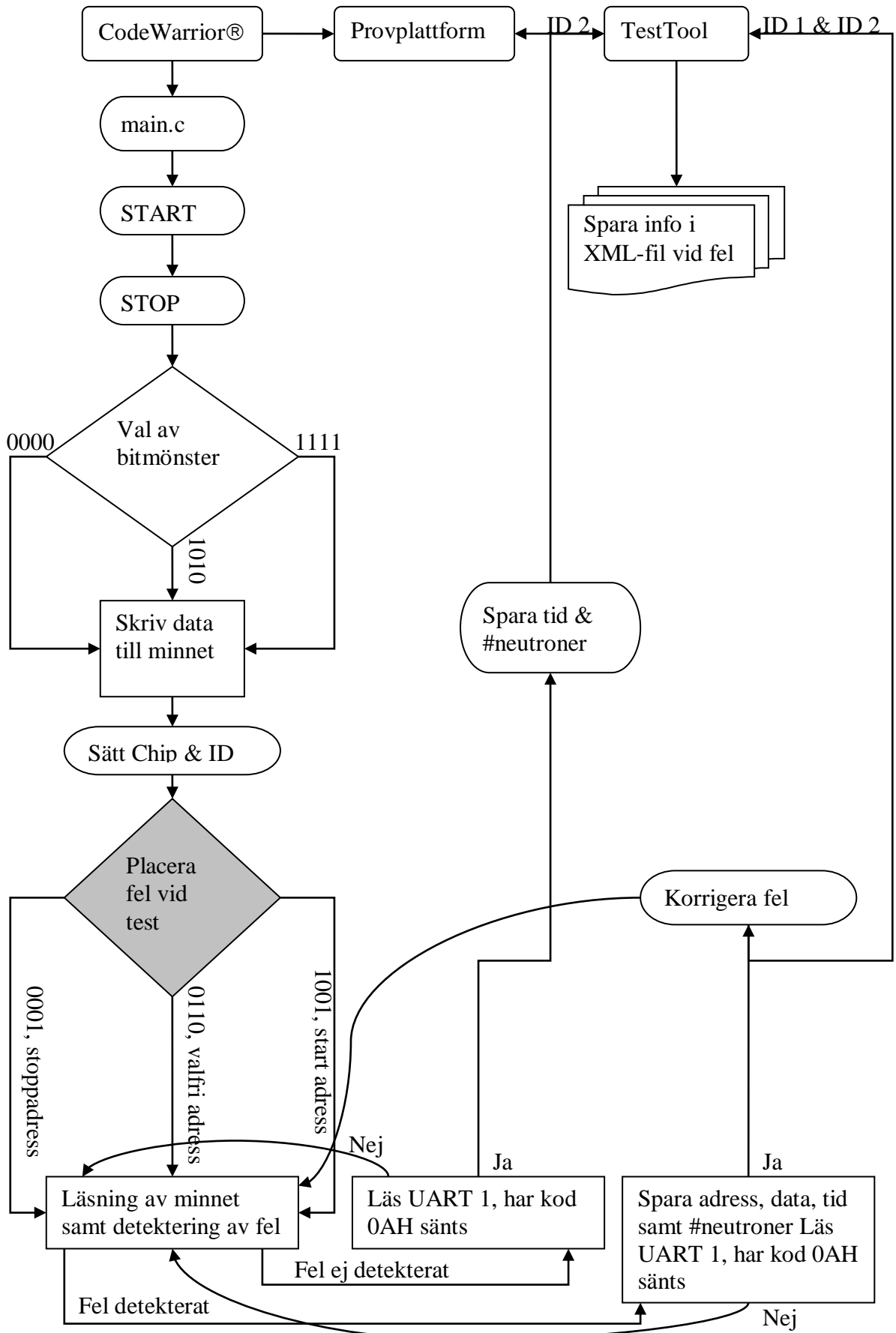
5. Design

I detta kapitel beskrivs med hjälp av flödesdiagram, den mjukvaruutveckling som tagits fram för att möjliggöra kommunikationen med provplattformen från de olika enheterna. CodeWarrior® ansluts till provplattformen med hjälp av medföljande USB TAP som används för att överföra den mjukvara som framtagits. UART 1 är en duplex kommunikation mellan provplattformen och TestTool. TestTool sänder information enligt tabell 4.3 och provplattformen returnerar information enligt tabell 4.2. Antal neutroner som träffat minnet under bestrålningen skickas från neutronräknare via UART 2 till provplattformen. Detta illustreras i figur 5.1.



Figur 5.1 En schematisk illustration över hur provplattformens kommunikation fungerar.

Den mjukvaran som utvecklades i CodeWarrior® beskrivs detaljerat i nedanstående figur. Källkoden framställdes i filen "main.c", det första steget är att ange start- och stoppadressen för att specificera den minnesrymd som skall testas, därefter anges ett bitmönster för att fylla minnesrymden med hjälp av en "write loop". Efter att detta är utfört sätts de statiska värdena, Chip och ID på