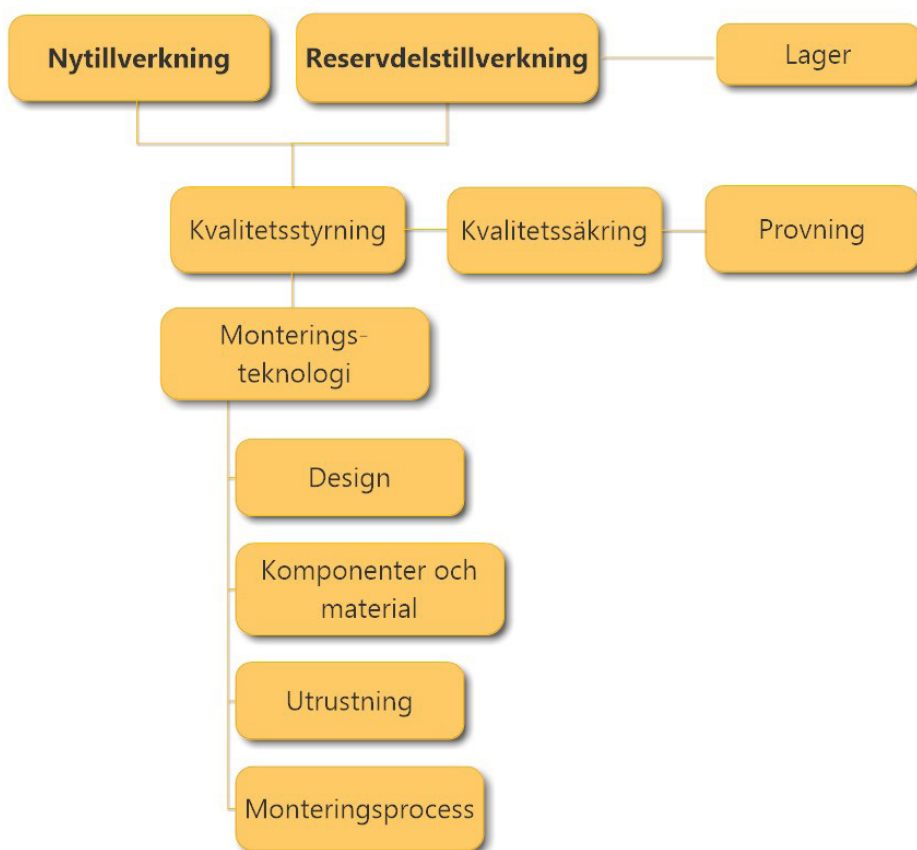


NYTILLVERKNING AV ANALOG STYRELEKTRONIK

RAPPORT 2016:266



NYTILLVERKNING AV ANALOG STYRELEKTRONIK

Kandidatarbete vid Chalmers Tekniska Högskola

TED ERIKSSON, CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

ISBN 978-91-7673-266-3 | © 2016 ENERGIFORSK

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Flera av de nordiska kärnkraftverken har fortfarande övervägande analog teknik i sina styr- och kontrollsysten. Många av systemen har varit i funktion sedan kraftverken byggdes, och i vissa fall är det svårt att hitta reservdelar och komponenter för att bygga om systemen.

I detta kandidatarbete har möjligheterna att nytillverka analog teknik från 60- och 70-talet undersökts. Studien visar att det finns företag som är specialiserade på nytillverkning. Den tekniska utvecklingen med automation har medfört att kvalitetsaspekterna är enklare att hantera och priserna på minneskapacitet är väsentligt lägre, vilket gör att det nu är både enklare och billigare att producera komponenter.

Kandidatarbetet har genomförts med stöd av forskningsprogrammet ENSRIC, Energiforsk Nuclear Safety Related I&C Systems. Programmets intressenter är Vattenfall, Uniper, Fortum, TVO, Strålsäkerhetsmyndigheten, Skellefteå Kraft and Karlstad Energi. Mer information om programmet finns på www.energiforsk.se.

Acknowledgements

Projektarbetet är gjort på Chalmers Tekniska Högskola med kandidatstruktur. Projektet har utförts via Maskinteknikprogrammet vid Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg. Arbetet har utförts i samarbete med Novametric AB i Mölndal.

"Jag vill tacka alla på Chalmers, Novametric AB, personal på värmekraftverket samt bekanta som har bidragit med sin tid och kunskap för att stötta mig under arbetet. Gilbert Lundgren på Novametric AB bidrog med ett kunskapslyft och examinator Johan Bankel har stöttat projektet i avgörande skeenden. Stellan Jörsell och övriga på studiebesöket bidrog med mycket intressant information hur man i praktiken bygger och underhåller system för att de ska bli stabila och robusta. Herman Dunge bidrog med kunskaper inom kvalitetsteknik, ett område som är helt avgörande för att bygga önskvärda system."

Ted Eriksson
Göteborg|| December 2015

Sammanfattning

Projektets syfte är att i framtiden på ett kvalitetskontrollerat sätt nyttillverka den typ av styrelektronik som fanns under 60- och 70-talet i processindustrin, t.ex. i värmekraftverk. Projektets huvudområden är teknikhistoria, standard, konstruktion, tillverkning samt provning. Arbetet skapar främst en grund för fortsatt verksamhet inom området.

Ett kretskort från början av 70-talet analyseras efter att relaterad teknikhistoria har behandlats. Analysen kan användas som analogi för att nyttillverka ett annat kretskort. Kretskortet som analyseras i utredningen har ansetts föråldrat men utbyten av liknande kretskort i styrelektronik har ofta inte varit lönsamma.

För att kunna välja en lämplig tillverkningsprocess kategoriseras systemen, standard behandlas samt robusthet och stabilitet definieras. Relaterade standarder som användes på 60- och 70-talet och de standarder som gäller idag för främst analog styrelektronik presenteras.

Projektet har påvisat att praktisk och teoretisk kunskap om konstruktion har en stor inverkan på flera parametrar för system, däribland tillverkningsprocesser, livslängd och underhåll. Ett exempel på en praktisk parameter är att styrfunktioner behöver kunna provas sekventiellt. Projektet påvisar att optimering av robusta och stabila system bör innebära att antalet funktioner minimeras. Redundans och diversifiering kan tillämpas för att minimera risken för att komponentfel och därmed utebliven funktion. Systemet kan därför göras robustare.

Projektet har visat att det finns tillverkningskapacitet för i storleksordning 10000 kretskort med likartad teknik som användes på 60- och 70-talet. Flera företag har specialiserat sig på att sälja relevanta komponenter och att det finns tillverkningsutrustning för nyttillverkning av dessa kretskort. En grund för att styrsystem skall bli robusta och stabila är att tillverkning sker enligt beprövade standarder och att tillförlitliga komponenter samt tillverkningsprocesser används.

Teknikutvecklingen har gjort att de kvalitetstekniska aspekterna är enklare att behandla än på 60- och 70-talet, delvis eftersom industrin är mer automatiserad. Priset för dataminne har minskat sedan 70-talet vilket gör att det idag är både enklare och billigare att lagra och hitta den information som batch eller serienummer representerar.

Projektet föreslår att företag kan kontaktas för att utföra provningar vid nyttillverkning av styrelektronik. Utredningen har visat att det finns företag som idag arbetar med provning enligt standarder som ställer krav på robusthet för styrelektronik.

Innehåll

1 Inledning	1
1.1 Projektbeskrivning	1
1.2 Bakgrund	1
1.3 Novametric AB	1
2 Mål och syfte	2
2.1 Avgränsningar	2
3 Teknikhistora	3
3.1 Elektronikens för och nackdelar jämfört med mekaniska system	3
3.2 Elektroniska kretskomponenter	4
3.3 Livscykel	7
3.4 Livslängdsanalys	8
3.5 Analoga datorer	8
3.6 Utbud under 60- och 70-talet	9
3.7 Tidslinje över utvecklingen av mönsterkort och förbindningsteknik	10
3.8 Förbindningsteknik	10
3.9 Mönsterkort	15
3.10 Kretskortskontakter	17
3.11 Montering i elskåp	19
3.12 Utbud av komponenter	21
3.13 Utveckling av styrteknik i värmekraftverk	22
4 Kvalitetsteknik	25
4.1 Intervju med Herman Dunge	25
4.2 NCAB group	28
5 Standard	29
5.1 Fördel med Standard	29
5.2 Kvalitetsstandard	29
5.3 Tillämpade säkerhetsstandader under 60 och 70-talet	30
5.4 Tillämpade säkerhetsstandader under 2015	31
5.5 Tillämpad installationskapsling under 60 och 70-talet för klass 1E system eller liknande system	32
5.6 Tillämpad installationskapsling under 2015 för klass 1E system eller likande system	33
6 Robusthet och stabilitet	34

7 Konstruktion	37
7.1 Kompetens	37
7.2 Resurs	38
7.3 Utbildning	39
8 Referenskort	40
8.1 Intervju med Gilbert Lundgren	41
8.2 Exempelkort	45
8.3 Top down-model av referenskort	45
9 Tillverkningsteknik	48
9.1 Mönsterkortets funktioner	48
9.2 Material för att tillverka mönsterkort	48
9.3 Tillverkning av mönsterkort med fotolitografi	48
9.4 Förvaring av mönsterkort	50
9.5 Förbindningsteknik	50
9.6 Förbindningsteknik för kretskomponenter	52
9.7 Lötningsteknologi	53
9.8 Kapsling	56
10 Provning	57
10.1 Problemområden	60
11 Exempel på tillverkningsresurser idag	61
12 Reservdelstillverkning	63
13 Tillverkning	64
13.1 Tillverkning 2010-2015	65
13.2 Tillverkning under 2010-talet hos SMA Solar Technology och Fujitsu TS	71
14 Tillverkning av kretskort från 60- och 70-talet i dagens fabriker	73
15 Slutsatser	75
16 Förslag på framtida verksamhet	78
17 Källkritik	79
18 Diskussion	80
18.1 Kategorisera system	80
18.2 Systemets helhet	80
Kontaktlista	81

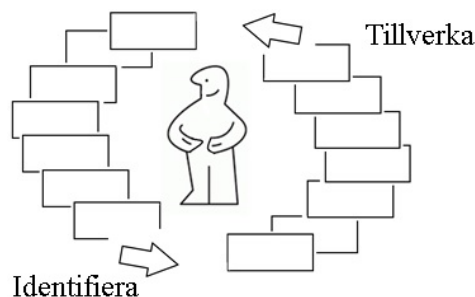
Ordlista	82
Referenser	85
Appendix	93

1 Inledning

Utredningen syftar till att studera hur man på ett kvalitetssäkrat sätt kan nytillverka analog styrelektronik som fanns på -60 och -70 talet i process-industri, till exempel i värmekraftverk.

1.1 Projektbeskrivning

Projektet delas in i följande avsnitt och projektomfattning redovisas för respektive del som en procentsats av totala omfattningen. Teknikhistoria (30%), Standard (5%), Konstruktion (5%), Tillverkning (30%), Provning (10%), Möten och dokumentation (20%). Figur 1 beskriver arbetsgången.



Figur 1: Projektet har utförts genom en tvåvägsprocess. [26]

1.2 Bakgrund

Styrellektroniken har utvecklats mycket under senaste 50 åren och det har gjort att värmekraftverk, flyg, båtar och andra objekt som har långa livscykler nu använder obsolet teknik. Aktörerna har på grund av teknikförändringen svårt att hitta reservdelar att köpa in.

Byten av fungerande system blir ofta särskilt dyra om systemen är säkerhetsklassade. Rapporten SSM2011-317 ger en djupare inblick i problematiken som rör utbyte av instrument och kontrollsystem inom kärnkraftsbranschen som har verksamhet som använder obsolet teknik. [99]

Detta projekt har utförts på Novametric AB i Mölndal, Chalmers tekniska högskola och via studiebesök på värmekraftverk.

1.3 Novametric AB

Novametric AB startades år 1969 och har mer än 40 års erfarenhet av elektronik och teknik. Lokal aktör med kontor i Askim, Sisjö Industriområde, ca 5 km från Göteborgs centrum.[100]

2 Mål och syfte

Syfte med projektet är att skapa en förståelse för möjligheterna att i framtiden på ett kvalitetssäkert sätt kunna nyttillverka den typ av styrelektronik som fanns på 60- och 70-talet i processindustri, exempelvis i värmekraftverk.

Mål med föreslaget projekt är att göra ett väl avgränsat förberedande arbete som kan utgöra underlag för fortsatt verksamhet.

2.1 Avgränsningar

Projektet är avgränsat enligt:

- Referenskort från början av 70-talet begränsar vad som utreds i detalj.
- Antagande om att konstruktion kan köpas in.
- Kablage behandlas inte, endast kontakter.
- Vikt och utrymme anses inte vara viktiga parametrar.

3 Teknikhistora

Några år efter andra världskrigets slut och fram till 1990-talet utspelade sig kalla kriget. Under konflikten skedde en kapprustning mellan USA och Sovjetunionen. En viktig milstolpe i konflikten var när NASA bildades år 1958 som ett svar på Sovjetunionens uppskjutning av Sputnik, år 1957. NASA bildades ur National Advisory Committee for Aeronautics. NASA fick i uppdrag att genomföra månfärder, vilket krävde ny teknik och därför fick rymdprogrammen mycket resurser. USA avsatte exempelvis resurser för en miljon arbetstimmar bara för att planera sin färd till månen. År 1969 lyfte Nasas Apollo 11 och några dagar senare var Neil Armstrong och Edwin Aldrin de första människorna på månens yta. Tekniken bakom framgången bestod både av analoga och digitala enheter som byggde på samma principer som används idag.

Datortekniken och elektroniken var de två områden som utvecklades mest under kalla kriget eftersom raketerna behövde regleras. Utvecklingen som följt efter rymdprogrammen inom elektronik och datateknik har varit explosionsartad. [35] [36] [39].

Elektroniken var redan under 60 och 70-talet central i många system. Under informationsrevolutionen med början på 1950-talet ersattes allt fler manuella och mekaniska operationer av elektronik. Under 50-talet började olika typer av styr och regler-system byggda av mekanik användas. Exempelvis centrifugalregulatorns uppgift ersattes av elektroniska system. [61] [41]

3.1 Elektronikens för och nackdelar jämfört med mekaniska system

Det finns både för- och nackdelar med olika designar av styrsystem. Elektronik utgör idag en grundkomponent för tillverkningen av styrsystem. En anledning är att elektriska signaler skapar möjligheten att övervaka flera parametrar samtidigt i ett kontrollrum. Med elektronik kan logikkretsar byggas upp som möjliggör snabba beslut. Elektriska system är generellt kompakta jämfört med motsvarande mekaniska system. Elektronik fel är generellt, baserat på intervjuer, svårare att upptäcka än i mekaniska system. I elektriska system krävs dessutom en elförsörjning för att systemen ska fungera. Innan elektriska system installeras bör man jämföra med mekaniska system eftersom de beroende på situation har olika fördelar. Som exempel gör rädslan för elektronikfel att det idag finns rattstång i många bilar, även om samma funktion skulle gå att implementera med elektrisk styrning.

3.2 Elektroniska kretskomponenter

Tabell 1 är en tidsöversikt av elektriska kretskomponenters utveckling som kommer beskrivas i de kommande kapitlen.

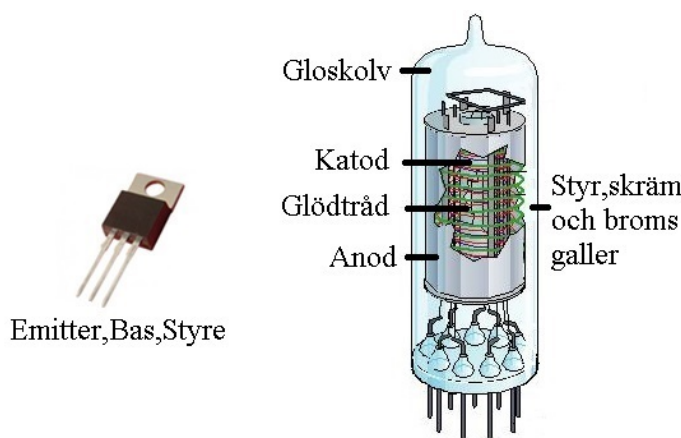
TABELL 1

1900	• I början av 1900-talet byggdes det första elektronröret.
1941	• Operationsförstärkare, under denna tid baserades de på elektronrör.
1947	• Transistorn.
1950	• Nordsieck tar fram en elektromekanisk differensanalysator.
1958	• Första OP-förstärkaren baserad på grundämnet germanium.
1958	• Integrerade kretsen.
1959	• Planarteknologi.
1960	• Första OP-förstärkaren baserad på kisel.
1962	• Första OP-förstärkarna som säljs förkonfigurerade.
1963	• Westinghouse ansöker om patent på OP-förstärkare för Autonetics Minuteman II-missilen.
1964	• Fairchild μ A702 OP-förstärkare når en större marknad än tidigare OP-förstärkare. Kretsen baseras på halvledarteknik.
1968	• OP-förstärkaren μ A741 blir den hittills mest populära OP-förstärkaren genom tiderna.

Elektronikutvecklingen tog fart i början av 1900-talet när elektronröret introducerades. Figur 2 illustrerar elektronrörets uppbyggnad till höger. Radiotekniken som utvecklades på 1920-talet använde elektronröret för att förstärka signalerna av en elektromagnetisk våg. Radion var en tidig implementering av elektronik. Livslängden för elektronrör är svår att bedöma eftersom de konstrueras med en glödtråd som utvecklar värme.

Givarteknik började utvecklas redan under 1700-talet när Samuel Christie (1784-1865) tog fram en grundprincip. Charles Wheatstone (1802-1875) skapade baserat på principen den polariserade mätbryggan och den har därefter namnsatts efter honom. Wheatstone bryggan används ofta idag för att tillverka givare. [73]

Transistorn uppfanns 1947 och offentliggjordes 1948 av John Bardeen, Walter Brattain och William Shockley på Bell Laboratories. Komponenten som baseras på nämligen halvledarteknik innebar ett genombrott inom elektronik. Transistorn kunde ersätta elektronröret och hade inte samma problem med tillförlitligheten, mekaniska känsligheten, effektutvecklingar och utrymmesproblem. Figur 2 visar till vänster hur en fristående transistor kan se ut idag. År 1956 tilldelades Bardeen, Brattain och Shockley nobelpriset i fysik för sin upptäckt. [41] [111]

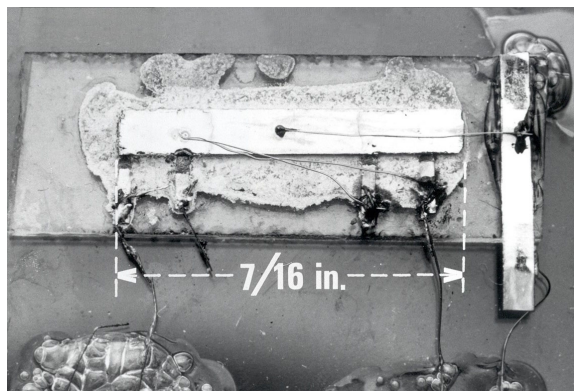


Figur 2: En transistor till vänster och till höger ett elektronrör. Figuren är inte skalenlig eftersom transistorn är uppförstorad. [41]

Transistorn gjorde att nya kretsar kunde innehålla allt fler komponenter. Elektronikbranschen ställdes nu inför problemet som kom att kallas "the tyranny of numbers". I grunden innebar problemet att komponenterna behövde kopplas samman och handlödningen av tusentals komponenter var kostsamt och varje fog utgjorde en potentiell felkälla. Utmaningen var att hitta ett kostnadseffektivt sätt att både producera komponenter, och koppla samma dem. Flera försök gjordes att lösa problemet, bland annat

provade man moduler som enkelt gick att koppla samman. Jack Kilby arbetade på Texas Instruments när han löste problemet efter han upptäckte att kisel som utgör grundmaterialet i en transistor även kunde processeras för att skapa dioder, resistanser och kondensatorer. Upptäckten innebar att med ett grundmaterial som bas kunde en hel krets byggas vilket eliminerar många manuella fogar som utgör ett problem i kretsar med många komponenter. Jack Kilby demonstrerade sin kretslösning som idag kallas den integrerade kretsen (IC) år 1958. IC kretsen han gjorde går att se i figur 3.[64]

Militären började använda IC-kretsar bland annat inom flyget 1961 och kretsen användes när månfärderna genomfördes under Apolloprogrammet. [62] Många av dagens produkter är uppbyggda av både analoga och digitala IC kretsar.[44] IC kretsar kan idag(2015) innehålla runt 30 miljoner transistorer.



Figur 3: [41]

Planarteknologin utvecklades 1959 av Robert Noyce och hans team på Fairchild coporation. Teknologin använder fotolitografiska metoder för att definiera de områden som skall dopas vid tillverkning av halvledarkomponenter och integrerade kretsar. Tekniken användes och används fortfarande för att framställa IC kretsar.[66]

Flera familjer av digitala kretsar togs fram under 1960-talet, mest framgångsrik blev de som baseras på transistor-transistor-logik (TTL).

Operationsförstärkare

Operationsförstärkaren (OP) uppfanns 1941 av ingenjören Karl D. Swartzel Jr. vid Bell Laboratories. Uppfinningen kunde ersätta tidigare mekaniska operationer utförda i analoga datorer. Analoga datorer användes under andra världskriget för att beräkna projektilbanor. OP förstärkare byggdes i början med hjälp av elektronrör. OP-förstärkaren kan användas för att

förstärka, filtrera, och signalövervaka.[101] Figur 4 visar en operationsförstärkare baserade på elektronrör och en på kisel.



