



Foredrag til DIF's kursus i industriel elektronik efteråret 19662

Rasmussen, Jens; Timmermann, P.

Publication date:
1963

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Rasmussen, J., & Timmermann, P. (1963). *Foredrag til DIF's kursus i industriel elektronik: efteråret 19662*. Atomenergikommissionens Forsøgsanlæg Risø.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

ATOMENERGIKOMMISSIONEN

januar 1963.

ELEKTRONIKAFDELINGEN

FORSØGSANLÆG RISØ

Arbejdsrapport nr. 113.

Foredrag til DIF's kursus i
industriel elektronik, efteråret 1962.

Jens Rasmussen, P. Timmermann

sendt til:

Bibl.	2
DR1: P.Skjerk Christ4nsen	1
DR2: P.Z.Skanborg	1
DR3: Th. Friss-Sorensen	1
H : J. Lippert	1
Riggruppen: Aage Jensen	1
Tage Rasmussen, ATV	1
El	35

"Hvad kan man gøre for at opnå pålidelig drift af elektronisk udstyr i
industrien

v. civilingeniørerne Jens Rasmussen og P. Timmermann.

Indledning.

Den stadig stigende anvendelse af elektronisk udstyr til styring og regulering har gjort spørgsmålet om driftssikkerhed og pålidelighed aktuelt, og det er i mange tilfælde denne faktor, der har sat grænsen for en fortsat udvikling. Det er især i forbindelse med militære udstyr og i raket programmerne, at krav og problemer er formuleret, men de seneste års udvikling af regnemaskiner og større industrielle reguleringsudstyr har bragt problemerne ud til den civile teknik. Interessen for pålideligheds problemerne kan skyldes meget store sikkerhedskrav til virksomheden, hvilket driften af nukleare reaktorer og større petro-kemiske anlæg er udmærkede eksempler herpå.

I stigende grad arbejdes der imidlertid på at give en objektiv vurdering af udstyrets driftssikkerhed for at kunne optimalisere de forskellige faktorer, der har indflydelse på hyppigheden af driftsstop på grund af fejl i instrumenteringen.

Den følgende behandling af pålidelighedsproblemerne må ses på baggrund af vort arbejde med reaktorinstrumenteringer og forsøgsmåleudstyr, men ganske tilsvarende betragtninger kan anlægges på andre industrielle udstyr.

Tabel 1 giver en karakteristisk fordeling af fejlårsager i almindeligt elektronisk udstyr under formentligt typiske betingelser.

Vi skal ikke komme nærmere ind på en diskussion af disse tal, idet der ikke foreligger nærmere kriterier for klassificeringen. Det skal blot bemærkes, at kun en ringe del af fejlene skyldes alene Komponent og materialefejl, men at hovedparten skyldes forkert brug af apparater og

komponenter. Problemet skal altså angribes bredt og med hensyntagen til både kredsløbsmæssige og brugsmæssige faktorer.

Tabel 1.

Årsager til fejl i elektronisk udstyr.

Udarbejdet af Bell Telephone Com.

Electrical engineering

Circuit and component deficiencies	11%	
Inadequate component design	10%	
Circuit misapplication	12%	33%

Mechanical engineering

Design weakness	5%	
Unsatisfactory parts	5%	10%

Operation

Abnormal or accidental conditions	12%	
Manhandling	10%	
Faulty maintenance	8%	30%

Manufacturing

Faulty workmanship and inadequate inspection and control	18%	
Defective rawmaterials	2%	20%

Other

Worn out or old age	4%	
Causes not determined	3%	7%

Erfaringerne med større elektroniske anlæg viser, at fejlene ofte skyldes simple forhold, som konstruktøren eller brugeren blot ikke har været opmærksom på for fejlens indtræden. Man har tidligere kunnet leve med disse fejl og foretage en løbende korrektion under brugen, men den stigende kompleksitet og mere avancerede anvendelse kræver en systematisk vurdering af alle faser af udstyrets liv: konstruktion, fabrikation, drift og vedligeholdelse.

Formulering af pålidelighedsproblemet.

I pålidelighedslitteraturen defineres pålideligheden ofte kvalitativt ved evnen til at opfylde de tilsigtede funktioner gennem hele brugstiden og kvantitativt ved *sandsynligheden for at opnå en fejlfri drift i en given tid, når systemet anvendes på foreskreven måde til det formål, hvortil det er konstrueret.*

Denne definition bærer præg af at vore opstået i et militært miljø, hvor det gælder om at udføre en mission i en given tid uden mulighed for reparation. Definitionen er for snæver til vort formål, idet den ikke tager hensyn til industrielle driftsbetingelser, hvor de økonomiske konsekvenser af fejl i nok så høj grad er bestemt af varigheden af driftsstop på grund af fejl.

For at give en bredere formulering af problemet skal vi først definere nogle karakteristiske funktioner, som udstyrets forskellige dele kan tillægges.