för att sedan kunna returneras i den bytesträng som sänds ut till TestTool. Nästa steg som endast används under test och utveckling är att placera ut fel bitmönster på olika platser i minnesrymden, i syfte att fastställa att mjukvaran kan detektera samt korrigera de felaktiga bitmönsterna. Det slutgiltiga steget består av en evighetsloop som har till uppgift att läsa genom hela minnesrymden i syfte att detektera samt korrigera de fel som nämnts i kapitel 1.8. Om ett fel har detekterats, kontrolleras det om det kommit in en begäran från TestTool med koden 0AH vilket indikerar att programmet vill ha en utläsning av de fel som registrerats, dessa fel returneras enligt tabell 4.2. Detta registreras i sin tur av programmet TestTool som sparar all information i en XML-fil. I fallet där inga fel detekterats, kontrolleras om begäran inkommit från TestTool men i detta fall returneras endast tid samt neutronräknaren. Figur 5.2 illustrerar denna mjukvaruutveckling med hjälp av ett flödesdiagram.



Figur 5.2 Flödesdiagram över mjukvaruutvecklingen i CodeWarrior®.

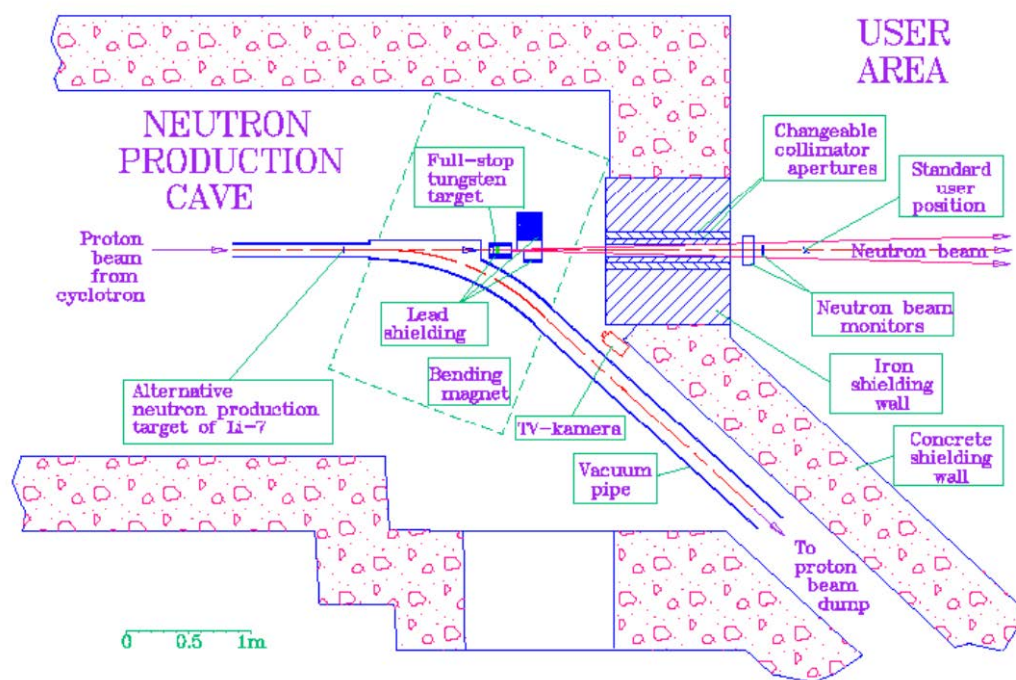
6. Laborrietester vid TSL (Theodor Svedberg Laboratory)