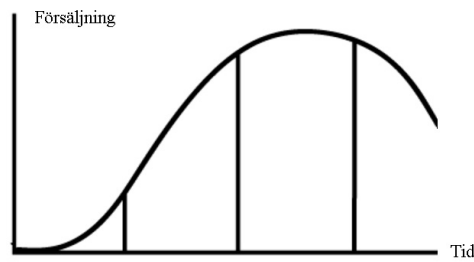
Figur 4: Operationsförstärkare baserad på elektronrör t.v. och modernare operationsförstärkare t.h. [40]

Den germaniumbaserade OP-förstärkaren uppfanns 1958 och kiselvarianter kom i början av 1960-talet. Nexus Reaserach Labs började sälja de första OP-förstärkarna byggda som förkonfigurerade moduler år 1962. Westinghouse tillverkade tidigt OP-förstärkare byggda som IC-kretsar för bland annat Autonetics Minuteman II-missilen år 1963. Fairchild släppte år 1964 kretsen $\mu A709$ som etablerade massmarknaden för OP-förstärkare. År 1968 släpptes $\mu A741$ som är den mest populära OP-förstärkaren genom tiderna. Inom analogtekniken blev operationsförstärkaren en viktig byggsten eftersom den hade bra prestanda och lågt pris.[64]

3.3 Livscykel

Livscykeln för analoga kretsar är normalt mycket längre än för digitala kretsar. Exempel på konstruktioner som togs fram för 40 år sedan tillämpas än idag inom ett brett område, exempel är 555-kretsen och $\mu A741$ OP-förstärkaren. [40]

Figur 5 beskriver hur en livscykel kan se ut.



Figur 5: Modell av en komponents livscykel [97]

3.4 Livslängdsanalys

Det finns ofta krav på komponenters livslängd. Ett exempel där livslängdsanalys behandlas är i de amerikanska regelverket 10CFR50.49 för El och I&C system. Enligt klassningen måste komponenter av betydelse för säkerhet vara kvalificerade för en viss livslängd, normalt 40 år. Vid utbytet krävs en förnyad livslängdsanalys, på engelska Time Limiting Aging Analysis (TLAA), som täcker delar av förnyelsetiden eller hela. [99]

3.5 Analoga datorer

Analoga datorer använder mekanisk rörelse eller flöde av elektroner för att modulera problem och generera snabba svar. [45]

Första kända analoga beräkningsmaskinen är antikytheramekanismen som daterats till kring 100 år före Kristus. Datorn var i grunden uppbyggd av ca 30 kugghjul som antagligen utgjorde ett planetarium som kunde beräkna himlakropparnas lägen. Planeternas lägen angavs med visare på mekanismen. Antikytheramekanismen anses mycket anmärkningsvärd. Figur 6 visar antikytheramekanismen till vänster. [110]

Analoga datorer som använde elektronik blev vanligare på 1950-talet, exempelvis bytte Nordsieck ut konstruktionen på en analog dator som var tillverkad sedan 1930-talet. Han ersatte mer specifikt mekaniska axlar mot elektriska kopplingar vilket gjorde maskinen enklare och billigare. Maskinen löste differentialekvationer för att beräkna projektilbanor vilket gav den namnet elektromekanisk differential analysator. [44]

Tekniken som användes i Nordseick's maskin började redan utvecklas under 1800-talet. Ingenjören James Thomson tog 1876 fram en förenklad integrator vars princip användes för att lösa differentialekvationer och var personen som introducerade termen integrator. [47]

I elektroniska analoga datorer representerar strömmar numeriska värden. Högre eller lägre spänning representerar talvärden. Operationsförstärka-

ren utgör grunden för konstruktionen. Igenom att kombinera operationsförstärkaren med andra komponenter kan man addera, subtrahera, multiplicera med konstanter eller utföra integration i tidsplanet. [44]



Figur 6: Antikytheramekanismen t.v. och Nordsieck's differential analyser t.h. [44] [51]

3.6 Utbud under 60- och 70-talet

Under 60 och 70 talet fanns analoga IC-tillverkare som hade ett omfattande utbud av förstärkare, komparatorer, dataomvandlare, effektstyrningar. [40] Katalogen från Allied Electronics från 1970-talet kan skapa en överblick av de komponenter som fanns tillgängliga under 60- och 70-talet. [65]

3.7 Tidslinje över utvecklingen av mönsterkort och förbindningsteknik

De två följande kapitlen kommer handla om utvecklingen av förbindningsteknik och mönsterkort. En överblick av utvecklingen presenteras i tabell 2.

TABELL 2

1900-20	• Under tidigt 1900-tal började de principiella idéerna växa fram för hur man kan tillverka mönsterkort. Monteringstekniken som tillämpas är punkt till punkt metoden.
1930-40	• Hålmontering blir allt vanligare.
1936	• Paul Eisner tillverkar den första prototypen av ett mönsterkort.
1942	• Första mönsterkortet som används är i en radio.
1943	• USA börjar tillverka tändrör där elektroniken är monterad på mönsterkort.
1948	• Första dubbelsidiga kretskorten med genompläterade hål.
1956	• En grupp bunden till USA:s armé tar fram en ny process för tillverkning av kretskort som använde fotografi teknik.
1957	• The Institute of Printed Circuits (IPC) bildas.
1970-80	• Gerber Scientific introducerade ett maskin baserat format för fotografiskrivare. Serigrafi metoden liquid photoimageable mask introduceras. Trenden går mot att mönsterkortens ledningsbanor placeras allt tätare eftersom många kretsar blir kompaktare.

3.8 Förbindningsteknik

Detta kapitel handlar främst om förbindningsteknik vilket *inte* direkt ska kopplas till olika vilka konstruktioner komponenterna har som monteras. Exempelvis finns både ytmonterade och hålmonterade resistanser.

Punkt till punkt förbindning

Punkt till punkt förbindning var den allmänna förbindningstekniken när elektronikrören kom i början av 1900-talet. Genom att använda ett hölje som kopplingarna till kretsen är fästa i och/eller olika stöd som är exempelvis är limmade i ett hölje kan sedan övriga komponenter lödas eller klämmas fast i varandra och bilda kedjor. Beroende på avstånd och plats i höljet kan kabel dras mellan komponenterna.[10] [71].

Monteringsmetoden är robust och enkel att felsöka eftersom man fysiskt kan se alla sladdar och varje sladd används inte mer än en gång enligt Gilbert Lundgren. Processen har få tillverkningssteg eftersom inget mönsterkort behöver tillverkas. [9]

Monteringen kan bli komplex vilket inte bara medför kostnader utan även att kvalitetsstyrningen försvåras eftersom metoden baseras på manuellt arbete. Figur 7 visar en Motorola VT-71 7" TV-apparat från 1948 där komponenterna har blivit punkt till punkt förbundna.

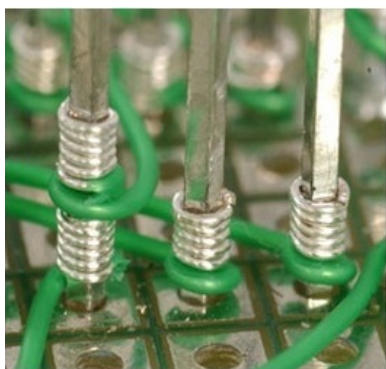


Figur 7: [48]

Trådlindning

Trådlindning eller på engelska wire wrap, var vanligt inom militär teknik på 40 och 50-talet och tillämpas än idag där god tillförlitlighet behövs enligt Gilbert Lundgren. Tekniken går ut på att man för komponentbenen igenom en bärande platta. Runt ett ben på en komponent lindar man sedan ena ändan av en kabel och därefter förbinds den andra ändan av kabeln med ett ben som komponenten ska ha elektrisk kontakt med. Ett verktyg som ofta används för snurra tråden runt benen heter trådlindningspistol. Tekniken ger en mekanisk stabilitet eftersom tråden lägger sig flera varv kring pinnarna. Packningsdensiteten påminner om hålmonterade kretsars. [8]

Yrkesskickliga kan trådlinda ungefär två kretskort i storleken med det kretskort som visas i figur 9 på en dag. Därefter tar det ungefär en halv dag att felsöka. Normalt används en "busser", som är en enkel resistansmätare, för att felsöka. Metoden för att felsöka visar på att det är enkelt att överblicka och felsöka kretskorten, eftersom det inte behövs några specialverktyg. Vidare är det enkelt att åtgärda fel eller laga kretskorten eftersom man kan vira upp tråden för hand eller med verktyg. Genom att använda olika typer av etiketter kan den annars ganska stora risken för felmontering minska. Figur 8 visar hur "wire wrap" ser ut kring ett ben. I figur 9 visas ett storleken och utseendet på ett normalstort kretskort där trådlindning har använts.[8]



Figur 8: Trådlindning [49]



Figur 9: Trådlindat kretskort från 70-talet [15]

Det finns delade meningar om trådlindningstekniken inom industrin tex. anser Stellan Jörsell att när metoden har använts blir kretsschemat enkelt att överblicka. Vidare tycker han att felsökningen blir enkel eftersom man kommer åt att mäta. Han säger även att korten går att reparera på ett bra sätt. Nackdelen är att socklarna behöver vara stora och det kan vara svårt att hantera vid ett par tillämpningar. Sammanfattningsvis anser han att tekniken är lämplig i flera situationer. Enligt Herman Dunge, som arbetar med kvalitetsteknik, har de exempelvis inom kärnkraftbranschen försökt undvika trådlindning eftersom oxiderna är svåra att hantera samt att anslutningsbenen är svåra att rengöra från smuts. Herman säger också att det är svårt att kontrollera att den manuella kalibreringen blir korrekt. Sammanfattningsvis kan tekniken vara olämplig ur det kvalitetstekniska perspektivet.

Hålmonteringsteknik

Hålmonteringstekniken på engelska through hole technology (THT), kom när mönsterkortet började användas på 1930-talet, men det var först under 1950-talet som metoden blev vanlig. Under 1980-talet minskade användningen av THT eftersom det blev billigare att ytmontera komponenterna. Hålmontering görs genom att komponentens ben förs genom mönsterkortet och att man sedan löder fast benen på undersidan av mönsterkortet.

Idag är komponenter ofta anpassade så att plockmaskiner automatiskt kan sätta ut dem på mönsterkortet och sedan kan våglödning användas. Monteringsprocessen kan därför vara automatiserad och lämplig ur ett kvalitetsperspektiv.

Figur 10 visar på några olika tekniker som används vid hålmontering. Varje teknik har sina för och nackdelar. Exempel från höger är oböjd hålmontering, böjd hålmontering som gör att inte komponenten rör sig då lodet stelnar vilket ökar chansen för att lödningen ska bli bra, klämd montering som minskar risken för glappkontakt eftersom infästningen blir starkare.



Figur 10: [2]

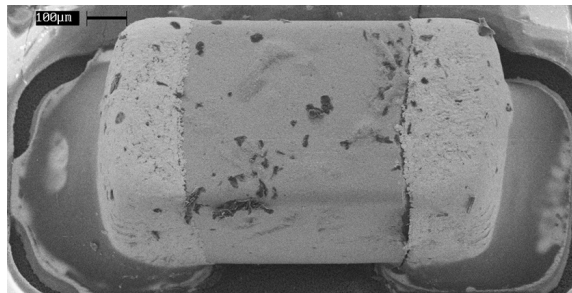
Idag används ofta THT när hög mekanisk styrka och värmeavledning är önskvärt. Användningsområdet gör att tekniken antagligen kommer fortsätta att användas. Delar utsatta för mekaniska påkänningar som kan leda till utmattning, exempelvis kontakter, är normalt hålmonterade eftersom de klarar påfrestningen bättre än komponenter där ytmonteringsteknik (SMT) har används. Komponenter som har hög effektutveckling är normalt hålmonterade eftersom de håller bättre än SMT.

Tillverkningen kräver att hål borraras för komponenterna vilket kan innebära fler processteg i tillverkningen än för andra tekniker.[10]

Enligt Stellan Jörsell går det relativt enkelt att felsöka systemen och förslitningskomponenter, exempelvis kondensatorer, kan ofta bytas ut när denna monteringsteknik har använts. Storleken på komponenterna gör att de kan hanteras fysiskt vid utbyte. Storleken är i den bemärkelsen en fördel gentemot ytmonterade komponenter som är svårare att byta ut.

Ytmontering

Ytmonteringsteknologin, på engelska surface mounted technology (SMT), utvecklades under 1960-talet. En tidig tillämpning var i raketerna Saturn V-5s datorer. Under 80-talet minskade kostnaderna för tekniken och den blev vanligare.[11] Figur 11 visar en ytmonterad komponent som är fäst med lod på lämpligt sätt.



Figur 11: [2] [93]

Ytmonterade komponenter på, engelska surface mounted device (SMD), fästs i kopparskiktet på mönsterkortet som i sin tur är fäst i lamineringen på mönsterkortet. SMD-komponenters fogar är därför inte lika mekaniskt starka som för övriga monterings tekniker. THT har exempelvis mycket stöd i de borrarade hålens väggar och trådlindningstekniken kring benen.

Generellt ger SMT högre packningsdensitet än övriga tekniker vilket även kan minska vikten. Hål behöver inte borraras när tekniken används eftersom komponenten monteras direkt på ytan vilket minskar antalet processteg. Det gör att även tillverkningstiden och tillverkningskostnaderna minskar.

Enligt Gilbert Lundgren sker ytmonterning genom att komponenten blir fästa till ett metallskikt direkt på ytan. Det gör att risken för sprickor, som kan leda till avbrott i kretsen, ökar jämfört med övriga tekniker. Anledningen är att skillnader mellan mönsterkortets och komponenternas utvidningskoefficient kan skapa spänningar som förstör fogen. Lämpliga materialkombinationer minskar problemet.

Automatiserade plockmaskiner kan idag placera 100-1000 SMD-komponenter per minut. Plockmaskin placerar ut komponenten som har lim på undersidan. Limmet gör att komponenten fastnar på mönsterkortet. Komponenternas utformning gör att de är enkla att placera ut. Lötning sker ofta i en omsmältningssugn där lod som tidigare applicerats på mönsterkortet värms upp och kyls av. Lodet utgör den slutgiltiga fogen[11]. Ingen människa behöver inverka i tillverkningen vilket gör att teknologin ur ett kvalitetsperspektiv är lämpligt. Idag används ytmonteringsteknik inom många

områden och det är därför troligt att utrustning kommer att finnas tillgängligt i flera år framöver. [10]

Enligt Stellan Jörsell är kretskort med hög packningsdensitet, som tekniken ofta innebär, svåra att överblicka eftersom komponenterna är små. Av samma anledning är ytmonterade komponenter mycket svåra att arbeta med fysiskt och därför svåra att byta ut. Det är även svårare att felsöka komponenterna vid hög packningsdensitet eftersom anslutningen av mätverktygen kan vara svår att göra för hand.

3.9 Mönsterkort

Den stora fördelen med mönsterkort är att den komplexa kabeldragningen minskar. Före mönsterkort började användas tillämpades punkt till punkt montering. [69] Tidiga kretsar som kom under 1920-talet hade bärmaterial gjorda av exempelvis bakelit, masonit eller papp. Komponenterna placerades i hål för att få mekaniskt stöd och ledningarna sattes samman med mekaniska klämmor. Bärmaterialiet och tillhörande komponenter användes i radioapparater etc. [71] [70]

År 1925 sökte Charles Ducas ett patent för att skapa en elektrisk ledning direkt på en isolerad yta. Patenten beskrev hur en stencil kunde användas som verktyg för att trycka ett ledande bläck. Hans idé har givit upphov till namnet tryckt krets som är en synonym med mönsterkort. [70] År 1936 anses österiska Paul Eisner ha skapat det första fungerande mönsterkortet i form av en prototyp. Det första använda mönsterkortet fanns i en radio från 1942 som visas i 12.



Figur 12: [72]

Under andra världskriget, närmare bestämt år 1943, började USA använda Pauls uppfinning för att massstillverka zonrör. [69] År 1948 producerades de första kretskorten där ledningsbanor fanns på både ovan och undersida av bärmaterialiet samt att hålen var förstärkta med genomplätering. [69] Några varianter på förstärkning av hålen visas i figur 13.



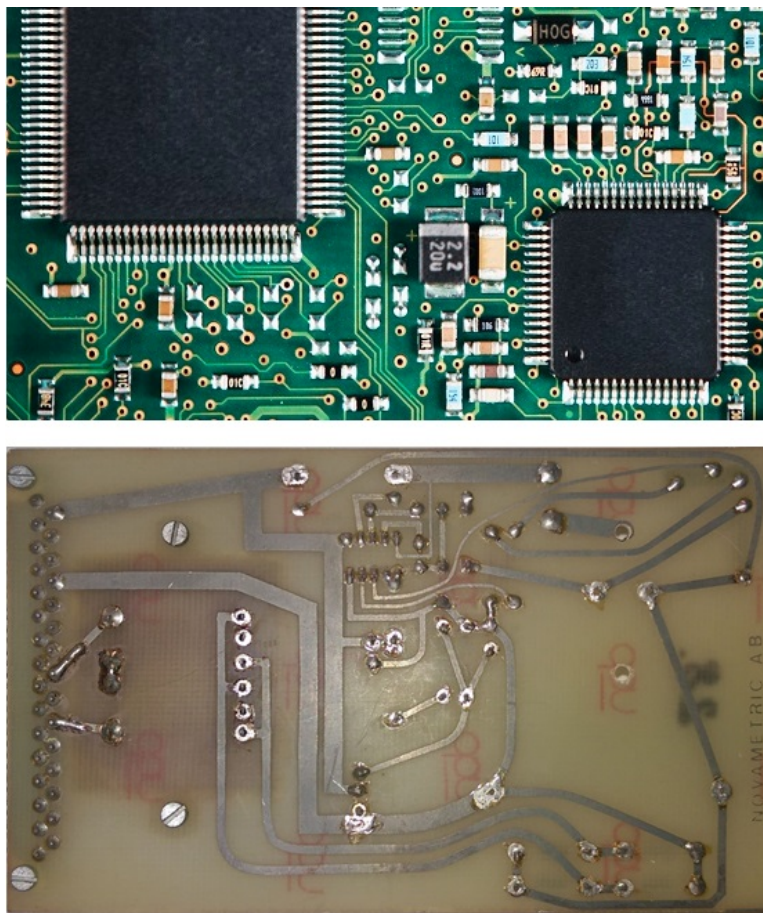
Figur 13: Olika förstärkningar från höger till vänster är normalt hål, dubbelt kort med pläterade hål, funnelet förstärkning gjord av koppar, inre kopplingar vilket återfinns i kretskort med flera lager där komponent kan hålmonteras

Under 1950-1960 ökade tillämpningsområdena för mönsterkort. År 1956 tog en grupp bunden till USA:s armé fram en tillverkningsprocess för mönsterkort. Metoden går ut på att rita ett kretsmönster som sedan fotograferades och sedan sätta mönstret på en zinkplatta. Plattan används för att skapa en tryckplåt till en offsetpress för att applicera en syrafast beläggning ovan på en kopparfolie. Genom att därpå etsa materialet för att ta bort överflödiga koppar, som inte är skyddad, och ta bort den syrafasta beläggningen togs ledningsbanor fram. År 1957 bildades IPC (The Institute of Printed Circuits) som än idag ger ut tillverkningsstandarder för mönsterkort. [69] [76]

Under 1960- 1970 började mönsterkort skapas genom att man handtejpade information om komponenter och ledningsbanor. Fotografi av informationen, som utgjorde konstruktionen, kunde därpå användas till att producera ett negativ som användes för att tillverka mönsterkortet. Erfarna konstruktörer kunde göra en layout och tejpa ett mönsterkort ekvivalent med en 14- pinnars IC-krets på ungefär två timmar.

Under 1970-talet började mönsterkortens ledningsbanor placeras allt tätare. Serigrafi metoder började tillämpas allt mer, mest nämnvärd är liquid photoimageable som blev industristandard under många år. Det var även under 70-talet som Gerber Scientific introducerade ett maskinbaserat format för fotoskrivare.

Utvecklingen har varit att kretskorten blir allt mer kompakta.[69] Det går tydligt att se i figur 14 som nertill beskriver ett kretskort från 50-talet med hålmonterade komponenter. Övre delen av bilden beskriver layouten på ett kretskort tillverkat på 2000-talet där ledningsbanorna är mycket tätare och tunnare. Ledningsbanorna på 2000-tals kortet är på samma sidan som komponenterna eftersom de är ytmonterade.



Figur 14: Överst är ett kretskort med 2000-tals layout [84] och nedanför är ett kretskort med 50-talslayout.[16]

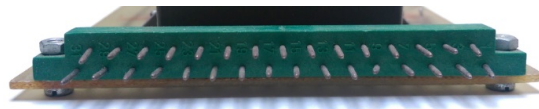
3.10 Kretskortskontakter

Analoga kretskort som Novametric AB tillverkade under 60 och 70-talet hade flera olika kontakttyper. Figur 15 visar en koppling som användes under 50-talet med runda anslutningsfingar. Kontakten skruvmonterades för mekanisk stabilitet men de cirkulära pinnarna gör det svårt att få en stor kontaktarea. Bandkabeln blev allt vanligare när fler signaler skulle skickas. Figur 16 visar en bandkabel och tillhörande kontakt från 50-talet. Flatstiftskontakter som visas i figur 17 började de använda under 50-talet. Kontkattypen har rektangulära fingrar och därför är den enklare att skapa en stor kontaktarea.

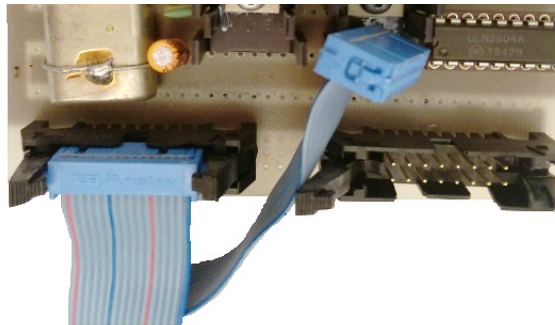
Vid trådlindning används samma kopplingshane och-hona men infästningens ben i själva kretskortet följer standarden för komponenter som ska trådlindas, benen är alltså något rektangulära för att komponenternas

anslutningar till kontakten ska vara bra, vilket figur 18 visar.

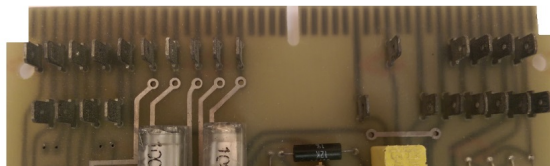
Möjligheten att köpa förgyllda kontaktfingrar ökade för Novametric under 60-talet. Förgyllda kontaktfingrar som kretskortet i figur 19 har, ger högre tillförlitlighet jämfört med andra kontakter. Kontakten i figuren behöver inte lödas utan baksidan av kontakten trycks mot kontaktbläck på mönsterkortet av den kraft skruvinfäsningen anbringar.



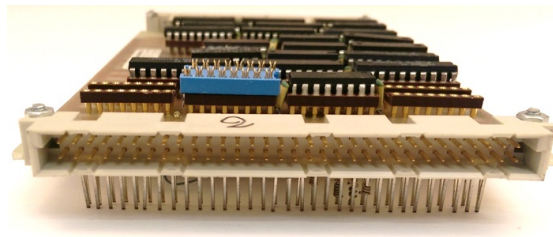
Figur 15



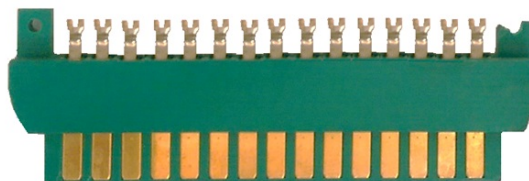
Figur 16



Figur 17



Figur 18



Figur 19

3.11 Montering i elskåp

Monteringsrack är ett monteringsalternativ i kortlåda för kretskort. Elektronikens montering är avgörande för att minimera risken för fel som över-sikten i figur 23 anger eftersom de kan exempelvis dämpa vibrationer och skydda mot brand.

ABB AB är verksamma i bland annat Sverige med fabrik i Västerås. Företaget har arbetat med installationsrelaterade frågor under hela 1900-talet. [52] ABB:s rack har som standard ett antal storlekar. Normala mått är 1/2, 3/4 eller 1/1 av 19" (482.6 mm), 6U höga (247 mm) och 245 mm djupa. [53]. Idag tillämpas bland annat 420-2013 IEEE Standard vid olika installationer. Utseendet på ett modernt rack från Google visas i figur 20 och ett äldre rack från Novametric AB visas i figur 21.

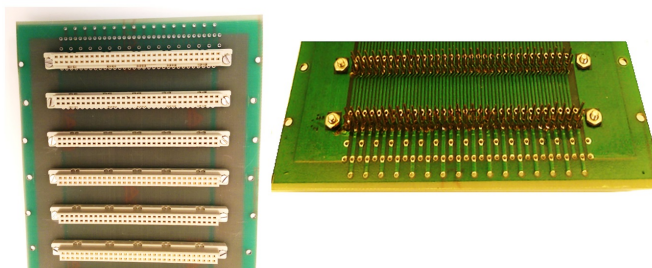


Figur 20: [55]



Figur 21: [15]

Figur 22 visar två olika bakplan som även kallas sammanbindningskort. Racken har normalt bakplan som kretskorten bland annat får sin strömförsörjning i från. [108]



Figur 22

3.12 Utbud av komponenter

Kapitlet behandlar hur utbudet av komponenter rimligen kommer förändras.

Integrerade komponenter

Utbudet av integrerade komponenter är i ständig förändring. När nya kretsar börjar producerats förvinner ofta föregående krets ur sortimentet. Det kan därför vara svårt att bedriva reservdelstillverkning där många nyutgivna integrerade kretsar har använts.[11] SMT kretsar är ofta integrerade eftersom en av huvudfördelarna med tekniken är packningsdensiteten. Därmed finns det en del personer som förväxlar SMT-komponenter med integrerade komponenter i vardagsuttryck. Integrerade kretsar är ofta svåra att förstå. De har sällan fullständig eller väldigt komplex dokumentation enligt Stellan Jörsell, vilket gör det svårt att felsöka integrerade kretsar.

Hålmonterade komponenter

Grundläggande THT-komponenter som resistorer, dioder, kristaller, IC och LED:s finns idag på marknaden. Det finns även integrerade kretsar som hålmonteras. Utbudet för de enkla konstruktionen varierar inte mycket och ser ut att finnas kvar eftersom de bland annat har mekaniska fördelar.[10]

Punkt till punkt komponenter

Utbudet av punkt till punkt komponenter ser inte ut att förändras eftersom ofta används samma komponenter som används vid hålmontering.[10]

Trådlindade komponenter

Nuvarande komponentutbud ser stabilt ut.

3.13 Utveckling av styrteknik i värmekraftverk

Materialet baseras på intervju med Stellan Jörsell. Intervjun handlar om utvecklingen av styrelektronik.

Dokumentation av system

Enligt Stellan Jörsell har system som byggts på 60 och 70-talet normalt instrumentlampor eller visare sammankopplat med en kopparledning till ingångsförstärkare/signalomvandlare som i sin tur är kopplad med kopparkabel till givare. System med sådan uppbyggnad är enkel att överblicka eftersom man kan följa en specifik ledning genom hela systemet. Dagens system har ofta multipla signaler i en kabel eller ljusledare. För att felsöka behöver man därför idag information om undersystem, s.k. subsystem och dropar, så man vet vart signalen går och vilka signaler som skickas i signalkabeln. Systemen har idag ofta fler funktioner än vad de hade på 60 och 70-talet vilket gör att det är svårare att överblicka dokumentationen. Dokumentation som är enkel att överblicka reducerar risken för feltolkningar av exempelvis kopplingsscheman.

Utbildning och kompetens

Utvecklingstakten för system till industrin har varit hög men att införa nya system tar tid. Problematiken med att ofta byta ut system är bland annat utbildning. För att arbeta med nya de nya systemen krävs utbildning men nya system introduceras med korta intervall vilket gör det svårt att skapa en bra utbildning eftersom erfarenhet saknas. Utbyte av system gör det även svårare att hitta någon som har rutinen inne att arbeta med underhållet. När personal känner systemen sämre är det inte säkert att det varken kan felsöka eller reparera utrustningen vilket kan leda till att systemet behöver bytas ut oftare.

Utvecklingen har gått mot att systemen har allt fler funktioner. Idag finns ofta mjukvara som behövs för att systemen ska fungera, vilket inte var fallet under 60 och 70-talet. Underhåll kräver därför generellt mer personal som även behöver vara specialiserad. När fler behövs för att utföra en uppgift ökar risken för kompetensbrist eftersom utbildad personal kan lämna projekten utan ersättare. Specialiserad personal utgör "rena" felkällor, det vid säga ingen eller ett fåtal kan kontrollera deras arbete. Risken ökar också för att personalen inte arbetar med ett system under lång tid och sedan förväntas kunna felsöka eller reparera systemet och då inte har erforderlig kunskap kvar. Ansvar kan också bli otydligt eftersom det finns fler människor inblandade i underhållet.

Utbyte av system och system med många funktioner kan således öka riskerna för fel även om personalen är välutbildad.

Instrument och givare

Instrument som användes under 60 och 70-talet var främst analoga. Instrumenten var enkla att överblicka och fluktuationer gick att notera med ögat vilket idag är svårare på de datorskärmar som använts på grund av sampling. Idag kan instrument med flera värdesiffror användas utan att det är nödvändigt och denna extra information försämrar överblicken. Instrumenteringen bestod ofta av en skrivare som skrev ut mätdata på papper eller analoga visare. Systemen var mycket robusta och visade processens tillstånd samt gav tydliga indikationer av utvecklingen. Det var vanligt med lagring av data på pappersliknande material och det gjorde att det var få moment för genomgång av datan eftersom ingen dator behöver hanteras. Problem med kompatibilitet uppstod inte eftersom informationen fanns på papper och avläsningstekniken inte förändras. Skrivarna som användes var robusta mekaniska maskiner uppbyggda av motorer, remmar och skrivdon. Konstruktionen av skrivaren gjorde att man kunde notera fel med sina sinnen och byta komponenter för hand, dock krävde de mycket underhåll.

Givare ger ofta en vilostrom för att systemet ska kunna varna vid exempelvis kabelbrott. Analoga system har oftare störningar pga. elektromagnetisk strålning men känsliga system kan skärmas av. I system som använder ljus för att överföra signaler är störningarna få eftersom det inte kommer något ljus utifrån. Idag går det att skicka iväg instrumentinformation enklare men det skulle även vara möjligt om man hade en kamera som spelade in exempelvis en utskrift. Det finns mycket mer kring givarteknik att behandla med det ligger utanför projektramen.

Konstruktion

I äldre system bestod ofta kedjan fram till instrumenten av elmatning, givare, ingångsförstärkare/ signalomvandlare som ofta bygger på OP-förstärkare och eventuellt enkel logik.[32] Genom att reducera antalet komponenter, där exempelvis en transistor i exempelvis en integreradkrets räknas som en komponent, kan antalet felkällor minskas.

Det är viktigt att prioritera olika beroende på sammanhang t.ex. skall goda marginaler prioriteras om det är avgörande att systemet alltid skall fungera. System som har goda marginaler håller längre och minskar problemen med störningar i systemen, vilket motiverar den högre kostnaden för dem. Ibland optimeras system enligt filosofin att den ska vara så billig att tillverka som möjligt. Exempelvis om en värmeväxlare skall tas fram som kan hantera 100 watt så bör konstruktionen vara gjord för att kunna klara 200 watt även om systemet blir något dyrare. Det är viktigt att förstå hur kostsamma driftstopp, felsökningar och reparationer kan vara på fle-

ra plan och sedan arbeta ut ifrån de aspekterna när system tas fram.

Genom att konstruera ett enkelt säkerhetssystem minskar risken för fel och det blir då enklare att upptäcka eventuella problem. Konstruktionen skall inte bedömas efter hur många komponenter som ingår utan snarare hur få. Genom att implementera system som är separerade kan ett operativsystem och ett säkerhetssystem erhållas. Uppdelningen gör att säkerhetssystemet inte kan förlora sin funktion på grund av det operativa systemet. Operativa systemet skulle under drift kunna vara optimerat och innehålla fler funktioner men inte nödvändigtvis behandlas helt av driftpersonalen.

Reparation och felsökning

Under 60 och 70-talet var det vanligt med felsökning och påföljande reparation där man bytte komponenter. Konstruktionen var normalt sådan att det gick att byta komponenter för hand.

System med färre komponenter och funktioner har normal färre felkällor. Detta underlättar normal felsökning och reparation. Tiden för felsökning brukar bli kortare om man har enkla analoga system. I system med få funktioner är felsökning enklare eftersom när du använder funktionerna mer regelbundet har du förväntningar på responsen. Under 60 och 70-talet var många visare analoga och man kunde enkelt avgöra om det var den felande delen i kedjan, idag är det svårare då det finns fler komponenter i mätarna.

Installation och placering

Elskåpen har inte förändrats mycket sedan 60 och 70-talet även om ändringar har gjorts. Utrymmen där styrelektroniken placeras går att bygga miljöreglerade för att minska långsiktiga problem med b.l.a. åldring av komponenter. Utrymmena kan även vara avskilda för brand, skydda mot föremål i rörelse av t.ex. fall etc. Systemen behöver fungera utan miljöregleringen för att vara robusta eftersom miljösystemen kan fela. Givare kan vara mer utsatta för vibrationer och värmeväxlingar. Givare behandlas inte mer ingående i denna utredning.

4 Kvalitetsteknik

Kvalité är viktigt eftersom konsekvensen av ett fel kan vara mycket kostsamt. Exempelvis skulle felaktiga kretsar i det tidigare nämnda Apolloprogrammet kunnat orsaka en både mänsklig och ekonomisk katastrof. [1] ISO9000 [104] är en standard som används mycket inom området, enligt Gilbert Lundgren.

4.1 Intervju med Herman Dunge

Intervjun handlar om vad kvalitetssäkring och kvalitetsstyrning är och varför det är viktigt.

Vad handlar kvalitetssäkring om?

Kvalitetssäkring, på engelska quality assurance (QA), är alla de rutiner som gör det troligt att få de/det resultat som avsetts. Förenklat kan sägas att det är fyra komponenter som bildar ett **företag**:

- Ett QA-system/ledningssystem med alla nödvändiga processbeskrivningar och rutiner som krävs för att driva företaget.
- Inventarier och lokaler d.v.s. maskiner, verktyg, fixturer, mätinstrument, kontor och verkstadslokaler etc.
- Personal.
- Kvalitetsstyrning som kopplar in de nödvändiga delarna av QA-systemet vid respektive projekt/uppdrag och därigenom ser till att de produkter som tillverkas får de avsedda egenskaperna.

Exempel på QA

Typiska processer är försäljning som då beskriver hanteringen från en förfrågan till en erhållen beställning. En annan är tillverkning. Ett viktigt område för QA är dokumentstyrning. Det måste finnas en rutin som specificerar hur dokument skall utarbetas, distribueras, revideras och kasseras. I kretskortshanteringen så gäller det tillverkningsunderlag som layout och specifikation av komponenter t ex. hur håller jag koll på vilken revision av en layout som ett visst kort har tillverkats efter, hur får jag fram rätt underlag till tillverkningen?

Exempel på QA för inventarier och lokaler

Underhållssystem är en typisk rutin som krävs för att säkerställa kvaliteten på de produkter som framställs med en viss utrustning. Här kommer kalibreringssystem in också. Utrustning som mäter eller verifierar en för

produkten/processen viktig egenskap skall ge riktiga värden, annars saknar mätningar och övervakningar värde. Exempelvis temperaturstyrning av ett tennbad för lödning av kretskort är något som skall kalibreras.

Exempel på QA för Personal

För att nå önskvärd kvalitet är kompetensfrågan avgörande bland annat skall det finnas kompetensplaner, utbildningar etc. Oftast finns en sammanställning över respektive persons kompetens där det konstateras ifall personen har nödvändigt kunnande för att kunna konstruera en produkt, löda etc.

Exempel på QA för kvalitetsstyrning

För att kvalitetsstyrningen (QC) skall få riktig omfattning krävs att det finns en klar bild av de krav och önskemål som finns på produkten hos kunden, företaget och myndigheter eller andra yttre faktorer. Därför bör det finnas en rutin för ordermottagning och kontraktsgranskning som klart definierar de krav som finns på produkten. En annan viktig sak är att det finns en rutin som sedan ser till att alla QC-åtgärder som produktkraven leder till planeras in vid rätt tillfälle i produktionsplaneringen. Hit hör även exempelvis beskrivningar för hur dokumentationssystem för löpnummer på komponenter och kontroll av batchstyrning skall fungera. Sammanfattningsvis handlar det mer om vilka normer och standarder som skall tillämpas och varför t.ex. om SS235jrg2 ska användas.

Hur kan tillverkningen av kretskort bli spårbar?

Identifiering av kretskomponenter skulle kunna ske genom att Id-tagga mönsterkorten för att sedan referera tillverkningsinformation mot taggen under tillverkningen. Kretskortet blir då utgångspunkt för att kunna gå tillbaka genom tillverkningskedjan. Det är viktigt att snabbt kunna gå genom komponentlistan eftersom felade komponenter kan orsaka produktionsstopp som blir kostsamma på flera olika plan. Elektronisk lagring av både kretskort- och komponentinformation är idag inget problem för en serie med 10000-st enheter.

Vad handlar kvalitetsstyrning om?

Kvalitetsstyrning, på engelska quality control (QC), handlar till stor del om att följa standarder som exempelvis SS235jrg2 och uppsatta normer. Du styr även viktiga produktionsparametrar. Kontrollplanen kan anses vara ett av de viktigaste dokumenten eftersom det bestämmer hur något ska utföras. Vidare ingår det att avgöra om personalen uppfyller kraven som

ställs, vilket är viktigt. En viktig fråga inom kvalitetsstyrningen är om utrustningens tillverkningsförmåga är tillräcklig dvs. finns maskiner tillgängliga för de krav som produktionen ställer.

Hur kan tillverkning ske på ett kvalitetsstyrt sätt?

Norm och standard är viktiga och utgångspunkten för styrningen. De kan bestå av parametrar som folietjocklek, oxidationsspecifikationer etc. Det är från normerna du tar upprättar en kontrollplan som beskriver hur kalibrering ska genomföras eller vilken lödningstemperatur som är lämplig. Resultatet skall godkännas mot uppsatta krav genom att mäta och verifiera. Resultatet av verifieringen skall protokollföras för att dokumentationen skall kunna ge mycket information.

Kan du ge ett exempel på en vanlig problematik inom kvalitetstekniksområdet?

Ibland händer det inom kvalitetssäkringen att angivna toleranser inte är lämpliga. Exempel är att snävare toleranser än nödvändigt gör produkten dyrare.

4.2 NCAB group

NCAB Group bedriver handel med mönsterkort. Organisationen arbetar aktivt med sitt kvalitetssäkringsarbete som bland annat bygger på kravspecifikation för kretskorten. NCAB Group baserar stora delar av kvalitets-säkringen på IPC standarder.

I korthet innehåller **specifikationen krav på:**

Plätering 25 micrometer på hålväggen för att få högre tillförlitlighet och bättre motståndskraft mot termisk expansion.

Strikta renhetskrav för att få renare mönsterkort vilket medför högre tillförlitlighet.

Striktare lagringstider än IPC standard av specifika ytbehandlingar för att uppnå lödbarhet, tillförlitlighet och minskad risk att fukt tränger in.

Internationellt erkända baslaminat (IPC-4101-specificerat laminat) ökar tillförlitligheten.

NCAB arbetar även med **kvalitetsstyrning** genom att ha sin egna ingenjörer på plats för att övervaka produktionen och den slutliga kvalitetsgenomgången före paketeringen. Ingenjörens viktigaste uppgift är att se till så att mönsterkorten är producerade enligt specifikationen. De använder acceptanskrav enligt IPC600. [76]

Kvalitetsteknik är alltså ett viktigt ämnesområde för att kunna tillverka robusta och stabila styrsystem.

5 Standard

Kapitlet inleds med att utreda vad några av fördelarna med standard är. I kapitlet presenteras sedan standarder i korthet som användes på 60 och 70-talet för robusta och stabila system samt för standarder idag inom samma område.

5.1 Fördel med Standard

Internationella Standarder är framtagna för att systematiskt ordna och skapa regelverk med syftet att uppnå optimala tekniska och ekonomiska lösningar på återkommande problem. Syftet är att skapa en plattform som innovationer kan göras på. [12] Standard gör att produkterna kan nå marknaden och bli användbara. [13]

IPC ett exempel på en global branschorganisation som ska främja konkurrens, kompetens och ekonomisk framgång hos dess medlemmar, som är deltagare inom elektronikindustrin. [105]

Det är viktigt att ha kunskap om standarder eftersom de bara är effektiva om de är rätt applicerade. [92]

Fokus ligger i kapitlet på instrument och kontrollutrustning eftersom styrsystem behandlas. Relaterat till åldring av system samt till instrument och kontrollutrustning finns flera publikationer. Exempelvis har Fritz Maier publicerat, åldrande el- och kontrollutrustning i svenska kärnkraftverk inför längre drifttider än de ursprungligt var konstruerade för. [99] Hans arbete kan utgöra en grund för en utvärdering av analoga och digitala systems för- och nackdelar.