Detta examensarbete går bland annat ut på att fylla minnet med förbestämda bitmönster och därefter testa minnet genom bestrålning för att ta reda på hur känsligt minnet är för mjuka fel. Det finns två tillvägagångssätt att utföra tester för mjuka fel. Det första är att utföra det genom flygning [c], vilket är svårt och tar många timmar. Dessutom är det inte säkert att man får de exakta värden. Det andra, snabba och säkra testet är att genomföra det exempelvis vid TSL eller WNR (Weapons Neutrons Research) institution vid Los Alamos National laboratoriet [22].

Under vecka 22 var TSL i Uppsala uppbokat av SAAB Avitronics och SAAB Communication för testning av olika minnestyper. Testningarna bestod bland annat av neutron-, proton- och elektronbestrålning för att kolla hur minnet påverkas. Denna typ av minne kommer i framtiden att användas i flygplan, därför utförs denna typ av accelererade tester i laboratorium för att fastställa minnets robusthet.

TSL erbjuder två typer av neutronspektrum. Den första är en näst intill monoenergetisk källa [22][23], och den andra är en kraftig strålkälla, så kallad vit stråle [24]. Denna vita stråle användes för de tester som utfördes.

Figur 6.1 är en ritning över ANITA (Atmospheric-like Neutrons from th/ck Target) samt QMN (Quasi – mono energetisk Neutron) anläggningen som tillhandahåller protonkällan vid TSL (Blue hall).