5.2 Kvalitetsstandard

ISO 9000:2015

ISO 9000:2015 describes the fundamental concepts and principles of quality management which are universally applicable to the following:

- organizations seeking sustained success through the implementation of a quality management system;
- customers seeking confidence in an organization's ability to consistently provide products and services conforming to their requirements;
- organizations seeking confidence in their supply chain that their product and service requirements will be met;

- organizations and interested parties seeking to improve communication through a common understanding of the vocabulary used in quality management;
- organizations performing conformity assessments against the requirements of ISO 9001;
- providers of training, assessment or advice in quality management;
- developers of related standards. [104]

IPC J-STD-001E SE

Krav för lödda elektriska och elektroniska kretskort En gemensam standard framtagen av IPC J-STD-001 utvecklingsteam inklusive J-STD-001 Arbetgrupp (5-22a), J-STD-001 Arbetgrupp Asien (5-22aCN) och J-STD-001 Arbetsgrupp Norden (5-22aND) av IPCs processkommittéer (5-20 och 5-20CN) för elektroniktillverkning.[81]

IPC-A-600 Acceptability of Printed Boards Training and Certification Program

The IPC-A-600 Training and Certification Program helps all segments of the electronics interconnection industry improve their understanding of printed board quality issues, greatly enhances communication between PCB manufacturers, their suppliers and their customers and provides a valuable portable credential to industry professionals as well as recognition for their companies. [82]

5.3 Tillämpade säkerhetsstandader under 60 och 70-talet

std. 323-1971 - IEEE Trial-Use Standard: General Guide for Qualifying Class I Electric Equipment for Nuclear Power Generating Stations

This document describes the basic requirements for the qualification of Class I electric equipment. This is equipment which is essential to the safe shutdown and isolation of the reactor or whose failure or damage could result in significant release of radioactive material.[88]

std. 383-1974 - IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations

Directions for establishing type tests that may be used in qualifying Class 1E electric cables, field splices, and other connections for service in nuclear power generating stations are provided. Though intended primarily

for cable for field installation, this guide may also be used for the qualification of internal wiring of manufactured devices. It does not cover cables for service within the reactor vessel.[90]

603-1980 - IEEE Standard Criteria for Safety Systems for Nuclear Power Generating Stations

The criteria contained in this standard establish minimum functional and design requirements for safety systems for nuclear power generating stations. The criteria are applicable to the power, instrumentation, and control portions of the safety systems. To satisfy the criteria in this standard, interface requirements may be imposed on the other portions of the safety system. The safety system criteria established are to be applied to those systems required to protect the public health and safety by functioning to mitigate the consequences of design basis events.[94]

5.4 Tillämpade säkerhetsstandader under 2015

std. 323-2003 - IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations

The basic requirements for qualifying Class 1E equipment and interfaces that are to be used in nuclear power generating stations are described in this standard. The principles, methods, and procedures described are intended to be used for qualifying equipment, maintaining and extending qualification, and updating qualification, as required, if the equipment is modified. The qualification requirements in this standard, when met, demonstrate and document the ability of equipment to perform safety function(s) under applicable service conditions including design basis events, reducing the risk of common-cause equipment failure.[89]

383-2003 - IEEE Standard for Qualifying Class 1E Electric Cables and Field Splices for Nuclear Power Generating Stations

This standard provides general requirements, direction, and methods for qualifying Class 1E electric cables, field splices, factory splices, and factory rework for service in nuclear power generating stations. Categories of cables covered are those used for power, control, and instrumentation services, including signal and communication cables. Field cables, wires, and splices are within the scope of this standard. Cables, wires, and splices within or integral to other devices (e.g., instruments, panels, motors, etc.) should be qualified using the requirements in the applicable device standard or IEEE Std 323/sup TM/-1983, as appropriate. However, this stan-

standard's requirements may be applied to the wire and cable within these devices. [91]

603-2009 - IEEE Standard Criteria for Safety Systems for Nuclear Power Generating Stations

Minimum functional and design criteria for the power, instrumentation, and control portions of nuclear power generating station safety systems are established. The criteria are to be applied to those systems required to protect the public health and safety by functioning to mitigate the consequences of design basis events. The intent is to promote appropriate practices for design and evaluation of safety system performance and reliability. Although the standard is limited to safety systems, many of the principles may have applicability to equipment provided for safe shutdown, post accident monitoring display instrumentation, preventive interlock features, or any other systems, structures, or equipment related to safety.[95]

5.5 Tillämpad installationskapsling under 60 och 70-talet för klass 1E system eller liknande system

IEC 60297:1969 Dimensions of panels and racks for nuclear electronic instruments

Dimensions of panels and racks for nuclear electronic instruments. [75]

IEC 60297:1975 Dimensions of panels and racks

Dimensions of panels and racks [85]

420-1982 - IEEE Standard for the Design and Qualification of Class 1E Control Boards, Panels, and Racks Used in Nuclear Power Generating Stations.

Standard for the Design and Qualification of Class 1E Control Boards, Panels, and Racks Used in Nuclear Power Generating Stations. [86]

5.6 Tillämpad installationskapsling under 2015 för klass 1E system eller likande system

420-2013 IEEE Standard for the Design and Qualification of Class 1E Control Boards, Panels, and Racks Used in Nuclear Power Generating Stations.

This standard specifies the design requirements for new and/or modified Class 1E control boards, panels, and racks and establishes the methods to verify that these requirements have been satisfied. Methods for meeting the separation criteria contained in IEEE Std 384 are addressed. Qualification is also included to address the overall requirements of IEEE Std 323 and recommendations of IEEE Std 344. [85]

6 Robusthet och stabilitet

Säkerhetssystem behöver vara robusta och stabila enligt Stellan Jörsell. I Sveriges kärnkraftverk finns säkerhetssystem som bygger på ett regelverk som både är omfattande och väl genomarbetat. [46]

I SSM 2011-317-5 anges internationella standarder som grund och därför ligger antagligen de nära våra svenska regelverk. [99]

Baserat på resonemanget har valet att utgå från kärnkraftsstandard gjorts för att avgöra vad som menas med ett robust och stabilt system i rapporten.

System som är designade för att klara felfunktioner, olyckor etc. som anges i figur 23 anses i projektet vara **robusta och stabila**.

Parametrarna som beskrivs i figuren är hämtade ur IEEE std 308-2003 Standard criteria for class 1E equipment for power systems for nuclear generating stations. [103]

Illustrative malfunctions, accidents, etc.

Natural phenomena	
Earthquake	Rain, ice, and snow
Wind	Floods
Hurricane	Lightning
Tornado	Extreme temperature conditions
Postulated phenomena	
1) Postulated accident environment (humidity, temperature, pressure, chemical properties, radiation)	
2) Fires	
3) Accident-generated missiles, pipe whip	
4) Fire protection system operation	
5) Accident-generated flooding, sprays, or jets	
6) Postulated loss of the preferred power supply combined with any of the phenomena listed in item 1) through item 5) of this table.	
7) Postulated loss of all alternating current electric power (station blackout)	
8) Single equipment malfunction	
9) Single act, event, component failure, or circuit fault that can cause multiple equipment malfunctions	
10) Single equipment maintenance outage	

Figur 23: Översikt av funktionsfel och olyckor etc. [103]

Klassificering av säkerhetssystem

Avsnittet beskriver kortfattat när ett system ska klassas som ett säkerhetssystem och utgör en grund för slutsats och diskussion.

Inom många branscher saknas en stel klassificering av system eftersom byggnationstidpunkt för anläggningarna har skiljt sig åt och därmed har det ofta skett en teknikförändring.

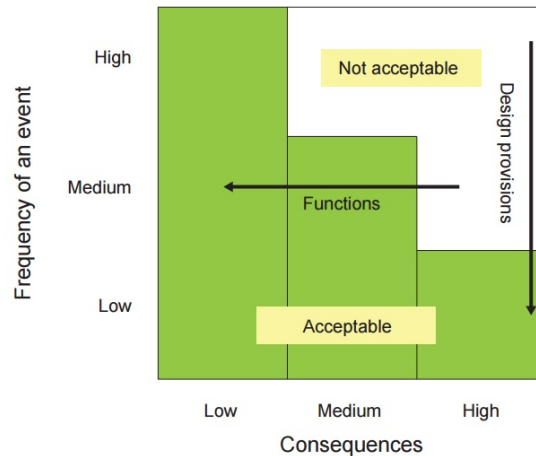
Utgångspunkten för klassificering av system är funktionen. Nuclear Power Engineering Committee (NPEC) vill att termen Class 1E ska vara reserverad för elektriska delen av kraftverkets säkerhetsrelaterade system. Identifiering av system eller utrustning som klass 1E baserat på något annat än deras funktion är en olämplig användning av termen och ska undvikas.[87]

Projektet Classification of electrical equipment in nuclear power generating stations IEEE project föreslår verktyg för hur en klassificeringsprocess som är tillräckligt flexibel för att rymma skillnader kan se ut.[87]

IAEA Safety Classification of Structures, Systems and Components in Nuclear Power Plants beskriver hur system kan delas in i kategorier enligt:

- Safety class 1: Any SSC whose failure would lead to consequences of "high" severity.
- Safety class 2: Any SSC whose failure would lead to consequences of "medium" severity
- Safety class 3: Any SSC whose failure would lead to consequences of "low" severity

Figur 24 är ett utdrag ur standarden och beskriver en grundläggande princip för felfrekvens gentemot konsekvens. Konstruktionsbestämmelser genomförs i första hand för att minska sannolikheten för en olycka och funktioner tas fram för att göra följderna godtagbara avseende sannolikheten. Kapitlet är bara ett utdrag ur standarden och speglar därför inte standardens innehåll i stort.



Figur 24: Felfrekvens mot konsekvenser [92]

Redundans, diversifiering och oberoende

Redundans, diversifiering och oberoende ska i tillämpas inom robusta och stabila säkerhetssystem enligt 308 IEEE Standard Criteria for Class 1E Power Systems.

Redundans är enligt standarden:

Redundant equipment or system: A piece of equipment or a system that duplicates the essential function of another piece of equipment or system to the extent that either may perform the required function regardless of the state of operation or failure of the other.

NOTE Redundancy can be accomplished by using identical equipment, equipment diversity, or functional diversity.

Diversifiering är enligt standarden:

Division: The designation applied to a given system or set of components that enables the establishment and maintenance of physical, electrical, and functional independence from other redundant sets of components.

Oberoende är enligt standarden:

Independence: The state in which no mechanism exists by which any single design basis event can cause redundant equipment to be inoperable.

7 Konstruktion

Avsnittet är en mycket kortfattad bedömning av vad som måste genomföras för att idag konstruera analog styrteknik med avseende på bland annat kompetens, resurs och utbildning.

7.1 Kompetens

Inom alla kategorier är erfarenhet en viktig faktor för att få rätt kompetens. Genom att dela upp i följande kategorier erhålls en överblick av vad som måste genomföras idag för att kunna nytillverka analog styrelektronik.

Kvalitetsteknik och provning

För att kunna ta fram kvalitetsstrykingsdokument och kvalitetssäkringsplaner behövs kunskap inom områdena kvalitetsteknik och provning.

Installation, drift och underhåll

Det är viktigt att förstå hur placering och installation bör ske för att skydda den nytillverkade elektroniken externt. Exempelvis skyddar elskåp mot damm. För att elskåp ska finnas att tillgå ska kretsstorleken följa en monteringsstandard. Kännedom hur elskåp ska placeras exempelvis så inget kan falla och förstöra dem och elektroniken i vid kringarbeten är viktigt.

Driften påverkas av olika konstruktions alternativ eftersom den exempelvis avgör hur svårt det är för personal att upptäcka fel.

Materialkunskap

Det är viktigt att välja konstruktioner som är utformade så att det material som krävs fungerar i operativa miljön. En utformning som leder till temperaturkänsliga produkter är ett exempel på vad som behöver undvikas.

Standarder

Det är alltid viktigt att följa standard. Det minskar bland annat risken för fel och kostnader samt risken för att systemet blir obsolet vilket skulle försvåra reservdelstillverkning. Alla inblandade i systemhanteringen behöver därför kompetens om hur de ska arbeta med standarder.

Teknikhistoria

Det är viktigt vid nyttillverkning att förstå historien bakom, bland annat vilken teknik som fanns tillgänglig eftersom det speglas i tidigare konstruktionsval.

Elektrisk konstruktion

Förstå vilka parametrar som är viktiga, exempelvis om tillförlitlighet eller packningsdensitet ska prioriteras. De situationer som beskrivs i 2.3 kan vid byggnationen av robusta och stabila system vara en utgångspunkt för de val som görs.

Teknisk kompetens inom främst analog elektronik och styrteknik är avgörande för att kunna konstruera och dokumentera systemen. Systemen behöver utformas så att det är möjligt att felsöka, därför krävs kunskaper i hur olika testutrustningar fungerar.

Ekonomi och juridik

Konstruktörer eller annan personal som arbetat med framtagandet av systemet behöver för ekonomer och jurister kunna motivera vilket mervärde systemet ger så att produkten värderas korrekt. Har exempelvis ett kretskort ett högt mervärde efter tillverkning så bör budgeten för tillverkningen var högre än för ett med lågt mervärde. Den ökade budgeten kan då nyttjas så att fler kontroller kan utföras innan systemet tas i drift än för det system med lägre mervärde.

Säkerhet

För att konstruera robusta och stabila system är en kunskapsnivå som ger förståelse för exempelvis IAEAs strandad är avgörande

7.2 Resurs

Utrustning behövs för att testa grundutförandet av det nyttillverkade systemet.

Standarder är en viktig resurs för att skapa ett säkert system.

Vid nyttillverkning behöver man bland annat tillgång till designparametrar för kretskortet exempelvis storlek på kretskortet (Längd, bredd, höjd), antal kort i varje rack och vilka bakplan som finns. Vidare kommer tillverkningsmaskiner, komponenter och personal att behövas.

7.3 Utbildning

För att personalen ska bli kompetent behövs en utbildning som inte bara innehåller det teoretiska bakgrunden utan även den erfarenhet som erhålles genom att arbeta praktiskt med liknande system.

8 Referenskort

Projektet avgränsas genom att använda ett referenskort som utgångspunkt för vad som ska kunna gå att nytillverka. Framtida projekt skall kunna följa referenskortets utredningsprocess analogt för att inhämta relevant information om andra kretskort. Referenskortet har använts inom processindustrin och likadana kort var monterade i rack med bakplan under 60 och 70-talet. Figur 25 visar en del av referenskortet från ovansidan och figur 26 visar undersidan.



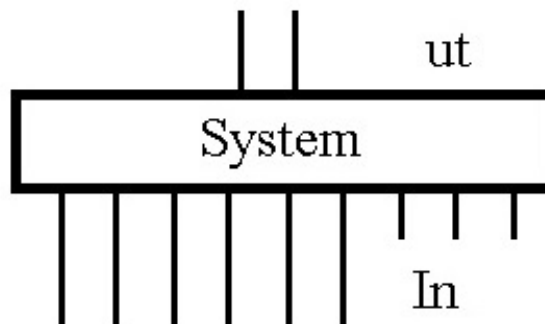
Figur 25



Figur 26

Referenskortet har med tanke antalet stift för kontakten behandlat runt 20 signaler vilket räcker för att skapa ett säkerhetssystem, exempelvis kan det användas för att bryta spänningen till en maskin.

Endast ett fåtal signaler och väldigt lite beräkningskapacitet behövs för att skapa ett enkelt säkerhetssystem. Exempelvis kan kretskortets uppgift vara att utföra en multiplikation av två signaler med hjälp av en OP-förstärkare som sedan är kopplad till en brytare för att spänningssätta en maskin. Figur 27 illustrerar ett sådant system med ett fåtal signaler för att lyfta fram konceptet.



Figur 27

8.1 Intervju med Gilbert Lundgren

Kapitlet baseras på sammandrag ur intervjuer med Gilbert Lundgren som har arbetat i elektronikbranschen i över 40 år. I intervjun diskuterades främst referenskortets tillverkningsprocess. Logik, funktioner och tillverkning av komponenter behandlas också översiktligt och utgör en grund för fortsatt arbete.

Idag har kretskort ofta högre tillförlitlighet än vad referenskortet har. Detta eftersom lödning idag ofta sker på både ovan- och undersidan av mönsterkortet. För att kunna löda på ovensidan krävs en s.k. krage som lodet fäster på. Det saknas på referenskortet. Idag är även genompläterade hål vanligare, vilket ytterligare kan höja tillförlitligheten.

Vad gäller komponenter så är resistorerna baserat på erfarenhet gjorda av keramik. De kan också vara uppbyggda av en keramikstomme som har metallfilm eller kolfilm runt sig. I metallfilm kan spiralspår skapas för intrimning till under 1% tolerans, vilket motstånden har. Resistorn kan också vara trådlindad, men det har inte använts här.

En annan komponent är de grå behållarna som är metallkapslade transistorer. Kapslingstypen var vanlig under 60- och 70-talet, eftersom plasten inte var lika utvecklad som idag. Det medförde att plasten hade egenskapen att attrahera fukt, vilket generellt är ett stort problem då komponenterna åldras snabbare och att kortslutning kan uppstå.

Klassificeringen av referenskortets komponenter är okänd. Ofta klassificeras komponenter för vissa temperaturområden. Högre temperatur kortar livslängden på elektronik och en temperaturökning på ungefär 10° halverar livslängden.

Det gula paketet i figur 25 är en kondensator. Kondensatorerna kan användas för styrningen av relä (svarta lådorna i figur 25), släckkrets, för att und-

vika gnista eller för att åstadkomma till- eller franslagsfördröjning i kretsen. Reläerna byter inte läge vid små spänningsförändringar på grund av Kondensatorerna vilket minskar ripplet.

Det går att ta fram mer information om komponenterna genom att söka på de märkningsnummer som är tryckta på dem. Exempelvis har kondensatorerna en beteckning 7f, vilket är en isolationsbeteckning för foliekondensator med plastmaterial 7f som har specificerade egenskaper.

Transistorerna kan användas till någon typ av minneskrets för att styra reläerna och arbetar med på eller av. Det är svårt att studera komponenters livslängd. Transistorerna har, liksom reläerna, ett begränsat antal cykler. Kristaller i minnesenheten har också begränsad livstid. Förslitning sker ofta genom att elektroner "spränger materialet". Elektronerna påverkar normalt materialet så att avstånd, exempelvis bredden på en ledningsbana, förändras vilket i längden förändrar kretsens egenskaper.

Det går att urskilja att standard har tillämpats för vissa komponenter. Dioderna ser exempelvis ut att vara 4148-standard. Ett vanligt problem med kondensatorer är genomslag, sliten plast eller läckage av elektrolytvätska. Läckage är vanligt om gummipackningen i botten inte håller hög kvalitet. Transienter är det som generellt ger genomslag. Det som händer då är att arean minskar då folie och plast smälter, vilket minskar kapacitansen. Det här ökar sannolikheten för nya genomslag som sedan minskar kapacitansen ännu mer. En bra kondensator bör därför ha överspänningsskydd, eftersom det här minskar problemen med genomslag.

Kapacitanser kan tillverkas på olika sätt. Ibland har arean för det elektriska fältet byggts av seriella fält och om en sådan kapacitans får ett genomslag kan exempelvis kapacitansen minska med 25 procent, vilket är ett problem. Det är viktigt att ha kännedom om vilken typ av kapacitans man använder. Olika strategier för att undvika snabba haverier och hur man kan finna problem bör vara en faktor vid konstruktion och tillverkning.

Dagens laminat är ofta bättre än på 60- och 70-talet. Det är inte säkert att referenskortets laminat går att få tag på idag eftersom det kan innehålla skadliga ämnen som idag är förbjudna. När reservdelar tas fram idag används ofta moderna komponenter, men jag (Gilbert Lundgren) tycker att det är fördelaktigt att använda det som är beprövat eftersom det ökar tillförlitligheten.

Monteringen av kretskortet är viktigt. Fastskruvade kontakter är till exempel en bra lösning eftersom det är stabilt. Belastningen som uppstår då man fäster kortet i rack eller bakplan skall inte tas upp av hylsorna utan av plasten. Så är fallet med referenskortet, på grund av kontaktens infästning. I ett scenario där kontakterna tar upp belastningen så kan de försli-

ta infästningen och orsaka avbrott. Miljön inverkar också på förslitningen och vibrationer tenderar att slita ut kontakter. Fuktighet kan orsaka oxidation, vilket är ett problem. Kontakten för referenskortet blir antagligen god eftersom kontakten är förgylld. Styrning för infästningen kan ses på referenskortet, vilket gör att det inte går att montera det fel.

Kretskortet är 19" och det har använts av inom flera standarder bland annat av ABB:s. Normalt bakades inte kretsar samman ovanpå varandra som man gör idag (s.k. multi-layer card) och referenskortet har bara ett lager.

Förbindningstekniken är lödning, även om det var vanligt med trådlindade kretskort under 60- till 70-talet. Idag används ofta en annan lödpasta på grund av miljölagar. Pastan är generellt hårdare, vilket ökar risken för sprickor som kan resultera i avbrott.

Lödningsmetoden som användes för referenskortet kan ha varit både dopplödning, våglödning eller selektivlödning. Idag kan våglödning användas för montering av komponenter, men några av komponenterna som används kan vara enklare att montera för hand.

Lödbarheten är generellt en viktig faktor. Oxidation är ett exempel på problem vid lödning. Referenskortet kan ha varit tvättat i freon före lödningen för att ta bort oxider, men idag används ofta fluor eftersom freon inte är tillåtet. En möjlig fortsättning på arbetet är ett projekt som behandlar kemin kring borttagandet av oxider.

För att kunna tillverka kvalitetssäkrade kretskort är ISO 9000 en bra utgångspunkt. För att kvalitetsstyra tillverkningen bör parametrar som lödningskvalitet, fuktighet och material behandlas. Det är också viktigt att identifiera de material som idag inte är tillåtna. Exempelvis får inte bly alltid användas.

Om det finns olika standarder så bör den som ställer högst krav tillämpas för att systemet ska bli så robust som möjligt. Ursprungsstandarderna skall exempelvis inte användas om det finns krav i den nya standarden som ställer högre krav på robusthet.

Komponenterna är åtkomliga för en människa vilket gör att fel kan lokaliseras med enkla mätinstrument. Därför går det även att byta komponenter på referenskortet.

Vid nytillverkning borde komponenterna testas innan montering om tillförlitligheten ska vara hög. Testet kan bestå av mätning av kapacitanserna, resistanserna, induktanserna och kontroll av reläfunktionen. Statistiska test kan användas för att ta reda på vilka parametrar som är viktigast att kontrollera. Funktionstest efter montering av komponenter och

undersökning av kontakternas kvalité kan utföras i testriggar. Även okulär inspektion är möjlig för referenskortet och IVF har gett ut riktlinjer för lämpligt utseende.

Kretskortet är så stort att det går att komma åt med testprober, vilket är en fördel. Om nödvändigt så går det även att göra förändringar av komponenternas position etc. Inbränning, det vill säga testkörning under en period, innan korten sätts in i drift är att rekommendera om man vill nå en hög tillförlitlighet. Destruktiva test med transienter kan också utföras för att se hur stora transienter som behövs för att skada kortet. Inspektion med hjälp av röntgen för att leta inre fel är idag tillgängligt. Kvalitetsstyrande standarder kan exempelvis ange krav på isoleringsavstånd om miljön är känd. Referenskortets typ av krets går att funktionstesta eftersom det inte finns några minnen eller annat som riskerar att "spöka" utan att man skulle upptäcka det vid själva testet.