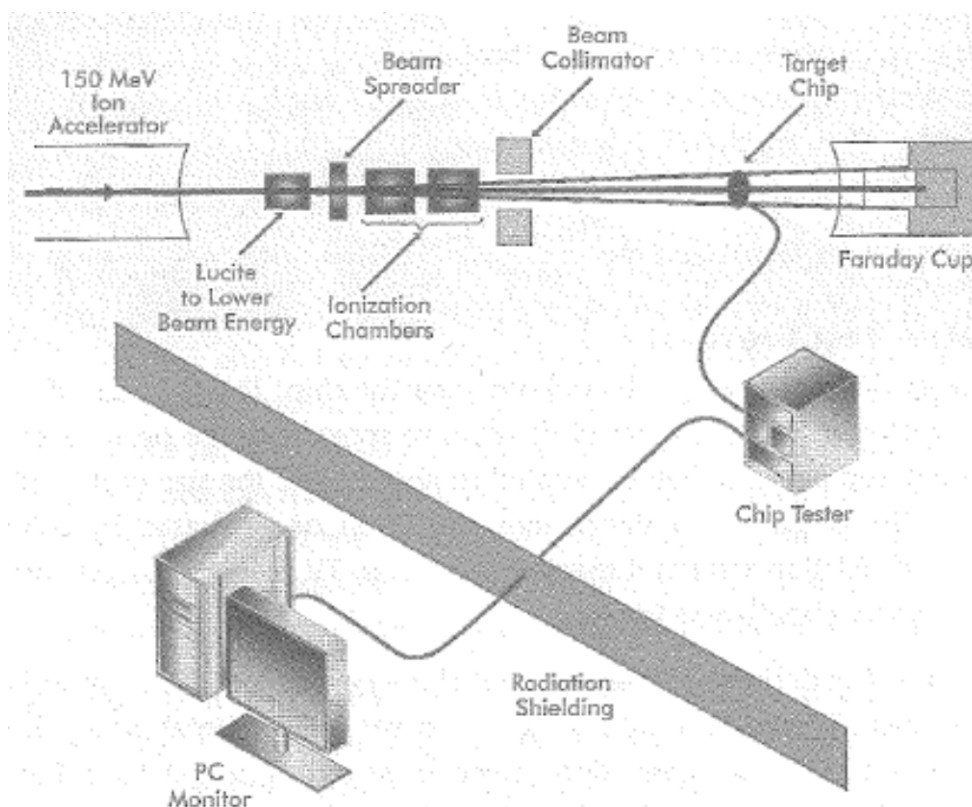


Figur 6.1 Ritning över ANITA anläggning vid TSL.

6.1 Accelererade tester

Som tidigare nämnts, när det gäller testning i realtid, är detta moment kostnadsineffektivt och tidskrävande, därför används idag accelererade tester. Dessa tester utförs genom att minneschipet placeras i en omgivning utsatt för olika typer av partikelstrålning för att simulera den naturliga kosmiska strålningen (se figur 6.2). Denna partikelstrålning som kan erhållas vid höga energispektrum och 100 års exponering av naturlig strålning kan nu uppnås inom några minuter [15].

En typisk experimentuppsättning för en accelererad testningsbana är att protonstrålen kommer in från vänster med förbestämd hastighet och styrka enligt figur 5.2. Protonstrålen genereras i "Ion accelerator" sedan når den ett block som sänker strålens energi (beroende på källans energi kan detta block väljas till), därefter breddas strålen ut och passerar jon- kammarna, i nästa steg passerar strålen en kollimator där strålen skärs ner till ~2 cm i diameter. Kretsen som skall testas placeras ~50 cm från kollimatoren och slutligen samlas strålen upp i en Faraday cup, vilket är en metallkopp som har till syfte att fånga upp laddade partiklar i vakuum. Datoren som övervakar testningen placeras bakom en betongmur som skydd mot strålningen, medans "chip tester" (vid den praktiska testningen motsvara detta mätplattformen) placeras utanför strålkällan [15].



Figur 6.2 Typisk experimentuppsättning för accelererade tester [15].

6.1.1 Testning i praktiken

Mätutrustningen placerades på en bänk i testhallen (Blue Hall) med ett förbestämt avstånd från strålkällan. Övervakningen av mätutrustningen skedde från kontrollrummet (Countingroom) där uppgifter om aktuellt neutronflöde visades. I kontrollrummet kunde även olika bitmönster förprogrammeras och antal mjuka fel loggades med hjälp av programmet TestTool.

Testobjektet placerades mellan strålkällan och betong vilket syftade till att absorbera den strålning som passerat det testade minnet. Processorn på mätutrustningen är extremt känslig för denna typ av bestrålning, och för att skydda den, konstruerades en skräddarsydd förlängningsmodul ut från plattformen.

Ett av de viktigaste momenten man ska tänka på under testningen av minnet är att se till att ECC inte är aktiverat då det korrigerar SEU fel. Under en lång tids mätning av Avitronics för en specifik minnestyp, hade inga fel rapporterats in i programmet testtool. Då misstänktes att ECC var aktiverat. Detta indikerade att SEU som inträffade under bestrålningen korrigerades direkt innan de rapporterades in till testtool. Figur 6.3 visar hur testningen i praktiken såg ut vid besöket på TSL.



Figur 6.3 Experimentuppsättning för accelererade tester vid TSL.

6.2 Strålkällan

Antalet neutronkällor för SEE testning är mycket få i världen jämfört med t.ex. protonkällor. Trycket på dessa källor från industrin har gjort att nya neutronkällor kommer att byggas inom en snar framtid.

Det finns grovt uppdelat två typer av neutronstrålningskällor, "Vit" respektive monoenergetisk. Den vita källan ger ifrån sig ett brett energispektrum som kan sträcka sig från termiska energier upp till ca 800 MeV [15]. Den monoenergetiska källan ger ifrån sig ett smalt energispektrum vanligtvis med halvvärdesbredden omkring 1 MeV. Det finns bara några få källor runt 3 MeV respektive 14 MeV som är monoenergetiska resten är sk. quasi-monoenergetiska neutronkällor. Dessa spektrum har en "svans" av neutroner bakom huvudtoppen ner mot låga energier. TSL har både en quasi-monoenergetisk [25, 23], se Figur 6.5 nedan, och en ny vit källa [24]. Intensiteten från den vita källan är ca $3 \cdot 10^6$ neutroner/(cm²·s) vilket gör källan till en av de bästa i världen. Den quasi-monoenergetiska källan levererar ungefär lika mycket för energier runt 100 MeV och en faktor 10 lägre vid 180 respektive 20 MeV. Den är troligtvis världens bästa quasi-monoenergetiska källan p.g.a. det stora energiomfånget samt den höga intensiteten. Vid båda källorna kan man variera stråldiametern från 2 cm till 30 cm. Detta är mycket fördelaktigt när man vill testa elektronik på ett mönsterkort, eftersom man dels kan bestråla hela korten eller fokusera enbart på vissa komponenter.

Strålkällornas noggrannhet skiljer så åt för tillfället eftersom den nya vita källan inte är så väl karakteriserad ännu. Dock vet man spektrumets utseende men man vet bara flödets noggrannhet med ca 30 % intervall. Den quasi-monoenergetiska är väl karakteriserad med en noggrannhet på 10 %, vilket är en noggrannhet som alla välkalibrerade källor har.

Den vita källan på TSL var den neutronkällan som användes under mätningarna. Nedan i Figur 6.4 ses kollimatoren med en diameter på 5.6 cm samt en av de tre detektorerna. Den valdes eftersom dess spektrum liknar det atmosfäriska spektrumet upp till 180 MeV. Detta gör utvärderingen mycket enklare. För mer noggrann beskrivning av denna strålkälla se ref. [24].



Figur 6.4 Strålkällan vid TSL.

6.3 Cross Section

Beräkning av CS (Cross Section)(σ_{RAW}), kalkyleras med 5.1 [26].

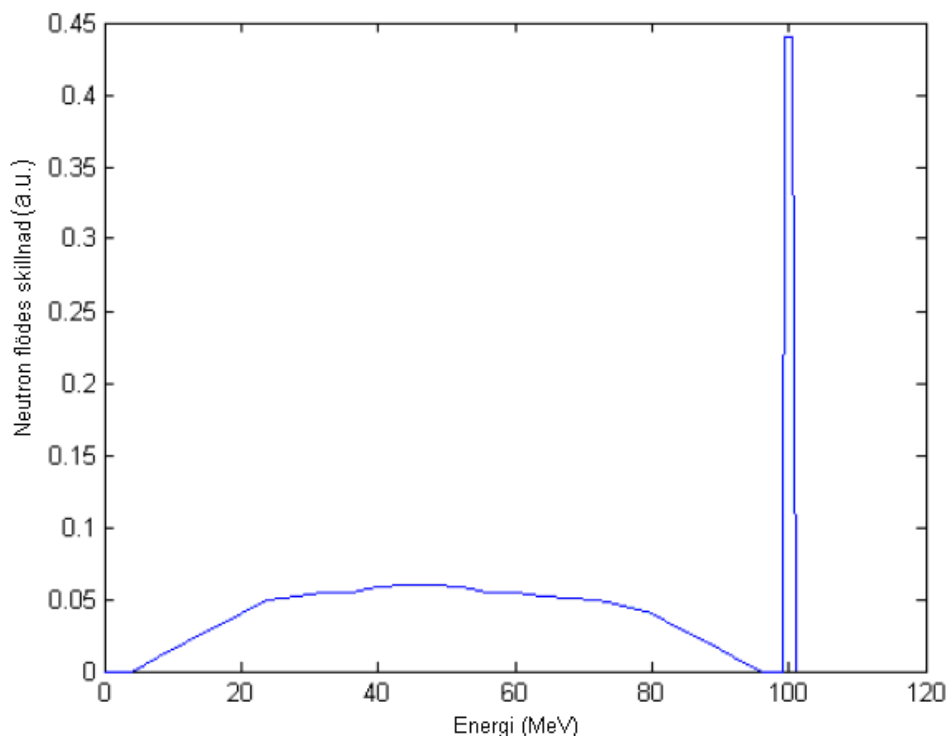
$$\sigma_{RAW} = \frac{\# SEU}{Flödet * \# Bitar} \quad (5.1)$$