Dokumentation av resultaten från ovanstående tester kan lagras elektroniskt idag. Ankomstkontroller är också viktiga för kvalitetssäkringen. Exempelvis används idag stickprov vid ankomstkontroll. Det är viktigt att leta efter intermittenta fel. Märkning med tillverkningsbatch eller serienummer underlättar felsökningar. Idag sparar vi (Gilbert Lundgren) alla komponenter digitaliserat, vilket gör att vi kan överblicka de kretskort som byggts hos oss. Idag är det billigt med minne för lagring av information om kretskorten. Viktigt är att man har kompatibel utrustning för systemen så att uppgifterna går att hämta flera år senare.

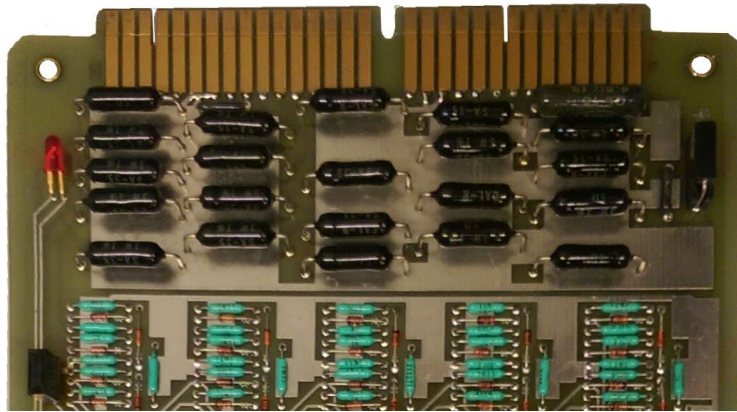
Enligt ovanstående går referenskortet att felsöka. Referenskortet har till exempel inte ett minne. När minnen används kan det vara mycket svårt eller omöjligt att fastställa om alla celler är tömda eller inte. Testpunkter finns tillgängliga på referenskortet och antagligen har det funnits testriggar där man snabbt har kunnat se om kortet är funktionellt eller inte. Referenskortet har statusindikationer och utför egentester, vilket även används idag.

Förutsättningar för nyttillverkning är att alla komponenter, eller likvärdiga komponenter, som uppfyller tillförlitlighetskraven finns tillgängliga. Det är viktigt att veta hur komponenterna är gjorda, om komponenterna finns på marknaden samt om de har legat på lager. Rochester electronics är tillverkare som specialiserat sig på äldre komponenter, de har hand om exempelvis hand om original masker för produktion. Det kan vara värdefullt att se om de har tillgång till komponenterna som söks. Det finns även andra företag som specialiserar sig på att kunna tillverka obsoleta komponenter eller har hand om eftermarknaden. Identifiering av komponenter kan ske genom att undersöka referenskortets dokumentation som kan hämtas med hjälp från att avläsa de brända märkena på ytan.

Idag har kretskorten ofta fler funktioner eftersom processorer och minnen är billigare än på 60- och 70-talet. Det gör att dokumentationen kan vara svårare att följa upp i detalj.

8.2 Exempelkort

Exempelkortet som visas i bild 28 har tagits med i utredningen eftersom det har en skyddslack som användes under 70-talet men som inte applicerats på referenskortet. Den förgyllda kontakten på exempelkortet är också nämnvärd eftersom den har högre tillförlitlighet än referenskortets kontakt.



Figur 28: Exempelkortets ovansida, där skyddslacken reflekterar en del av ljuset.

Skyddsbeläggningen är märkbar på exempelkortet. Enligt Gilbert Lundgren ökar lacken tillförlitligheten men gör det nästan omöjligt att reparera kortet. Lacken är transparent och därför kan eventuella skador t.ex. hög värmeutveckling inspekteras okulärt. Det finns så bra lacker att kretskorten till och med kan användas under vatten efter lackering.

8.3 Top down-model av referenskort

I avsnittet bryts referenskortet och exempelkortet ner i ett antal kategorier relevanta för tillverkning enligt en så kallad Top down-model vilket motsvarar en analys med utgångspunkt från önskvärd vara. Kategorierna är utgör en grund för den fortsatta utredningen av de processer som behövs för tillverkningen.

Kvalitet

Numret på kortet indikerar att det kan finnas intyg för varje kretskort som antagligen är vilket bland annat är lämpligt att basera på beställningsnummer.

Prov

Referenskortet kan provas i testrigg. Kretstypen går enkelt att funktions-testa, eftersom det inte finns några minnen inblandade.

Skyddsbarriärer och kapsling för installation

Exempelkortet hade en ytbehandling som utgör en kapsling som idag kanske inte är möjlig att applicera eftersom regelverk kring tillåtna ämnen har förändrats.

Plaster var inte så utvecklade på 60- och 70-talet jämfört med idag, men eftersom materialen har förbättrats kan plast användas i större utsträckning idag. Installation skedde i 19" rack för kretskort med bakplan.

Design

Mönsterkortet har idag bättre tillförlitlighet än under 60- och 70-talet. Det är viktigt att en hög standard hålls, exempelvis IPC klass 3 för att få ett bra resultat.

Referenskortet går inte att montera fel eftersom mönsterkortet inte är symmetriskt. Kontakten är fastskruvad vilket ökar den mekaniska stabiliteten och ser till att belastningen fördelas jämt då kortet fästs i rack eller bakplan, tas upp av mönsterkortet.

Komponenter och material

Flera av delarna går idag att få tag på av leverantörer som presenteras under kapitel 11.

Materialet som referenskortet är gjort av kan vara glasfiberarmerad epoxi. Idag finns liknande och bättre material tillgängliga som t.ex. inte drar åt sig lika mycket fukt vilket minskar risken för sprickbildning i kretskortet. I avsnitt 9.2 beskrivs mönsterkortets önskade materialegenskaper.

Idag är det inte säkert att lodet får innehålla samma ämnen som på 60- och 70-talet på grund av miljöskäl. Det beror antagligen på hur kretskortet skall användas. Det samma gäller för olika medel som används för rengöring av oxider.

Utrustning och monteringsprocess

Våglödningsmaskiner kan användas för att montera komponenterna på referenskortet eftersom komponenterna är hålmonterade. Det är även möjligt att montera komponenterna manuellt. Under 60 och 70-talet var det vanligt att slutkontrollen var manuell vilket inte är lika vanligt idag på grund av nya tekniska lösningar.

9 Tillverkningsteknik

Delarna som bygger upp kretskortet och tillverkningstekniken analyseras i detta kapitel.

9.1 Mönsterkortets funktioner

Mönsterkortet i elektriska kretsar har flera funktioner: [93]

- Elektrisk förbindning
- Mekaniskt bärande
- Isolera
- Värmeavledande [93]

9.2 Material för att tillverka mönsterkort

Krav på basmaterial

- Elektriskt isolerande
- Värmetåligt
- Mekaniskt hållfast
- Dimensionsstabil
- Icke hygroskopiskt [93]

Egenskaper hos tillämpade basmaterial idag

Förkortningar i **avsnittet**:

Tg = Glasomvandlingstemperaturen

FR4= Flamskyddande, klass 4

- FR2 Fenolpapper. Pappersark hoppressade med fenolhartslim, dåliga mekaniska och elektriska egenskaper.
- FR4 Glasfiberarmerad epoxi.
- Epoxi. Tg=125 upp till 135°C, Arbetstemp. -40 till +85°C.
- BT-epoxi Bismaleimide-Triazine; Härdad epoxi, Tg= +180 till +200°C.
- Teflon Polytetrafluoreten, svårt att få kopparfolie och annat att fästa.

[93]

9.3 Tillverkning av mönsterkort med fotolitografi

Arbetsgången baseras på att kortet har ett lager med ledningsbanor.

Arbetsgång

kopparfolie pressning, fotomask, fotoresist plätering, exponering och fram-

kallning, etsning, borttagning av fotoresist, borra hål, kemisk koppar, yt-behandling, lödmask. [93]

Det finns två tillverkningsmetoder

I *additionsmetoden* utgår man från basmaterial och lägger mönstret på önskad yta. *subtraktionsmetoden* är den vanligaste metoden. Material läggs över hela ytan av kretskortet och sedan etsas kortet så att det skapas ledningsbanor. [93]

Beskrivning av tillverkningsprocessen:

Utgångspunkt är basmaterialet (kärnan) som idag ofta är en glasfiberarmerad epoxi. Kopparfolien som är försedd med lim på ena sidan fästs på laminatet och valsas.

Fotoresist ska sedan väljas. Fotoresisten härdar eller mjuknar beroende på om det är en negativ eller positiv fotoresist. Det finns flera typer av fotorist tillgängliga. Positiv fotoresist och negativ fotoresist som kan vara torr eller våt är en grov indelning. Fotoresisten är känslig för UV-strålning.

Fotomasken för över mönstret till laminatet. Fotomaskfilmen är en plastfilm med ljuskänsligt skikt (jfr, vanlig fotografering och Lith-film). Mönstret ritas m.h.a. en vanlig ljuskälla som passerar genom ett litet hål och får en liten fläckdiameter enligt figur 29. Filmen framkallas, de delar som exponerades för ljus blir svarta, man har fått en negativ fotoresist.

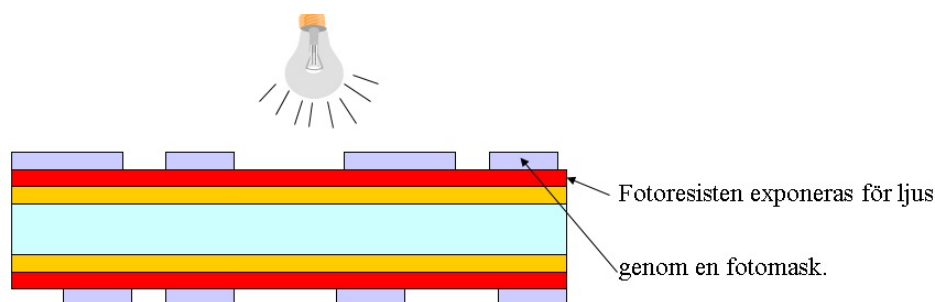
Fotoresisten framkallas, de delar av resisten som exponerades för ljus sitter kvar medan framkallningen tvättar bort resten (negativ resist). Kortet läggs sedan i en etsvätska som löser upp metallen men inte påverkar områden med fotoresist vilket lämnar ledningsbanorna kvar.

Fotoresisten tas sedan bort igenom "strippning" vilket innebär att man tvättar kortet i en resistborttagare som t.ex. natriumkarbonat.

Nu borras hålen vanligen med en precisionsborrmaskin.

De kort som har kemisk koppar dvs genomplätering genomgår nu en elektrolytprocess. Ytan skyddas därpå av inlägg av exempelvis aluminium eller tenn.

När kortet är färdigt skyddas den med en så kallad lödmask (som idag ofta är grön). Lödmaskens uppgift är att bara lödtytor ska vara tillgängliga för lodet att fästa. [93]



Figur 29: Exponering genom fotomask [93]

9.4 Förvaring av mönsterkort

Luftens syre, fuktighet och föroreningar försämrar lödbarheten och därför bör korten lödas så fort som möjlig. Tabell 9.4 skapar en överblick av hur länge man kan förvara olika material utan att lödbarheten blir oacceptabel. [93]

Ämne	Beteckning	Lagringstid
Tenn/bly	SN/Pb	12 månader
Silver/guld	Ag/Au	12 månader
Organic solderability preservativ	OSP	6 månader
Koppar+ kemisk tenn	Cu+kemisk Sn	1 månad
Exponerad koppar med lödlack	Cu med lödlack	1-3 månader

9.5 Förbindningsteknik

En elektronisk produkt består av flera delar (komponenter). För att sammanfoga alla delarna används ofta ett mönsterkort. Förbindningen av komponenterna fysiskt kan ske på flera olika sätt. [93]

- Punkt till punkt
- Ytmontering
- Hålmontering
- Tråd lindning
- Glidkontakter, kontakt don, skruv och mutter etc.

Lödning

Lödning är centralt i elektroniktillverkning eftersom lodet har flera funktioner: [93]

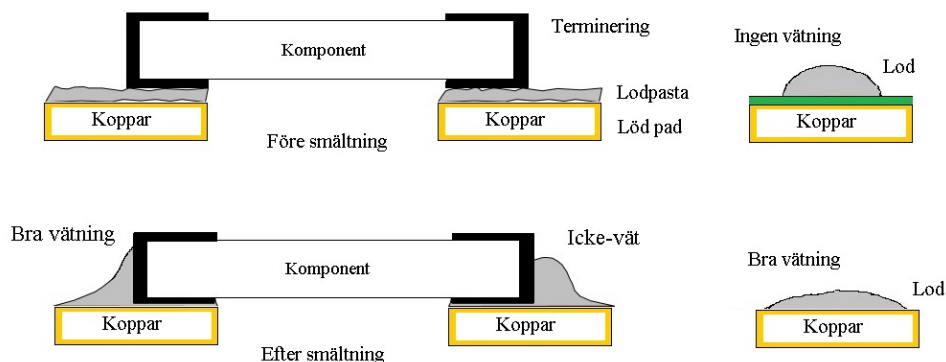
- Elektrisk förbindning mellan komponenterna
- Hålla komponenterna på deras respektive plats på mönsterkortet.
- Leda bort värme.

Lödbarhet

För att lödningen ska bli tillförlitlig behöver bland annat följande uppfyllas.[93]

- Värme, det måste vara möjligt att värma lödområdet (inom rimlig tid) utan att förstöra kort eller komponenter.
- Vätbarhet, komponent ben/termineringar måste ha en yta som väts av smält lod.

Figur 30 visar på hur resultatet med avseende vätbarhet som är en viktig parameter vid lödning.



Figur 30: Vätbarhet.[93]

Flussmedel

Flussmedel löser upp oxiderna som uppstår då metaller blir varma. De finns i flera former. Många lödtrådar har flux direkt inblandat i tråden. Vilka medel som används har ändrats under tid eftersom ett par har varit giftiga för människor. [14]

Lödpastans egenskaper

Lod smälter gradvis från fast till flytande och omvänt, lodet stelnar gradvis. Hur lodet smälter och stelnar beror på lodets sammansättning. Vid en blandning på 63% tenn och 37% bly är fasövergången eutektisk, d.v.s. det uppstår inget eller ett väldigt kort smält- och stelningsintervall. Fördelen är att risken för att detaljerna ska ändra läge under processen eftersom fogen då inte blir lika tillförlitlig. [93]

9.6 Förbindningsteknik för kretskomponenter

Avsnittet sammanställer kortfattat de olika monterings teknikernas för och nackdelar baserat på de föregående kapitlen i tabell 3.

Fördelar	Nackdelar
Punkt till punkt	
Få tillverkningssteg då inget mönsterkort är nödvändigt. Robust. Utbudet ser ut att vara stadigt eftersom den följer hålmonterade komponenterna. Enkelt att felsöka. Möjligt att reparera, dock inte lika enkelt som trådlindning.	Resultatet är svårt att garantera, (QA och QC). Monteringsprocessen ställer krav på att personalen är yrkesskicklig.
Trådlindning	
Robust. Utbudet ser inte ut att förändras och det finns kompatibilitets socklar. Enkelt att felsöka. Enkelt att reparera.	Resultatet är svårt att garantera, (QA och QC). Monteringsprocessen ställer krav på att personalen är yrkesskicklig.
Hålmonteringsteknik	
Robust Utbudet är stort och det ser inte ut att förändras eftersom tekniken har mekaniska fördelar och värmeavledningsförmåga. En stor del av tillverkarna använder tekniken idag. Normalt enkelt att felsöka. Resultatet är relativt enkelt att garantera eftersom produktionen inte behöver innehåller handmontering (QA och QC) [3]	
Ytmontering	
Kretsens massa och utrymme kan reduceras i förhållande till andra tekniker. Verktygen ser ut att finnas tillgängliga under en lång tid.	Monteringstekniken medför förband som är känsligare för mekaniska och termiska påkänningar jämfört med andra tekniker. Utbudet av komponenter är mycket varierande och därför uppstår även kompatibilitetsproblem med högre frekvens. <i>Tabellen fortsätter på nästa sida</i>

Tabell 3 – *Fortsättning av tabell från föregående sida*

Fördelar	Nackdelar
	Komponenternas fogar till kretskortet är svåra att arbeta med fysiskt vilket gör att kretsarna blir svåra att reparera. Dokumentation blir normalt komplexare eller otillräcklig för att felsöka system när packningsdensiteten ökar.

Tabell 3

9.7 Lödningsteknologi

Avsnittet handlar om lödningsteknologi och relaterad utrustning. Lödning kan grovt delas i 2 typer, partiell uppvärmning och heluppvärmning. I slutet av avsnittet sammanställs kortfattat de olika monterings teknikernas för och-nackdelar i tabell 9.7 baserat på de föregående kapitlen.

Partiell uppvärmning

Lödning med kolv är en metod där man löder mot dynorna på mösterkortet med en varm lödkolv. Egenskaper som är viktiga är termiska kapaciteten och utformingen på kolven eftersom man vill fördela tillräckligt med energi på rätt område under rätt tid för att skapa en bra lödning. Problem som annars uppstår är bland annat att dynorna lossar från mösterkortet eller att fogen inte väter som tänkt. Både SMD och THT komponenter går att löda med denna metod om storleken är hanterbar. Metoden används även för punkt-till punktmontering.

Lödning med varm gas är en metod för att löda SMD-komponenter. Gasen som används är ofta N₂ eller luft som förs mot området som ska lödas. Lödningstemperaturen kan justeras genom att justera värmen på gasen eller ändra flödet.

Pulsvärme är en metod som använder den värme som utvecklas när en strömpuls går genom verktyget. Temperaturen regleras av strömflödet och tiden som strömmen appliceras. Figur 31 beskriver puls uppvärmningsmetoden.

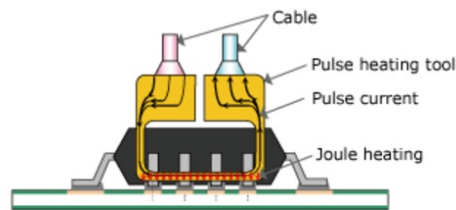


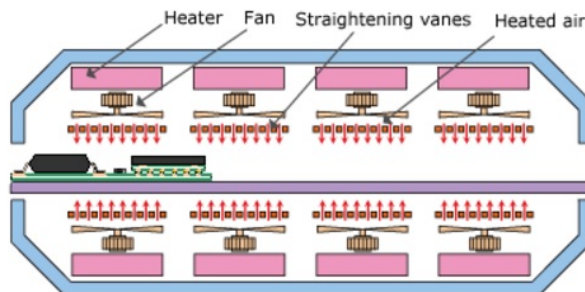
Figure 1.5 Pulse Heating Method

Figur 31: Lödning med pulsvärme [58]

Heluppvärmning

Heluppvärmning indelas i omsmältningslödning och våglödning. Övriga tekniker som exempelvis ång eller infraröd lödning anses inte nödvändiga för att tillverka referenskortet och behandlas därför inte närmare.

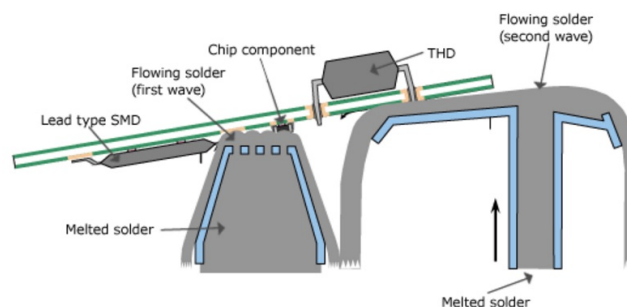
Omsmältningslödning använder principen att en atmosfär (luft eller N₂) blir uppvärmd av ett värmeelement och får cirkulera inuti en ugn vilket smälter lodet och skapar lödningen. Metoden ger en jämn temperatur efter en bestämd tid även om det finns skillnader i de termiska kapaciteterna hos komponenterna och mönsterkortet. Processen visas i figur 32.



Figur 32: Visar hur ugnen fungerar i omsmältningslödning

Våglödning är en metod som går ut på att lod smälts i en tank, lodet förs sedan ut under kretskortet för utföra lödningen. Figur 33 visar principiellt hur metoden fungerar.

Det är vanligt att komponenten exempelvis en SMD-komponent förmonteras med olika former av vidhäftande medel för att metoden ska vara möjlig att använda. [59] Processen visas i figur 33.



Figur 33: Visar principiellt hur våglödning sker

Utvärdering av lödningsteknologier

Tabell 9.7 är ett resultat av jämförelse mellan de olika egenskaperna för lödningsteknologierna som presenterats tidigare i rapporten. Resultatet presenteras som för och -nackdelar.

Fördelar	Nackdelar
Heluppvärmningsmetoder	
Omsmältningslödning (Convection reflow)	
Temperatur variationerna över kretskortet blir medelhöga Direkt uppvärmning av delar med hög densitet även de som är svåråtkomliga för ljus	Den termiska påkänningen blir hög för komponenterna. Något längre processtider än dagens IR-reflow.
Jämn uppvärmning är möjlig	Komponenterna kan hamna snett beroende på b.l.a. vibrationer och trycket från flödet som används för uppvärmningen.
Jämt temperatur distribution kan nås efter viss tid även om mönsterkorten och komponenterna eller själva komponenterna har olika termiska kapaciteter.	
Våglödning (wave soldering)	
Korta processtider Termiska påkänningen blir låg för hålmonterade komponenter	Temperaturvariationerna är höga. Termiska påkänningen blir hög för ytmonterade komponenter. Svårt att hantera olika paket där anslutningarna ligger tätt.

Tabellen fortsätter på nästa sida

Tabell 4 – *Forsättning av tabell från föregående sida*

Fördelar	Nackdelar
Partiella uppvärmningsmetoder	
Lödning med klov	
Termiska påkänningen blir låg.	Temperaturvariationerna blir stora.
Lödning med varmluft	
Den termiska påkänningen blir låg.	Temperaturvariationerna blir stora.
Lödning med pulsvärme	
Termiska påkänningen blir låg. Det går att använda metoden för att löda vissa komponenter på i förhand. Metoden kan även ge bra precision om komponenter att blivit fast satta på plats i förväg.	Långa processtider, alla komponenter och ben behöver värmas.

Tabell 4

9.8 Kapsling

Elektriska komponenter är kapslade för att bland annat skydda mot yttre element och göra komponenten självbärande. Det finns flera teknologier för att skydda och hålla samman komponenter. Exempel på element som kapslingen bör skydda mot är oxider eftersom de kan skapa kortslutningar. Hela kretskortet kan bli inkapslat, eller med andra ord paketerat, i en skyddslack. Det finns tunna transparenta lacker som skyddar mot att oxider bildas. Transparensen gör i lacken gör också att olika typer av fel som hög värmeutveckling kan gå att notera med ögat vilket ökar användningsområdet. Normalt skyddar även lacken mot brand etc. Applicering av lack kan bland annat ske genom att doppa kretsen ett bad eller spraya lacken på kretskortet.[27]

10 Provning

Provning är en undersökning för att bestämma en eller flera egenskaper hos en produkt, process eller tjänst enligt ett specificerat förfarande. Vid provningen kan föremålet utsättas för elektriska, kemiska, klimatiska eller mekaniska påfrestningar av olika slag för att utröna föremålets miljötålighet. [117].

Nedanstående är en sammanfattning av alla föreslagna prov som kan utföras i intervju av Gilbert Lundgren, Stellan Jörsell och Herman Dunge.

- Testtrigg
- Okulär inspektion
- Mätning av kapacitanser, resistanser, induktanser och kontroll av reläfunktion.
- Funktionstest efter montering av komponenter.
- Inbränning, d.v.s. testkörning under en period för att testa att korten fungerar innan de används i drift.
- Självtest. Exempel på hur dioder kan användas visas i figur 34.
- Destruktiva tester som exempelvis kan avgöra vilka transienter som skadar kortet.
- Inspektion med hjälp av röntgen för att leta inre fel. (Tekniken har blivit mer tillgängligt idag än på 60 och 70-talet) .

Avgörande för vilken testutrustning som används är seriens storlek. Dokumentation av provresultat och kontroller är ofta elektroniska idag.



Figur 34: [68]

För att bestämma vilka provområden som resurser ska avsättas till kan statistiska test utföras. Det ingår inte i projektet, utan utgångspunkt är para-

metrarna som beskrivs i figur. 23

ATC Nuclear

ATC Nuclear är en global leverantör som arbetar med instrumentering, kontroll och reparation inom kärnkraftsindustrin. Genom att se hur ATC provar teknik som är tillverkad med relevant standard skapas en grund i hur prov kan utföras.

ATC Nuclear stödjer flera organisationer som utvecklar standarder, exempelvis IEEEs underkommittéer och arbetsgrupper. Företaget utvecklar acceptansprocesser som parter kan använda för att ta fram säkerhetsklassade grundkomponenter. Processen skall resultera i en rimlig försäkras om att komponenten kommer att utföra sin avsedda säkerhetsfunktion. Processen handlar om att identifiera kritiska egenskaper hos komponenten och att verifiera acceptans för tillverkning genom att utföra inspektioner, tester eller analyser. I processen behandlas därför prestandakrav, komponentklassificering och applikationskrav inklusive förhållanden. ATC arbetar aktivt med sin dokumentation för att kunna påvisa lämpligheten hos det som testats. [38] [109]

Testutrustning

ATC har testutrustning bestående av bland annat:

- Jordbävningssimulatorer
- Föråldringsugnar. Tekniken fungerar bra enligt Gilbert Lundgren, då en ökning med 10° halverar livslängden på elektriska komponenter.
- Miljökammare, som går att se ett exempel på i figur 35.[38]



Figur 35: [57]

Funktionstest

Funktionell testning verifierar operativa egenskaperna hos ett komplett utbud av säkerhetsrelaterad utrustning.

Testutrustningen innefattar bland annat:

- Dynamometer för att testa horisontella motorer.
- Fixturer för ventiltest.
- Bryttest.
- Flödesmätning.
- Elektrisk testutrustning så som multimetrar.
- Mekanisk testutrustning t.ex. för hårdhet med durometer, avståndsmätning med skjutmått etc. [38]

Miljöcertifiering

Miljöcertifiering sker bland annat genom att använda standard IEEE-323. Testerna inkluderar strålning, termisk föråldring, vibrationsanalys, elektro-magnetiska störningar m.m.[38]

Verifiering av utrustning

ATC utför jordbävningstester enligt standarder IEEE 344-1975/1987/2004. En vibrationssimulator som ATC använder visas i figur 36. Anordningen har en plattform på 130 cm som kan röra sig i tre dimensioner, klarar 900 kg last och har en maximal acceleration motsvarande 15 gravitationskonstanter. Maskinen kan konfigureras för att prova enligt standard IEEE 344. Detta påvisar att det finns tillgänglig verifikations utrustning. [38]



Figur 36

Provningsförfarande för verifiering

Det finns flera exempel på hur ett provningsförfarande för att verifiering en utrustning kan se ut. Avsnittet behandlar hur ATC har undersökt hur system åldras. Bakgrunden till deras tester var att Generrex hade kontrollsystem som orsakade problem, vilket hade kostat motsvarande 900 000 USD i förlorade inkomster. De stora problemet var vibrationer. Uppdraget bestod kortsiktigt av att reparera nuvarande kretskort i kontrollsystemet, testa samt att ersätta elektrolytkondensatorer, reläer, ICs, transistorer och potentiometrar. Långsiktiga lösningen bestod av ett nytt system som behövde provas, vilket gjordes bland annat i vibrationssimulatorn. Företaget byggde upp en fullskalig testanläggning för att verifiera att det nya systemet fungerade som tänkt. [38] Exemplet påvisar att fullskaliga prov är både praktiskt möjliga att och ekonomiskt motiverade i flera scenarion eftersom säkerhetssystem generellt har ett väldigt högt värde. Det finns även fler exempel på hur ATC har arbetat för att verifiera sin utrustning.

10.1 Problemområden

Minnen kan vara svåra att testa. Komponenter som är små är svåra att behandla eftersom man inte kan ansluta enheter lika enkelt enligt Gilbert Lundgren. I kapitel 6 har viktiga postulerade fenomen etc. som används vid provning av komponenter tagits fram från standard.

11 Exempel på tillverkningsresurser idag

I kapitlet presenteras flera företag som idag bedriver relevant tillverkning.

Novametric AB

Novametric AB är en lokal aktör som har kompetensen i företaget att bl.a. konstruera, göra mindre utredningar av kretsars funktion samt tillverka mindre serier av kretskort som använt teknik motsvarande referenskortets.

NCAB group

NCAB group som är etablerade i Sverige bedriver handel med mönsterkort. Organisationen arbetar aktivt med sin kvalitetssäkring som bygger på kravspecifikationer för kretskort. Företaget är IPC-certifierat. [76] [77] [78]

Rensas electronics

The merger in April 2010 between NEC Electronics and Renesas Technology has given birth to Renesas Electronics. As a semiconductor manufacturer, we strive to be the first to meet the needs of our customers worldwide with the aim of becoming one of their most trusted partners. [79]

Silicon expert technologies

Silicon expert technologies tillhandahåller ett sökverktyg för att identifiera komponenter. Genom att använda verktyget kan man i ett tidigt skede avgöra vilka elektriska komponenter som kan behöva ersättas vid nytillverkning. [80]

Rochester electronics

Rochester electronics är exempel på ett företag som tillverkar äldre komponenter och logik på nytt. Företaget skapades 1981 och är ett bra exempel på ett verksamt företag som fokuserar på eftermarknadslösningar och kvalitet. Enligt företagets hemsida så bedriver de produktion av halvledare. Genom att producera nya originaldelar med hjälp av inköpta fotomaskar kan problem med lagring undvikas. Rochester har vidare rätt av originaltillverkaren (OM) att ta fram de eftersökta komponenterna. Figur 37 visar en del av deras lager för material till produktion. [96]



Figur 37: [98]

Argoturbo Company

ArgoTubo Company (ATC) arbetar med sina kunder för att ta fram obsolet teknik och har möjligheten att genomföra prover och tester.[38]

Fujitsu i Tyskland

Fujitsu har flera produktionsanläggningar i världen. I Augsburg, Tyskland har de en modern fabrik med produktion och tester. De erbjuder tester i Augsburg för bland annat elektromagnetisk kompatibilitet (EMC), säkerhet och miljö, elektriska fältemissioner, urladdningar, tester av elektromagnetiska fält och mekaniska vibrationstester. Logistiken följer särskilda rutiner och de har ett märkningssystem. Kapaciteten är 8000 huvudkretskort om dagen, men de kan även anpassa produktionen för flera mindre serier. De erbjuder olika typer av lagringshanteringar. [4]

SMA Solar Technology i Tyskland

SMA Solar Technology i Tyskland har en produktion som delvis skiljer sig från Fujitsu i Augsburg. Det här minskar sannolikheten för att processer som idag finns tillgängliga blir utelämnade. [5]

12 Reservdelstillverkning

För att kunna reservdelstillverka kretskort är det viktigt att *anpassa* reservdelstillverkningen så att den följer standard. Det är inte rekommenderat att tillverka alla kretskort som behövs under verkets livslängd samtidigt, eftersom det finns osäkerhetsfaktorer kring hur många kretskort som bör tillverkas samt att lagrade kretskort föråldras.

Genom att följa standard som appliceras av flera företag kan chansen ökas för att de olika komponenterna som bygger upp kretskortet finns tillgängliga i framtiden. Risken för obsolescens på marknaden minskar således. ATC är ett exempel på företag som arbetar med att erbjuda äldre teknik eftersom det finns en marknad som har uppstått då det finns flera intressenter. [38].

Det är viktigt att inte implementera helt ny teknik, eftersom man inte vet om tekniken kommer att bli bestående eller så omfattande att det finns ett underlag för att fortsätta tillverka komponenter i framtiden.

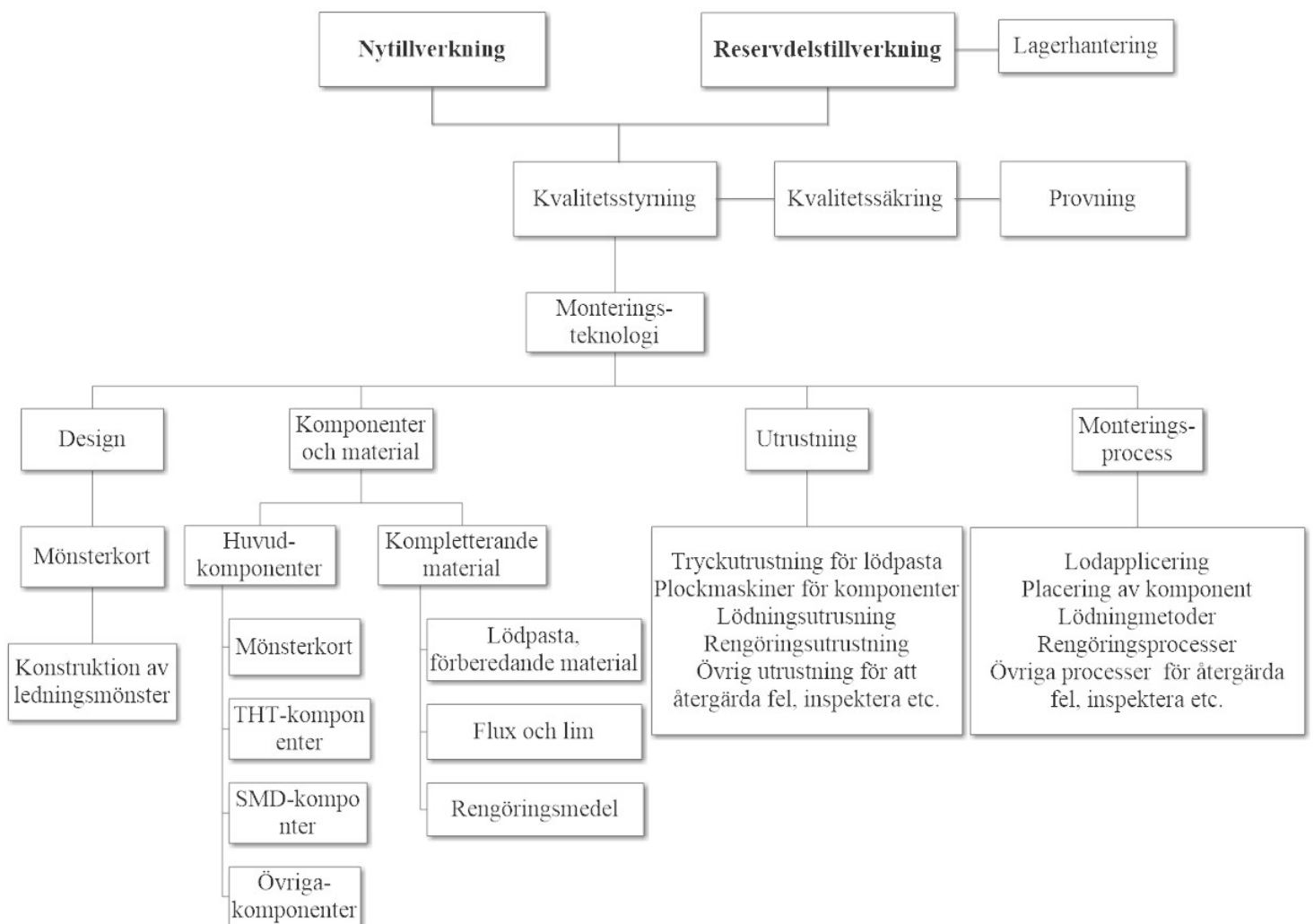
Tillverkning bör vara anpassas så att reservdelstillverkning är möjlig i framtiden. Utredningen tar med denna faktor i sina rekommendationer genom att ta hänsyn till hur etablerad tekniken och standarden är som krävs för tillverkningen.

13 Tillverkning

I kapitlet ligger fokus på att undersöka vad som krävs för att industriellt kunna tillverka i storleksordningen 10000 kretskort med en likartad teknik som användes på 60- och 70-talet. Produkterna skall ha intyg så att komponenter är spårbara till deras tillverkningsbatch. Vidare ska resultatet bli robust och stabilt.

Hur analoga styrelektroniska system arbetas fram genom bearbetning, hopsättning och dylikt av olika utgångsmaterial och standarder beskrivs översiktligt i figur 38. Överblicken baseras på företaget Renesas teknologiska överblick för typisk lödningsmontering och kunskaper kring tillverkningen av referenskortet. De tekniker som används för montering av enheter är avgörande för att uppfylla ställda krav. [29]

I kapitel 11 har ett verktyg för att identifiera leverantörer av obsoleta komponenter presenterats. När ekonomiska insatser är betydande finns ofta komponenter för nytillverkning tillgängliga. Enligt intervjuer är mönsterkorten mer tillförlitliga idag än på 60- och 70-talet. Hålls dimensioner för ledningsbanor etc. likt blir tillförlitligheten högre i kretskortet som skall nytillverkas. Mönsterkort behandlas därför inte mer djupgående.



Figur 38: [26] [29]

13.1 Tillverkning 2010-2015

Avsnittet handlar om att industriellt kunna tillverka i storleksordningen 10000 kretskort på ett kvalitetskontrollerat sätt. Materialet är till stor del baserat på multimedia som anges i referenser.

Idag finns många leverantörer av elektronik. SMA solar Technology och Fujitsu TS är båda tillverkare av kretskort i Tyskland. I Sverige bedriver exempelvis Autoliv tillverkning av säkerhetselektronik i bilsystem.[106]

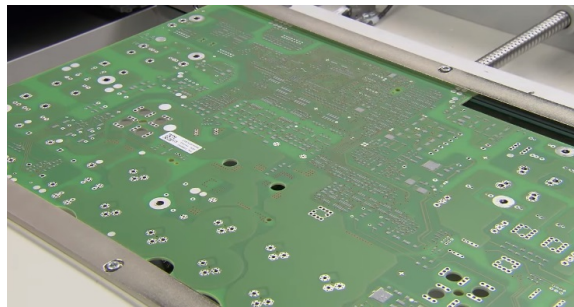
SMA Solar Technology tillverkning 2011

SMA Solar Technology har 3 huvudsteg i sin produktion:

- SMD-montering
- THT-montering
- Test och skyddsbeläggning

Fabriken har 4 tillverkningslinjer med en kapacitet för att kunna placera ut totalt 230 000 komponenter/timma. Optisk inspektion används emellan varje steg. Totalt finns det 10 maskiner för optisk inspektion av processerna.

Första steget i deras ytmontering är att lödpasta appliceras på mönsterkortet med en maskin. Kontroll sker för att se att ingen pasta är på fel ställe genom att jämföra med en mall. Hur mönsterkortet ser ut efter processen visas i figur 39.



Figur 39

En automatisk plockmaskin placerar sedan ut de ytmonterade komponenterna. Idag är många komponenter bara några millimeter stora. En maskin motsvarande den i figur 40 kan placera ut 60 komponenter per sekund.

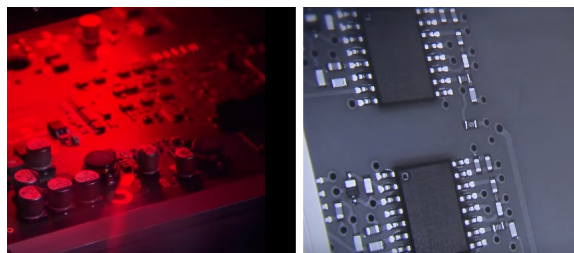


Figur 40: [56]

Kortet går sedan genom en omlödningsugn där komponenterna binder mot mönsterkortet som figur 41 visar. Inspektion sker automatiskt med optisk teknik eftersom det är svårt och tidsödande att granska fogarna direkt med ögat. Under inspektionen tas 80 bilder som jämförs mot referensdata för att avgöra möjliga avvikelser. Totalt kontrolleras ungefär 1600 attribut under inspektionen. Figur 42 visar foton som skall jämföras med referensdata under inspektionen.



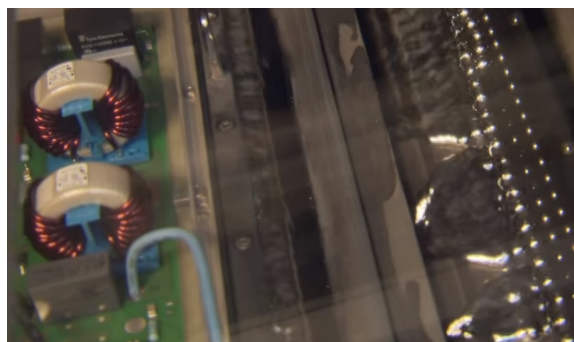
Figur 41



Figur 42

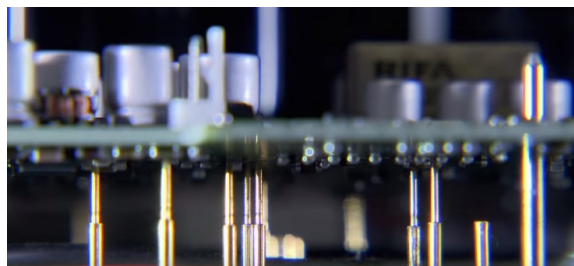
Nästa stora steg är hålmonteringen. I fabriken handmonteras komponenterna. Personalen har teknisk hjälp som består av att en skärm visar vilken komponent som ska monteras vart och hur den skall placeras. Den tekniska hjälpen ökar precisionen eftersom risken för felmontering minskar. Figur 47 i nästa avsnitt visar till höger hur det tekniska hjälpmedlet ser ut.

När hålkomponenterna placerats ut märks kortet upp med en RFID-tag som gör det möjligt att följa kretskortet genom tillverkningen. För att avgöra att bland annat alla handmonterade komponenter är på rätt plats inspekteras kretskorten optiskt. Det är enkelt att åtgärda fel efter inspektionen eftersom komponenterna inte har förbundits med mönsterkortet. Kretskortet går sedan igenom en våglödningsmaskin för att förbinda komponenterna med mönsterkortet. Hur våglödningsprocessen ser ut i verkligheten visas i figur 43.



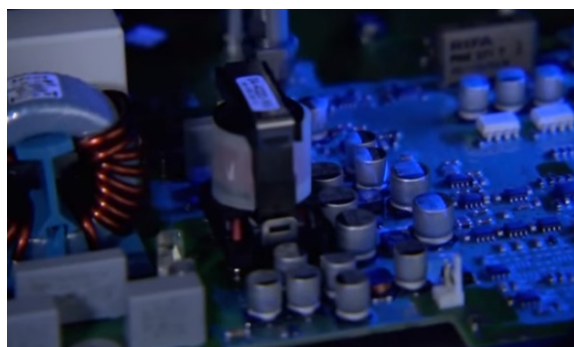
Figur 43

Sista stegen är att testa och att applicera skyddsbeläggning på kretskorten. När komponenterna har svalnat efter lödningen så kontrolleras det huruvida alla komponenter är på plats samt om de har rätt värden. Även funktionstest utförs. Testerna sker genom att kretskortet placeras i ett anpassat tetrack med upp till 800 testpinnar som skickar signaler som sedan mäts och jämförs mot referensdata. Ett tetrack som används av SMA solar visas i figur 44.



Figur 44

Nu appliceras en skyddsbeläggning på båda sidorna av kortet. Skyddsbeläggningen består av en lack som blir mycket tunn och transparent när den har torkat. Det gör att komponenterna fortfarande är synliga. Skyddet är främst avsett för fukt och damm. Med beläggningen förväntas kretsarna att få en livslängd på över 20 år. Figur 45 visar hur lackeringen går till. Kretskorten paketeras och skickas sedan vidare från fabriken.