Där #SEU är det totala antalet SEUs, och flödet motsvara det totala antalet neutroner per cm^2 (5.2), samt #bitar är lika med det totala antalet bitar i minnet [26].

$$Flödet \text{ beräknas genom: } Flödet = \frac{\# n}{cm^2} \quad (5.2)$$

#n = Antal neutroner eller protoner

Vid användning av en vit källa, beräknas CS värdet med hjälp utav den förenklade funktionen (5.1). Tillvägagångssättet skiljer sig vid användning av en quasi-monoenergetisk källa. CS funktionen beräknas från σ_{RAW} , men detta är en överestimering på grund av den svans som finns i de lägre energinivåerna i spektrumet. Figur 6.5 ger en överskådlig bild av ett typiskt quasi-monoenergetisk neutronspektrum där svansen i de lägre energierna framgår tydligt[26].



Figur 6.5 En typiskt quasi-monoenergetisk neutron spektrum med en topp vid 100MeV[5].

I (5.3) motsvarar index i , energi intervallen för de enskilda uppmätta energipunkterna (E_1-E_5), funktionen f är den justerade CS samt anpassad till SEUs mätvärden eftersom den sökta energin ligger i toppen av spektrumet. dN/dE motsvarar det differentiella neutronflödesspektrumet med en topp energi på E_i för varje iteration samt $\#SEU_{exp}$ anger det totala antalet SEU som uppmätts under mätningen.

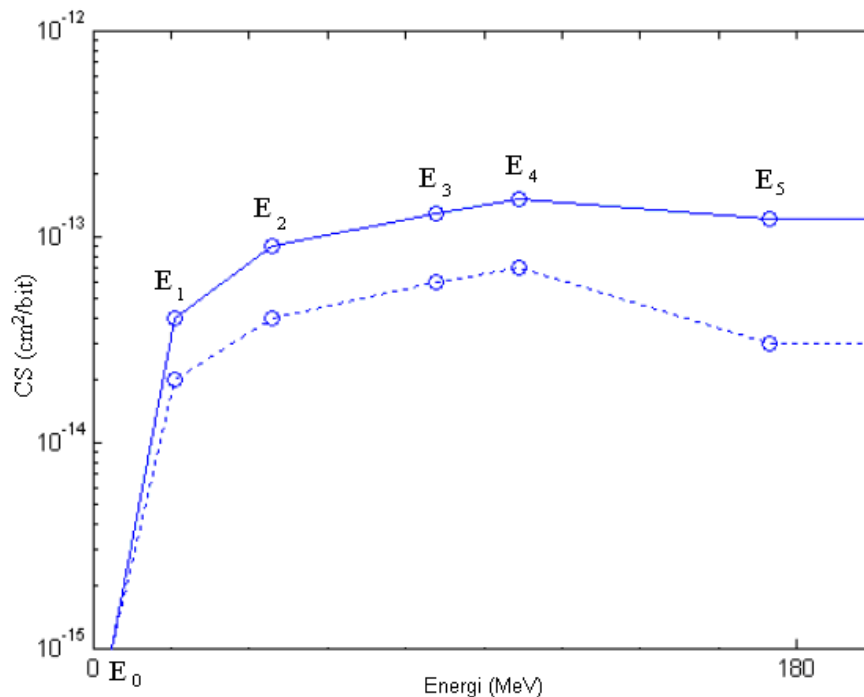
För att bestämma det korrekta $\#SEU$ itereras σ'_{E_i} enligt villkoret (5.4) för att i sin tur uppfylla villkoret som framgår i (5.5). Efter att σ'_{E_i} har itererats och villkoren är uppfyllda, har det slutgiltiga korrekta $\#SEU$ fastställts [26].

$$\#SEU = \int_{E_0}^{E_i + \Delta E_i} f\{\sigma(E'_i)\} \frac{dN}{dE} \Big|_{E_i} dE \rangle \#SEU_{exp} \quad (5.3)$$

$$\sigma'_{E_i} = \sigma_{E_i} - \Delta\sigma_{E_i} \quad (5.4)$$

$$\#SEU - \#SEU_{exp} \langle \Delta SEU \quad (5.5)$$

Figur 6.6 visar ett typiskt exempel på den obearbetade kurvan baserad på de uppmätta energipunkterna samt den kompenserade CS kurvan, i syfte att eliminera svansen i energispektrumet.



Figur 6.6 En typisk CS kurva, den heldragna linjen motsvarar σ_{RAW} och den streckade kurvan motsvarar den nya CS kurvan efter att svansen har kompenserats.

Resultat

Syftet med detta examensarbete var att fastställa om den provplattform baserad på en PowerPC – lösning, till skillnad från de tidigare examensarbetena skulle uppfylla de krav som ställs vid bestrålning av minneselektronik.

Det visade sig att denna provplattform var rätt val, tack vare sin robusthet under de accelererade tester som genomfördes vid TSL i Uppsala. Trots det kortvariga bestrålningstestet vi fick möjlighet att genomföra och som pågick i endast 5 minuter (som för flygburna system motsvarar 70 000 flygtimmar) kunde detta test visa att plattformen uppfyllde de specifika krav som ställts och trots det kraftiga accelererade testet kunde inga SEL påträffas.

Trots att en större modifiering av anslutningen till minnet konstruerades, medförde detta inga komplikationer gällande fördröjning i data bussen, läs eller skrivsvårigheter till minnet.

I dagsläget måste den programkod som framtagits överföras och initieras med hjälp av CodeWarrior®, i framtiden kommer programkoden överförs till det flashminne som finns på provplattformen för att därifrån exekveras.

Arbetsfördelningen under examensarbetets gång har fördelats jämt och vi har gemensamt funnit lösningar till de olika delmomenten.

Om en kravspecifikation hade tagits fram i början av examensarbete hade detta underlättat planeringen samt minskat leveranstiderna av komponenter. Eftersom provplattformen var en pilot serie på marknaden begränsade detta möjligheterna till support för såväl hårdvaran från tillverkaren samt den mjukvara som togs fram.