Figur 45

Fujitsu TS tillverkning 2010

Fujitsus fabrik i Augsburg har en kapacitet på mer än 8000 enheter om dagen. Figur 46 ger ett perspektiv på hur en modern fabrik för elektronikmontering kan vara upplagd.

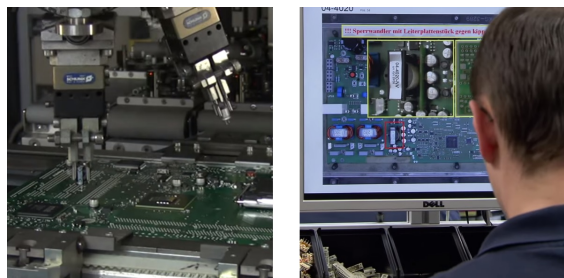
Tillverkningen inleds med att varje kretskort blir märkt med ett serienummer av en plockmaskin. Märkningen är en viktig del av kvalitetssäkringen eftersom den möjliggör spårning när och var ett kretskort är tillverkat. Nästa steg är screenprinting med lödpasta som görs med en pastamaskin, likt den SMA Technology använder.

Ytmonterade komponenter placeras därefter ut med en helautomatiserad plockmaskin. Kretskortet går därefter igenom omsmältningslödning. Lödfogar inspekteras därefter för att kontrollera om kortet skall fortsätta genom produktionen. Kretskortet som tillverkas i videokällan skall bli dubbelsidigt och därför läggs lodpasta även på andra sidan som kontrolleras. Därefter placeras återigen komponenter ut. Under processen placeras även hålmonterade komponenter ut automatiskt. Här skiljer sig SMA Solar Technology och Fujitsu TS tillverkning åt, eftersom SMA bara använde handplacering. Figur 47 visar Fujitsus utplacering av hålmonterade komponenter t.h. och t.v SMA Solars.

Kontakter och vissa andra större komponenter som är hålmonterade placeras ut för hand även hos Fujitsu TS. Våglödning med en kvävgasatmosfär används för att fästa komponenterna mot kretskortets dynor. Optisk inspektion sker sedan helautomatiskt för att bedöma om monteringen kan godkännas. Avslutningsvis utförs funktionstester i rack.



Figur 46



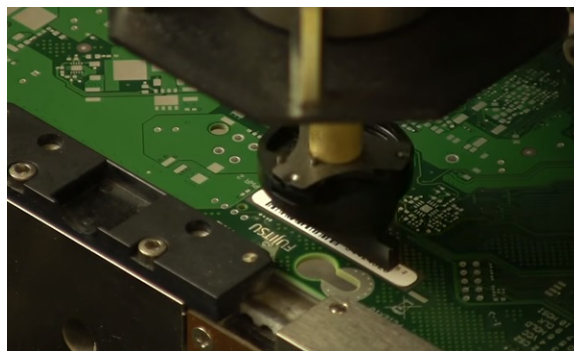
Figur 47

13.2 Tillverkning under 2010-talet hos SMA Solar Technology och Fujitsu TS

Tillverkningstekniken som finns tillgänglig hos leverantörerna presenteras nu enligt strukturen i figur 38.

Kvalitet

Fujitsu TS och SMA solar har båda ett system för att kunna spåra sina tillverkade kretskort. Genom att spara information om vilka komponenter och vilket mönsterkort som bearbetas i enkla datasystem så kan kretskortet användas för att spåra tillverkningsbatch. Figur 48 visar hur maskinen som märker kretskorten hos Fujitsu TS opererar.



Figur 48

Tester

Båda fabrikerna har tester för varje kretskort.

SMA testar bland annat:

- Är alla komponenter på sin rätta plats?

- Har alla komponenter rätt värden?
- Fungerar kretskortets elektronik?

Skyddsbarriärer och kapsling för installation

SMA har möjligheten att applicera skyddande barriär i form av genomskinlig lack.

Utrustning

Båda fabrikerna har ett system för att fästa serienummer. Dock handlar det inte om inbränning. Fujitsu TS klistrar fast en märkning och SMA Solar har RFID-taggar på en ram och skulle därför kunna märka kretskortet i slutet av produktion. För att testa har båda tillverkarna pinrack som gör det enkelt att testa de önskade parametrarna.

Båda fabrikerna har plockmaskiner även om SMA solar placerar alla hållmonterade komponenter för hand. Båda fabrikerna har även transportband som gör att ingen fysiskt utom vid test och packning behöver flytta runt kretskortet.

Fabrikerna har båda våglödning där Fujitsu TS använder en kvävgasatmosfär och SMA solar använder en luftatmosfär. SMA solar har möjligheten att lackera kretskort.

Monteringsprocess

Fabrikerna har en liknande monteringsprocess. I SMA solars fabrik tillverkas ensidiga kretskort medan i Fujitsu TS fabrik monteras komponenter på båda sidorna av kretskortet. Fujitsu TS borde även med sin maskinpark kunna montera ensidiga kretskort.

Övriga aspekter

Tillverkningskapaciteten är inget problem och båda fabrikerna kan inom kort tid producera 10000 kretskort. Fabrikerna verkar mycket flexibla och därmed borde det vara möjligt att nyttja fabrikerna för att nytillverka exempelvis referenskortet.

Maskinerna som används är idag vanligt förekommande och det finns ofta utrymme i fabriker som borde gå att utnyttja för mindre projekt, speciellt om fabrikerna har högfleksibilitet. Det finns även tillverkare som har mer handarbete involverat, exempelvis ETI. [7]

14 Tillverkning av kretskort från 60- och 70-talet i dagens fabriker

Genom att jämföra dagens tillgängliga produktionsteknik med den som kunde användas under 60 och 70-talet för att tillverka referenskortet så kan problemområden för nytillverkning identifieras. Problem som finns bör i framtida projekt lösas med utgångspunkt i standard för att inte försämra resultatets robusthet.

Kvalitet

Det är viktigt att det går att spåra alla ingående komponenters ursprung i det som tillverkas eftersom det inte nödvändigtvis är fel på monteringsprocessen när ett kretskort inte fungerar. Anledningen till utebliven funktion kan t.ex. vara att en tillverkarens av komponenter från en batch inte fyller sin funktion. Har komponenternas ursprung dokumenterats går det att hitta vilka andra kretskort som använt komponenter från samma batch så att de också kan ersättas.

Fujitsu TS och SMA solar har ett system som skulle kunna användas för att spåra tillverkade kretskort till batcher. Informationen kan utgå från kretskortet och innehålla både komponenter och mönsterkort. Datalagringen är idag billig och skulle därför inte utgöra något hinder. Det är viktigt att informationen sparas på ett format som är vidspritt eftersom det i framtiden skall vara enkelt att komma åt informationen. Fujitsu TS använder klisterrappar för att fästa serienumret, men inbrända serienummer likt det på referenskortet skulle gå att applicera med liknande maskiner.

I presentationerna av fabrikerna talade man inte om någon ankomstkontroll av komponenter, men så länge det rör sig om grundläggande komponenter är det inte svårt att anordna en ankomstkontroll i form av t.ex. stickprov eller att samtliga komponenter testas.

Idag finns goda möjligheter att kvalitetsstyra tillverkningen. SMA Solar har uttryckligen en tydlig kvalitetsstyrning i form av 10 optiska inspektioner. Fujitsu har också en omfattande optisk övervakning. Vidare finns tekniska hjälpmedel som förbättrar kvalitetssäkringen. SMA solar har exempelvis en övervakad hålmontering. Fujitsu har en mer omfattande kvalitetsstyrning då de har en automatisk process för hålmontering av komponenter.

Båda tillverkarna har processövervakningar. SMA har exempelvis en övervakning av temperaturen i omsmältningsugnar, vilket kan vara en förbättring mot då referenskortet tillverkades.

Prover och tester

Idag finns tillverkare som använder och provar produkter mot relevant standard för att åstadkomma robusta och stabila styrsystem, exempelvis ATC nuclear.

Både Fujitsu TS och SMA solar använder anpassade testtriggar. Liknande testtriggar har antagligen använts för att testa referenskortet på 60- och 70-talet.

Skyddsbarriärer och kapsling för installation

Likt exempelkortet använder SMA en skyddande transparent barriär i form av lack. Tekniken är avgörande för att systemen skall få lång livslängd och bibehållen funktion. Det borde vara möjligt att lackera kretskorten även på annan plats efter produktionen, men detta ökar risken för att damm m.m. skall komma emellan och riskera att påverka kretskortets livslängd eller funktionalitet.

Det finns ingen direkt information om dimensionerna eller kontakternas utformning på kretskorten som tillverkas i Fujitsu eller SMA solars fabriker. Produktionen verkar dock vara flexibel och möjligheten borde därmed finnas att tillverka enligt 19" standard och med fastskruvade kontakter.

Design

SMA solar och Fujitsu TS tillverkar inga mönsterkort i de två fabrikerna som presenterats. NCAB är ett exempel på tillhandahållare av mönsterkortsproduktion. Mönsterkorten har idag en kvalité som överskrider referenskortets och NCAB:s utbud påvisar att det går att köpa lämpliga kretskort.

Komponenter och material

Det finns idag fabriker som använder blyat lod men det är okänt om SMA solar eller Fujitsu TS gör det.[7] Det borde oavsett vara möjligt att byta till ett lod som behövs när en hög robusthet och tillförlitlighet eftersträvas.

Monteringsprocess

Båda fabrikerna har tillgång till våglödning, vilket även kan användas i tillverkningen av motsvarande referenskortet. Det borde därför vara möjligt att tillverka kretskort liknande referenskortet.

15 Slutsatser

Kapitlet sammanfattar hur man på ett kvalitetssäkrat sätt kan nytillverka den typ av styrelektronik som fanns på 60- och 70-talet i processindustrin, t.ex. i värmekraftverk.

Teknikhistoria

Styrteknik har en betydligt längre historia än elektroniken och det finns både för- och nackdelar med att använda elektriska lösningar bland annat är de mekaniska lösningarna inte beroende av elenergi vilket kan göra dem mer robusta. Utvecklingstakten har varit hög under 60- och 70-talet inom data och elektronikområdet, mycket på grund av rymdkapplöpningen.

Under 60- och 70-talet var inte IC-kretsar lika vanliga som idag. Det var vanligt att komponenterna hålmonterades eller trådlindades. Ytmontering förekom nästan inte. Kretskortsdesignprogrammen var inte lika utvecklade t.ex. kom möjligheten att använda Gerberformatet i tillverkningen under 70-talet, vilket beskrivs närmare i avsnitt 3.9 .

Till skillnad från idag var många styrutrustningar analoga, vilket bl.a. beskrivs i kapitel 3, och under hela perioden användes främst analog instrumentering och kontroll enligt kapitel 3.13.

Mönsterkortet har idag generellt bättre tillförlitlighet och det finns tillverkare som har specialiserat sig på att tillverka komponenter idag från 60- och 70-talet. Installationstekniken skiljer sig inte nämnvärt och det är fortfarande vanligt med rack. Tekniken skiljer sig åt från den analoga och därför används inte backplan på samma sätt.

Kretskortstekniken har presenterats i samband med referenskortet och exempelkortet. Även under 60- och 70-talet så fanns det kvalitetssäkring och kvalitetsstyrning när kretskort tillverkades. Standarder var utbrett inom området.

Standard

Svenska kärnkraftverk har haft både robusta och stabila styrsystem. Utgångspunkten har därför varit dessa system för definitionen av robusthet och stabilitet. I detta projekt har standarder presenterats utifrån hur robusthet och stabilitet har definierats, både för nutid och för vad som användes under 60- och 70-talet. Det finns flera standarder tillgängliga som är reviderade flera gånger. Bland annat ger IEEE ut standarder vilket beskrivs närmare i kapitel 5.

Konstruktion

För att kunna tillverka analoga styrsystem som är robusta och stabila idag behövs kompetens inom konstruktion, kvalitetsteknik och tillverknings-teknik. Konstruktörerna behöver dessutom praktisk erfarenhet av liknan-de system för att förstå de problem som kan uppstå vid deras konstruk-tionsval. För att nå önskat resultat bör konstruktörerna utbildas så att de känner till de konsekvenser och problemområden som olika val av kon-struktioner kan medföra. Kompetens för att skapa en sådan utbildning finns hos de som arbetat länge inom området. Det behövs inga nya maski-ner, standarder eller verktyg för att kunna konstruera de önskvärda styrsys-temen.

Tillverkning

Idag finns fabriker som kan tillverka kretskort motsvarande det referens-kort som tillverkades i början av 70-talet. Fabrikernas kapacitet gör att det är möjligt att tillverka 10000 kretskort liknande detta referenskort. Tillverk-ningen är standardiserad och olika tillverkare visade sig använda likvärdig utrustning. Det finns tillverkare både i Sverige, Europa och i övriga vär-l-den. Reservdelstillverkning i framtiden borde vara möjlig om val görs ef-ter standarder eftersom chansen då ökar för att utrustning finns att tillgå. Företagen har ofta dynamiska produktionssystem som gör det möjligt att byta serier.

Kvalitet

Det finns idag bättre möjligheter att tillverka på ett kvalitetssäkert sätt ef-tersom yrkesskickligheten inte behöver vara en lika betydande faktor i da-gens produktion. Fujitsu TS har exempelvis tillgång till en plockmaskin för hålmonterade komponenter.

Det finns idag flera bra sätt att märka kretskort på. Minne är idag betydligt billigare än på 60- och -70 talet. Det går därför att spara mer information kring tillverkning av kretskort till en mycket låg kostnad. Märkningen skul-le med sparad information kunna användas för att spåra kretskortet till en batch och därmed kunna användas b.l.a. om det visar sig att ett kretskort har ett tillverkningsfel för att identifiera kort som kan ha samma fel. Det kan även finnas utökade möjligheter, exempelvis som att se på vilka ma-skiner som använts och därmed finna vart problemet har uppstått. Det är viktigt att spara informationen så att den blir tillgänglig även i framtiden eftersom ett tillverkningsfel inte nödvändigtvis upptäcks på flera år.

Provning

Det finns flera sätt att prova kretskort. Genom att använda fullskaliga modeller, miljökammare, funktionstester samt genom att följa standarder så kan bra underlag tas fram för att producera robusta kretskort som är likvärdiga referenskortet. Det finns fördelar med att undvika vissa komponenter vid tillverkning, till exempel minnen på kretskorten som tillverkas eftersom minnet kan vara svårt att testa, ämnet behandlas mer ingående i kapitel 10.

Kommentarer

Alla tekniker har för- och nackdelar. System med många funktioner kan ha fördelar, men det är omotiverat och motsägelsefullt att implementera säkerhetssystem med många funktioner, eftersom antalet felkällor då ökar. Då endast en liten beräkningskapacitet behövs finns det ingen anledning att använda ytmonterade komponenter eftersom systemet inte kommer behöva så hög packningsdensitet vilket annars är en av fördelarna med SMD. Ytmonterade komponenter har också en sämre tillförlitlighet än övriga monterings tekniker. Tunna ledningsbanor är inte alltid en fördel och inte heller helt elektriska system. Utredningens intervjuer och litteraturstudie i de föregående kapitlen visar att tillverkningen skall använda både beprövade standarder och komponenter, tillförlitlig montering av komponenterna, placeringar av komponenterna så att test av styrfunktioner sekventiellt är möjligt samt att optimering skall betraktas som att minimera antal felkällor. Redundans och diversifiering i tillverkningen kan tillämpas för att minimera risken för att komponentfel medför utebliven funktion. Vid tillverkningsval är det viktigt att se och göra bedömningar utifrån det mervärde som kretskortet medför och föra resonemang om för- och nackdelar.

Tillverkas systemen så att de flesta civilingenjörer kan arbeta med det minskar risken för kompetensbrist. Vid ett arbete med själva kretskorten är det en fördel om arbetslaget inte behöver vara större än på några personer eftersom små arbetsgrupper förenklar b.l.a. kommunikationen i arbetet.

Projektet utgör en grund för fortsatt verksamhet. Flera intressanta förslag på fortsatt verksamhet presenteras i kapitel 16.

16 Förslag på framtida verksamhet

Rapporten kan förslagsvis användas som underlag för framtida verksamhet inom bland annat:

- Brukarorienterad teknikupphandling för system likvärdiga med de som beskrivits i arbetet.
- Jämföra digitala mot analoga system för att generera kriterier som kan användas till att avgöra vilket av systemen som är lämpligast ur ett säkerhetsperspektiv, vid olika tillämpningar.

17 Källkritik

Källorna är granskade i förhållande till en annan källa även om inte denna alltid är angiven. Har du synpunkter eller frågor är du välkommen att höra av dig till Ted Eriksson via mejladressen ted.erikssonz@live.se

18 Diskussion

18.1 Kategorisera system

Igenom att kategorisera system efter vilka konsekvenser utebliven funktion skulle medföra kan tillverkningen förenklas. Beroende på de möjliga konsekvenserna vid utebliven funktion skulle nämligen anpassning för kvalitén i tillverkningen kunna ske efter kategori. **Förslagsvis kan kategoriseringen ske enligt följande:**

Säkerhetssystem som utgör en kategori där prioriteten är minska antalet felkällor i systemet. Konsekvenserna av fel i kategorin ska gå att likna vid de som uppstår om ett klass 1E system eller att bromsarna på en bil inte fungerar. Tillverkningen behöver i denna kategori behöver ge ett resultat som både är mycket tillförlitligt och enkelt att både överblicka, felsöka och underhålla. Vidare ska system i kategorin vara tillverkade så att de inte kan påverkas av andra system.

Driftsystem som utgör en kategori av minimalt antal system som behövs för att driften ska fungera. Tillverkningsfel skulle kunna medföra konsekvenser liknande de som fel på en bilmotor ger. Vid problem med ett system i kategorin skulle alltså inte anläggningen kunna producera. Tillverkningskvalitén behöver vara god eftersom konsekvenserna av fel blir betydande.

Övervakningssystem som utgör en kategori som behandlar konsekvenser relaterade till driftkostnader. Exempelvis skulle detta kunna vara mät- och reglersystem som minskar kostnaden genom att t.ex. optimera ett varvtal i en process. Övervakningssystemen ska vara helt fristående så att de går att byta ut ofta. Ny teknik skulle kunna testas i denna kategori då tillverkningsfel inte skulle ge några större konsekvenser.

18.2 Systemets helhet

Projektet har behandlat nytillverkning av analog styrelektronik från 60 och 70-talet. Förutom kretskorten finns kringliggande teknik som har beskrivits. Enligt Stellan Jörsell är bland annat transformatorer som användes på 60 och 70-talet mycket robusta. Vid utvärdering av ett system räcker det således inte bara att se på exempelvis logikbildningen på kretskort utan hänsyn behöver tas till helheten.

Kontaktlista

Kontaktlistan följer en ordnad struktur enligt namn, kontaktuppgifter, verksamhet och hur kontakten bidrog till projektet.

Ted Eriksson ted.erikssonz@live.se, tele: 0760-481509, student vid Chalmers, projektledare

Gilbert Lundgren tele: 031-28 04 55, info@novametric.se, Novametric AB. Bidrog med information om tillverknings teknik och hjälpte till att bygga upp kontaktnätet.

Johan Bankel tele: 031-772 1174, Johan.bankel@chalmers.se, Chalmers tekniska högskola, examinator. Bidrog med genom att tilldela kurskod och rådgivning för planering och genomförande av projektet.

Herman Dunge, tele: 0492-30030 , Herman.dunge@telia.com , konsult inom kvalitetssystem. Bidrog med kunskap om kvalitetsteknik.

Jan-Erik Eriksson, tele: 070-3673110, skriftansvarig vid värmekraftverket där studiebesöket var förlagt. Bidrog med att ordna kontakter för studiebesök på värmekraftverket.

Stellan Jörsell ,tele: 0340-668692,stellan.jorsell@vattenfall.com, arbetar vid värmekraftverket där studiebesöket var förlagt, många års erfarenhet från Ringhals AB. Bidrog med kompetens kring elektronik och hur de olika systemen i praktiken påverkar driften.