Referenser

- [1] Joseph A. Angelo, Nuclear Technology, Greenwood Press 2004, ISBN 1573563366
- [2] A. Taber, E. Normand, "Single event upset in avionics", IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol 40, Issue 2, April 1993
- [3] S. Melin, Mätutrustning för kosmisk strålning, Examensarbete, LITH-ISY-EX-ET-0281-2005, Institutionen för systemteknik, Linköpings universitet, 2005
- [4] M. Milevsi, I. Kurda, Mätning för kosmisk strålning, Examensarbete, Institutionen för natur och teknik, Linköpings universitet, 2006
- [5] P. Jonsson, Equipment for measuring cosmic-ray effects on DRAM, Examensarbete, LITH-ISY-EX--07/4031--SE, Linköpings universitet, 2007
- [6] Victor F. Hess, "Über Beobachtungen der durchdringenden Strahlung bei sieben Freiballonfahrten," Physik. Zeitschr., XIII, pp. 1084, 1912.
- [7] Pierre Auger, P. Ehrenfest, R. Maze, J. Daudin, and Robley A. Fréon, "Extensive Cosmic-Ray Showers," Rev. Mod. Phys., vol. 11, (3-4), pp. 288-291, 1939.
- [8] Eugene N. Parker, "Dynamics of the interplanetary gas and magnetic fields," Astrophysical Journal, vol. 128, pp.664, 1958.
- [9] Charles P. Sonett, "A Summary Review of the Scientific Findings of the Mariner Venus Mission," Space Science Rev, vol. 2, pp. 751-777, 1963.
- [10] Malcom S. Longair, "Particles, Photons, and Their Detection," High Energy Physics, 2nd ed., Vol. 1, Cambridge University Press, 1992.
- [11] M. A. Shea, D. F. Smart, and K. G. McCracken, "A Study of Vertical Cut-off Rigidity Using six degree Simulations of the Geomagnetic field," J. Geophys. Res., Vol. 70, pp. 4117, 1965.
- [12] Kosmisk strålning slår satelliterna ur kurs, Illustrerad Vetenskap nr9, 1991
- [13] D. Binder, E. C. Smith, and A. B. Holman, "Satellite anomalies from galactic cosmic rays," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. NS-22, pp. 2675-2680, 1975.
- [14] ICE House: <http://lansce.lanl.gov/NS/instruments/ICEhouse/index.html>
- [15] J. F. Ziegler, H. Puchner, SER—History, Trends and Challenges - A Guide for Designing with Memory ICs, Cypress Semiconductor 2004
- [16] B. Keeth, R.J. Baker, DRAM Circuit Design – A Tutorial, IEEE COMPUTER SOCIETY PRESS, ISBN 0780360141, 2000
- [17] <http://focus.ti.com/lit/ds/smos692b/smos692b.pdf>

- [18] <http://www.jedec.org/download/search/JESD79E.pdf>
- [19] www.jedec.org/download/search/JESD79-2C.pdf
- [20] http://www.freescale.com/files/32bit/doc/user_guide/MPC8360EMDSUM.pdf
- [21] <http://dx.doi.org/10.1088/0950-7671/15/1/305>
- [22] P. A. Lisowski, C. D. Bowman, G. J. Russell, S. A. Wender, "The Los Alamos National Laboratory Spallation Neutron Sources," *Nuclear Science and Engineering*, vol. 51, no. 5, pp. 2622-26, 2004.
- [23] S. Pomp, A. V. Prokofiev, J. Blomgren, O. Byström, C. Ekström, N. Haag, A. Hildebrand, C. Johansson, O. Jonsson, P. Mermod, L. Nilsson, D. Reistad, N. Olsson, P.-U. Renberg, M. Österlund, U. Tippawan, D. Wessman, V. Ziemann, "The New Uppsala Neutron Facility," Presented at the International Conference on Nuclear Data for Science & Technology, Santa Fe, USA, Oct. 2004.
- [24] A. V. Prokofiev, J. Blomgren, Simon P. Platt, Andrey N. Smirnov, "ANITA-a New Neutron Beam Facility for Accelerated Testing at the The Svedberg Laboratory," presenterad vid 8th European Workshop on Radiation Effects on Components and Systems (RADECS'2008), Jyväskylä, Finland, Sept. 10-12, 2008.
- [25] A. V. Prokofiev, J. Blomgren, O. Byström, C. Ekström, S. Pomp, U. Tippawan, V. Ziemann, M. Österlund, The TSL Neutron Beam Facility, Tenth Symposium on Neutron Dosimetry (NEUDOS10), June 12-16, 2006, Uppsala, Sweden; *Rad. Prot. Dosim.* v. 126, P.18-22, 2007; doi 10.1093/rpd/ncm006
- [26] T. Granlund, N. Olsson, "A Comparative Study Between Proton and Neutron Induced SEUs in SRAMs," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol 53, Issue 4, Aug. 2006