Ordlista

Svenska	Engelska	Definition	Källa
Mönsterkort	Printed Circuit Board (PCB)	Kort med ledningsmönster utan komponenter	[93]
Kretskort	Printed board assembly	Kort med komponenter	[93]
Blind via		Ej genomgående metalliserade hål	[93]
Bärfilm		Bärare av torr fotoresistfilm	[93]
Elektroplätera		Applicering av metall via elektrolytisk metod	[93]
Epoxi Hårdplast		Polymermaterial	[93]
Etsning		Process som avlägsnar överflödigt material (oftast i en lösning)	[93]
Fotolitografi		Metod att föra över ett mönster till ett ljuskänsligt skikt	[93]
Fotomask		Fotolitografisk film	[93]
FR	Fire retardant	Flamskyddande	[93]
Hygroskopisk		Vatten/fukt absorberande	[93]
Basmaterial		Mönsterkortlaminat	[93]
Bindningsmaterial		Material som binder samman innerlager, kopparfolie etc.	[93]
Panel		Laminat/kort i standardform som rymmer flera mönsterkort	[93]
Resist		Ytskydd som motstår t.ex. plätering eller kemikalier	[93]

Tabellen fortsätter på nästa sida

Tabell 5 – *Fortsättning av tabell från föregående sida*

Svenska	Engelska	Definition	Källa
Punkt till punkt	Point to point	Monteringsmetod	Gilbert Lundgren
Trådlindning	Wire wrap	Monteringsmetod	Gilbert Lundgren
Hålmontering	Through hole technology (THT)	Monteringsmetod	[10]
Produktion	Production	Att tillverka eller framställa någon vara eller annan produkt.	[114]
Tillverkning		Att arbeta fram (färdigt föremål) genom bearbetning, hopsättning och dylikt av olika utgångsmaterial.	[113]
Metod		Olika vetenskapers tillvägagångssätt för att vinna kunskap eller lösa problem (se metodologi)	[115]
Verktyg		Redskap för bearbetning av material	[119]
Test		Prov för lämplighet eller funktionsduglighet	[116]
Provning		Undersökning för att bestämma en eller flera egenskaper hos produkt, process eller tjänst enligt ett specificerat förfarande. Vid provningen kan föremålet för provning utsättas för elektriska, kemiska, klimatiska eller mekaniska påkänningar av olika slag för att utröna föremålets miljötålighet.	[117]
Dator		Automatisk maskin för beräkning och symbolbehandling.	[118]
Felkälla		Orsak till fel	[120]

Tabellen fortsätter på nästa sida

Tabell 5 – *Fortsättning av tabell från föregående sida*

Svenska	Engelska	Definition	Källa
Risk		I teknisk bemärkelse kan risk definieras som sannolikheten för att en specificerad omständighet (riskkälla) leder till en specificerad oönskad händelse eller effekt under en angiven tidsperiod.	[122]
Osäker		Vars utveckling inte är självklar	[121] [26]
Säkerhet		Resultatet av åtgärder eller egenskaper som minskar sannolikheten för att olyckor eller andra oönskade händelser skall inträffa. Begreppet säkerhet används ofta som motsats till risk: hög säkerhet ger liten risk.	[123]
Konstruktion		Framtagning av underlag för produktion	[112]
Montering eller montage		Att anbringa i funktionsriktigt läge, sammanfoga (färdiga delar) till helhet.	[124]

Referenser

Referenserna följer i grunden IEEE Editorial Style Manual.[25] När hemsidan har sökfunktion hänvisas läsaren till toppdomän för att själv söka med ett söknamn. Söknamnet är vad som står före [format] och *länken*. Datumformat: datum-månad-år.

Multimedia

- [1] (10-09-24) Basic Soldering Lesson 1 "Solder and Flux", Lessons - "Introduction" <http://www.paceworldwide.com> (23-09-2015)
- [2] (12-11-2011) PACE Rework and Repair "Elements of Construction" [YouTube] <http://www.paceworldwide.com> (23-09-2015)
- [3] (7-12-2011) Fujitsu TS Mainboard Production Augsburg HD [YouTube]. <https://www.youtube.com> (29-09-2015)
- [4] Fujitsu, (29-11-2011) Fujitsu: Virtual Factory Tour Augsburg [YouTube] <https://www.youtube.com>
- [5] SMA Solar Technology (13- 04-2015) Circuit board assembly at SMA's German factory [YouTube]. <https://www.youtube.com> (29-09-2015)
- [6] Corporation Saturn Electronics Corporation (30-08-2012) PCB Fabrication Process Tour Saturn Electronics, [YouTube]. <https://www.youtube.com> (31-10-2015)
- [7] Electronic Services: Circuit Board, Wire Harness, Box Build Assembly based in Wisconsin (1105-2011) [Youtube] <https://www.youtube.com> (15-10-2015)
- [8] HACKADAY, Bil Herd, (18-12-2014) Introduction to Wire Wrap, [YouTube]. <https://www.youtube.com> (07-07-2015)
- [9] ChipDipvideo, Vakieru Kharybin (29-11-2010) Point-to-Point Construction, [YouTube]. <https://www.youtube.com> (08-10-2015)
- [10] MakerComputing (30-08-2012) IE-Terms 2 Through-Hole Technology, [YouTube]. <https://www.youtube.com> (9-09-2015)
- [11] MakerComputing (26-02-2013) IE-Terms 3 Surface Mount Technology (SMT) [YouTube]. <https://www.youtube.com> (29-09-2015)
- [12] International Electrotechnical Commission, The future (10-07-15) http://www.iec.ch/about/mediatech/videos/short_compilation/ (23-09-2015)

- [13] International Electrotechnical Commission, IEC serves the market (10-07-15) http://www.iec.ch/about/mediatech/videos/iec_serves_market/ (23-09-2015)
- [14] Jeff Koskulics för Howcast (27-07-2013) What Is Flux? Soldering. [Youtube] <https://www.youtube.com> (04-10-2015)

Eget material

- [15] Ted Eriksson TE (2015) Wirewrap [jpg] Novametric trådlindat kretskort i EU rack från 70-talet.
- [16] Ted Eriksson TE (2015) Layout 50-tal [jpg] Novametric kretskorts layout med 50-tals stil.
- [17] Ted Eriksson TE (2015) [jpg] Album Novametric mönsterkontakter
- [18] Ted Eriksson TE (2015) Runda kontakter [jpg] Novametric mönsterkontakter
- [19] Ted Eriksson TE (2015) Flatstift [jpg] Novametric mönsterkontakter
- [20] Ted Eriksson TE (2015) Wirekontakt [jpg] Novametric mönsterkontakter
- [21] Ted Eriksson TE (2015) Guld [jpg] Novametric mönsterkontakter
- [22] Ted Eriksson TE (2015) Samman [jpg] Novametric mönsterkontakter
- [23] Ted Eriksson TE (2015) Volt [jpg] Novametric
- [24] Ted Eriksson TE (2015) Metod [jpg] Göteborg

Textbaserade

- [25] Institute of Electrical and Electronics Engineers (20-30-2014) EDITORIAL STYLE MANUAL V8 https://www.ieee.org/documents/style_manual.pdf (10-12-2015)
- [26] Ted Erikssons eget material, övriga bilder och relaterat material ur dagbok.
- [27] All Circuits are Go <http://www.3m.com/> (13-10-2015)
- [28] Göran Clamo (December 1983) Masslödning av kretskort, ivf-resultat 83611, IVF Möndalsvägen 85 41285 Göteborg.

- [29] Overview of Soldering Technology <http://am.renesas.com/> (08-10-15)
- [30] Ture Eriksson, TE. Nationalencyklopedin. Dynamik [http://www.ne.se/\(10-12-2015\)](http://www.ne.se/(10-12-2015))
- [31] Bengt Klefsjö, BK. Nationalencyklopedin. Kvalitetsteknik [http://www.ne.se/\(04-10-2015\)](http://www.ne.se/(04-10-2015))
- [32] Lars G. Olsson, LO. Nationalencyklopedin. Komparator [http://www.ne.se/\(04-10-2015\)](http://www.ne.se/(04-10-2015))
- [33] Jan Ollne, JO. Nationalencyklopedin, Kvalitetsledningssystem [http://www.ne.se/\(04-10-2015\)](http://www.ne.se/(04-10-2015))
- [34] Bengt Klefsjö, BK. Nationalencyklopedin. Kvalitetskontroll [http://www.ne.se/\(04-10-2015\)](http://www.ne.se/(04-10-2015))
- [35] Hans Albin Larsson, HL. Nationalencyklopedin. Kalla kriget [http://www.ne.se/\(23-09-2015\)](http://www.ne.se/(23-09-2015))
- [36] Fredrik von Scheele, FS. Nationalencyklopedin. Apolloprojektet [http://www.ne.se/\(23-09-2015\)](http://www.ne.se/(23-09-2015))
- [37] FULL SCALE EXCITATION SIMULATOR <http://www.argoturbo.com/> (16-05-2015)
- [38] EBERLINE AREA RAD MONITOR <http://www.argoturbo.com/> (16-05-2015)
- [39] Jan Hult, JH. Nationalencyklopedin. Rymdåldern [http://www.ne.se/\(23-09-2015\)](http://www.ne.se/(23-09-2015))
- [40] Op-amp Circuit Design <http://www.computerhistory.org/> (26-09-2015)
- [41] Torkel Wallmark, TW. Nationalencyklopedin. Elektronik [http://www.ne.se/\(23-09-2015\)](http://www.ne.se/(23-09-2015))
- [42] Torkel Wallmark, TW. Nationalencyklopedin. Elektronrör [http://www.ne.se/\(23-09-2015\)](http://www.ne.se/(23-09-2015))
- [43] Lennart Hultqvist, LH. Nationalencyklopedin. Moores lag [http://www.ne.se/\(23-09-2015\)](http://www.ne.se/(23-09-2015))
- [44] Nordsieck's Differential Analyzer <http://www.computerhistory.org/> (25-09-2015)
- [45] Analog Computers <http://www.computerhistory.org/> (07-10-2015)

- [46] (2011-06-01) Vårt säkerhetsarbete <http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se>
- [47] The Road to Nordsieck's Machine <http://www.computerhistory.org/> (25-09-2015)
- [48] Wsternelectric555 (10-01-2013) Motorolagoldenviewchassis <https://commons.wikimedia.org> (28-09-2015)
- [49] Ryan Winters, RW. Wire Wrapping: Cleaner, Faster, Safer Electronic Design <http://www.jameco.com/jameco/workshop/techtip/wirewrap.html> (30-09-2015)
- [50] "PCB Global" (31-07-2014) Printed Circuit Board History and Evolution <http://www.pcbglobal.com> (30-09-15)
- [51] Kaianders Sempler (04-03-2009) NyTeknik, Den märkliga manicken från Antikythera <http://www.nyteknik.se/>
- [52] Kort om ABB <http://new.abb.com/se> (01-10-2015)
- [53] Bertil Lundqvist (2001) P100 years of relay protection, the Swedish ABB relay history <http://www.abb.se/abblibrary/DownloadCenter/> (01-10-2015)
- [54] Nils Nilsson, NN. Nationalencyklopedin. Rack. www.ne.se (01-10-2015)
- [55] Enclosed Server Cabinets Solutions <https://critical-space.net/> (01-10-2015)
- [56] Juki to Demonstrate Industry-Leading SMT Assembly Systems at SMTAI 2011 <http://www.smtnet.com/> (15-10-2015)
- [57] Walk-In Test Chambers <http://thermotron.com/> (16-10-2015)
- [58] Soldering Methods <http://am.renesas.com/> (02-10-15)
- [59] Single-sided Soldering <http://am.renesas.com/products> (02-10-15)
- [60] Lars G. Olsson, LO. Nationalencyklopedin. Analog krets <http://www.ne.se/> (25-09-2015)
- [61] Lennartsson bengt BL (2002) Reglerteknikens grunder avsnitt 1.10 Lund, studentlitteratur.
- [62] The Chip that Jack Built <http://www.ti.com/> (23-09-2015)
- [63] Transistor <http://www.bbc.co.uk/staticarchive/> (23-09-2015)

- [64] Kjell O Jeppson, KJ. Nationalencyklopedin. Integrerad krets <http://www.ne.se/> (23-09-2015)
- [65] Allied electronics catalog 1970. <http://www.alliedcatalogs.com/catalogs/1970-700/> (23-09-2015)
- [66] Kjell O Jeppson, KJ. Nationalencyklopedin. Planarteknologi <http://www.ne.se/> (23-09-2015)
- [67] The First Widely-Used Analog Integrated Circuit is Introduced <http://www.computerhistory.org/semiconductor/timeline.html> (23-09-2015)
- [68] Bergdahls AB , STS självtestsystem http://www.bergdahls.com/sts-137.html?file=files/Bergdahls/Nedladdningar/STS_sjalvtest.pdf (16-10-15)
- [69] James Brown (03-01-2013) The History of Printed Circuit Boards Infographic <http://www.4pcb.com/pcb/> (26-09-2015)
- [70] The History of the PCB <http://www.4pcb.com/pcb/> (11-10-2015)
- [71] PCB Global (31-07-2014) Printed Circuit Board History and Evolution <http://www.pcbglobal.com/7/blog.html> (11-10-2015)
- [72] Radio with the first printed circuit board, 1942 http://www.makingthemodernworld.org.uk/icons_of_invention/technology/1939-1968/IC.104/ (11-10-2015)
- [73] Charles Wheatstone Biography (1802-1875) <http://www.madehow.com/> (04-10-2015)
- [74] SC 45A Instrumentation, control and electrical systems of nuclear facilities <http://www.iec.ch/> (01-10-15)
- [75] IEC 60297:1969 Dimensions of panels and racks for nuclear electronic instruments <http://www.iec.ch/> (01-10-15)
- [76] NCAB group, Mönsterkortsspecifikation <http://www.ncabgroup.com/se/> (13-10-15)
- [77] NCAB group, PCB Design input <http://www.ncabgroup.com/> (01-11-15)
- [78] NCAB group, About Us <http://www.ncabgroup.com/> (01-11-15)
- [79] Renesas electronics, About Renesas <http://am.renesas.com/>
- [80] Siliconexpert technologies, Part Search <http://www.siliconexpert.com/>

- [81] IPC Association Connecting Electronics Industries, IPC J-STD-001E SE, <http://www.ipc.org/TOC/J-STD-001E-Swedish.pdf> (01-11-2015)
- [82] Association Connecting Electronics Industries, IPC-A-600 Acceptability of Printed Boards Training and Certification Program <http://www.ipc.org/> (01-11-2015)
- [83] IEC 60297:1975 Dimensions of panels and racks <http://www.iec.ch/> (01-10-15)
- [84] Tillverka eget kretskort eller mönsterkort <http://flodaforslego.se/tillverka-eget-kretskort-eller-monsterkort/> (29-09-2015)
- [85] 420-2013 IEEE Standard for the Design and Qualification of Class 1E Control Boards, Panels, and Racks Used in Nuclear Power Generating Stations ieeexplore.ieee.org (01-10-2015)
- [86] Standard for the Design and Qualification of Class 1E Control Boards, Panels, and Racks Used in Nuclear Power Generating Stations (01-10-2015)
- [87] Classification of electrical equipment in nuclear power generating stations IEEE project 1049 ieeexplore.ieee.org (04-10-15)
- [88] 323-1971 IEEE Standard 323-1971 al Use Standard: General Guide for Qualifying Class I Electric Equipment for Nuclear Power Generating Stations. ieeexplore.ieee.org (23-09-2015)
- [89] 323-2003 IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations ieeexplore.ieee.org (23-09-2015)
- [90] 383-1974 - IEEE Standard for Type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices, and Connections for Nuclear Power Generating Stations ieeexplore.ieee.org (23-09-2015)
- [91] 383-2003 - IEEE Standard for Qualifying Class 1E Electric Cables and Field Splices for Nuclear Power Generating Stations ieeexplore.ieee.org (23-09-2015)
- [92] IAEA (May 2014) Safety Classification of Structures, Systems and Components in Nuclear Power Plants http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1639_web.pdf (03-10-15)
- [93] Amir Baranzahi () Industriell produktion NE015 Industriell Elektronik TNE020 <http://www.slideserve.com/> (03-10-15)

- [94] 603-1980 - IEEE Standard Criteria for Safety Systems for Nuclear Power Generating Stations *ieeexplore.ieee.org* (23-09-2015)
- [95] 603-2009 - IEEE Standard Criteria for Safety Systems for Nuclear Power Generating Stations *ieeexplore.ieee.org* (23-09-2015)
- [96] Rochester (24-09-2010) Electronics <https://www.rocelec.com/> (23-09-2015)
- [97] Rochester electronics, life cycle <https://www.rocelec.com/> (23-09-2015)
- [98] Rochester electronics, Wafer Fabrication <https://www.rocelec.com/> (23-09-2015)
- [99] Fritz Maier, (2012-10-18) Åldrande el- och kontrollutrustning i svenska kärnkraftverk inför längre drifttider än de ursprungligt var konstruerade för. SSM2011-317-5, Strålsäkerhetsmyndigheten, <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se> (10-07-2015)
- [100] Hem <http://www.novametric.se/hem> (10-07-2015)
- [101] Prof. Ali M. Niknejad (02-08-2012) EE 42/100 Lecture 8: Op-Amps <http://rfic.eecs.berkeley.edu> (26-09-2015)
- [102] 2N3635: MIL-PRF-19500/357: 140 V, 1 A PNP Small Signal Transistor <http://www.onsemi.com/> (12-10-15)
- [103] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), IEEE std 308-2003 Standard criteria for class 1E equipment for power systems for nuclear generating stations.
- [104] (2015)ISO 9000:2015 Quality management systems ,Fundamentals and vocabulary <http://www.iso.org/> (04-10-2015)
- [105] IPC Mission, Vision and Goals (06-2015) <http://www.ipc.org/> (14-10-2015)
- [106] Autoliv Locations and Capabilities <https://www.autoliv.com> (04-10-2015)
- [107] Håkan Lindgren, HL. Nationalencyklopedin. Tillverkningsindustri. www.ne.se (04-10-2015)
- [108] Ritex electronics, RV-1/RV-10 korttrack <http://www.ritex.se/datablad/rv1=rv10.pdf>
- [109] Commercial-Grade Dedication (04-19-2013) <http://www.nrc.gov/reactors> (16-10-15)

- [110] Björn Stenholm, HL. Nationalencyklopedin. Antikytheramekanismen www.ne.se (04-10-2015)
- [111] Kjell O Jeppson. () Nationalencyklopedin. Transistor. www.ne.se (07-10-2015)
- [112] Mart Mägi, Nationalencyklopedin, Konstruktion tillverka. <http://www.ne.se> (16-10-2015)
- [113] Nationalencyklopedin, tillverka. <http://www.ne.se> (12-10-2015)
- [114] Nationalencyklopedin, Producera. <http://www.ne.se> (12-10-2015)
- [115] Nationalencyklopedin, metod. <http://www.ne.se> (12-10-2015)
- [116] Svenska akademins ordlista, 2013 SAOL på nätet. <http://www.svenskaakademien.se/> (12-10-2015)
- [117] Rolf Ohlson, Nationalencyklopedin, prov. <http://www.ne.se> (12-10-2015)
- [118] Sten Henriksson, Nationalencyklopedin, dator. <http://www.ne.se> (12-10-2015)
- [119] Kristina Grahm, Nationalencyklopedin, dator. <http://www.ne.se> (12-10-2015)
- [120] Nationalencyklopedin, felkälla. <http://www.ne.se> (12-10-2015)
- [121] Nationalencyklopedin, osaker. <http://www.ne.se> (17-10-2015)
- [122] Sven Erik Magnusson, Nationalencyklopedin, risk. <http://www.ne.se> (17-10-2015)
- [123] Dicte Helmersson, Nationalencyklopedin, säkerhet <http://www.ne.se> (17-10-2015)
- [124] Nationalencyklopedin, Montera <http://www.ne.se> (17-10-2015)

Appendix

Översikt av standarder för elektrisk utrustning och kontrollutrustning (IC) inom åldringsområdet, SSM2011-317-5

Kvalificering

IEC 60780 Nuclear power plants – Electrical equipment of safety systems Qualification.

Åldringshantering

IEC 62465 Nuclear power plants - Instrumentation and control important to safety - Management of ageing of electrical cabling systems.

IEC 62342 Nuclear power plants - Instrumentation and control systems important to safety - Management of ageing.

Tillståndskontroll

IEC 62582-1 Nuclear power plants - Instrumentation and control systems important to safety – Electrical equipment condition monitoring methods, Part 1: General.

IEC 62582-2 Nuclear power plants - Instrumentation and control systems important to safety – Electrical equipment condition monitoring methods, Part 2: Indenter modulus.

IEC 62582-3 Nuclear power plants - Instrumentation and control systems important to safety – Electrical equipment condition monitoring methods, Part 3: Elongation at break.

IEC 62582-4 Nuclear power plants - Instrumentation and control systems important to safety – Electrical equipment condition monitoring methods, Part 4: Oxidation induction techniques.

Teknologisk åldring – obsolet utrustning

IEC 62402:2007 Obsolescence management – Application guide. Denna är även upptagen som svensk standard SS-EN 62402, "Riktlinjer för hantering av utfasning".

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) IEEE std 308-2003 Standard criteria for class 1E equipment for power systems for nuclear generating stations.

IEEE std 603-1998 Standard criteria for safety systems for nuclear power generating stations – description

IEEE std 323-2003 Standard for qualifying class 1E equipment for nuclear power generating stations.

IEEE std 383-1974 Standard for Type Test of Class 1E Electric Cables, Field Splices and Connections for Nuclear Power Generating Stations.

IEEE Standards Interpretation for IEEE Std 3831974, 2005.

IEEE 1205-2000/Cor 1-2006, Guide for Assessing, Monitoring, and Mitigating Aging Effects on Class 1E Equipment Used in Nuclear Power Generating Stations - Corrigendum 1: Thermal Aging Model Corrections.

Fördjupningsmaterial

Kemikalieinspektionen (xx-04-2012) Kemiska ämnen i elektroniska komponenter PM3/12 www.kemikalieinspektionen.se

Amir Baranzahi (2007) Linköpings universitet Metoder och processer vid Elektronikproduktion TNE045 <http://staffwww.itn.liu.se/~amiba/Undervisning/Metoder%20och%20Processer/MOP-lecture-notes.pdf>

Chamber and Environmental Testing Basics [YouTube]. <https://www.youtube.com> (16-10-2015)

NCAB group, RELIABILITY, IPC & NCAB http://www.ncabgroup.com/wp-content/uploads/2015/06/13-NCAB_Group_Seminars_Reliability_IPC_and_NCAB_2_0.pdf

NYTILLVERKNING AV ANALOG STYRELEKTRONIK

Flera av de nordiska kärnkraftverken har fortfarande övervägande analog teknik i sina styr- och kontrollsysten. Många av systemen har varit i funktion sedan kraftverken byggdes, och i vissa fall är det svårt att hitta reservdelar och komponenter för att bygga om systemen.

I detta kandidatarbete har möjligheterna att nytillverka analog teknik från 60- och 70-talet undersökts. Studien visar att det finns företag som är specialiserade på nytillverkning. Den tekniska utvecklingen med automation har medfört att kvalitetsaspekterna är enklare att hantera och priserna på minneskapacitet är väsentligt lägre, vilket gör att det nu är både enklare och billigare att producera komponenter.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se



Energiforsk