Proces- og reguleringsfunktion. Disse funktioner tjener til at frembringe og opretholde en tilsigtet tilstand eller proces uafhængigt af *ventede og forudsete* ændringer i de parametre, der er afgørende for processens forløb. Funktionerne udføres af udstyr, der direkte indgår i processen og udstyr, der tjener til automatisk eller manuel kontrol, d.v.s. styre-, måle- og servoudstyr. Formelt indgår operatøren som del af dette udstyr. Komponent eller apparatfejl vil normalt medføre fejl i den ønskede tilstand, med mindre komponentfejlen er så ringe, at den kan modvirkes af det normale reguleringsudstyr.

En fejl i reguleringsfunktionen vil ikke nødvendigvis fremkalde en tilstand, der straks opdages. Fejlen kan bevirke, at processen reguleres ind på et andet niveau eller, at et ønsket indsvingningsforløb ændres på uacceptabel måde.

Hyppigheden af fejl i proces- og reguleringsfunktioner vil ofte være af mindre betydning end den sammenlagte tid, i hvilken disse fejl og deres afhjælpning giver anledning til forkert eller standset produktion. Derfor indbygges overvågningsfunktioner.

Overvågningsfunktion. For at sikre sig imod, at fejl i processen strækker sig over længere perioder, indføres ofte en overvågningsfunktion, der giver alarm til operatøren, når de fastsatte grænser for normal proces overskrides. Operatøren har da mulighed for at gribe ind og få rettet fejlen i proces- eller reguleringsudstyret. Overvågningsfunktionen tilsigter altså indgriben ved unormale og uventede situationer, mens reguleringsudstyret tjener til at korrigere ventede ændringer af indgangsparametrene.

Overvågningsfunktioner kan også forekomme i forbindelse med tilbagemelding om bestemte tilstande i udstyret, og disse tilbagemeldinger kan automatisk indgå i udstyret i form af et interlock system, der hindrer bestemte manuelle operationer, når betingelserne herfor ikke er opfyldt.

Fejl i dette udstyr kan give anledning til en *falsk alarm*, der i de fleste tilfælde er betydningsløs, idet operatoren kan afgøre, at den er falsk ved aflæsning af andre instrumenter. Farligere er fejl, der er anledning til, at en alarm ikke indtræder, når den skulle, således at en fejltilstand i processen kan opstå uden at blive meldt og derfor eksistere i længere tid. Denne fejltipe, der har overordentlig stor betydning for sikkerheden, vil blive nærmere omtalt nedenfor.

I forbindelse med interlock systemer må man være opmærksom på, at fejl i dette kan låse den manuelle betjening, således at normal betjening og indgriben ved fejl i andre dele af anlægget er umulig. Det må derfor altid overvejes, hvorledes et interlock system kan udkobles på sikker måde ved fejl.

Selv om falske alarmer ofte erkendes, og interlock systemer kan sættes ud af funktion, vil hyppige fejl i sådant udstyr give en almindelig mistillid, der kan indøve uheldige reaktioner hos operatoren, f. eks. at en alarm er "nok falsk", eller at et interlock system konstant er sat ud af funktion på visse steder, og driften således afhængig af operatorens sikkerhedsvurdering.

Sikkerhedsfunktion. I visse industrielle anlæg kan fejl give alvorlige skader på, anlæg eller personer, og man benytter derfor som beskyttelse overvågningsudstyr, der automatisk foretager drastiske indgreb i driften, når udvalgte parametre overskrider fastsatte grænser. I visse tilfælde skal en indgriben være hurtig for at afbøde virkningerne af en fejl i processen, og sikkerhedsudstyret skal i særligt kritiske anlæg virke på brøkdele af et sekund.

Da en falsk alarm en sikkerhedsfunktion automatisk påvirker driften, er det hensigtsmæssigt at dele fejl i sikkerhedsudstyr i to grupper, *sikre og usikre fejl*. Sikre fejl vil give et unødigt stop og således forøge fejlhyppigheden i selve processen. Usikre fejl vil forhindre et ønsket automatisk stop, når en farlig situation indtræder, og dermed give frit spillerum for de virkninger, man har villet sikre sig imod. Usikre fejl vil ifølge sagens natur først opdages ved et eftersyn af udstyret, og deres indflydelse på sikkerheden således være en funktion af både fejlhyppigheden og eftersynsfrekvensen. I stedet for eftersyn kunne man tænke sig udstyret forsynet med alarmer for usikre fejl, hvorved man opnår en hurtig opdagelse af fejlene; men i praksis flyttes problemet ofte over på et sådant fejløvervågnings-udstyr.

Konsekvenser af fejl.

En effektiv indsats for forbedring af driftssikkerheden må baseres på en vurdering af karakteren og det økonomiske omfang af de skader, der forårsages af fejl i anlægget. Den billigste løsning er ikke nødvendigvis at anvende udstyr med særlig stor driftssikkerhed, men måske at reducere omfanget af eventuelle skader ved brug af sikkerheds- og overvågningsudstyr eller at formindske reparations tiden.

I anlæg, hvor fejl giver skader, der ikke kan afhjælpes med sikkerhedsudstyr, er det væsentligt at nedsætte fejlhyppigheden. Hvis fejlen derimod ikke øjeblikkeligt fremkalder skader, men voksende tab på grund af kassable produkter eller driftsstop, er det væsentligt at opnå en lav samlet tid for fejltilstanden, d.v.s. hurtig fejldetektering i procesudstyr og pålideligt overvågningsudstyr. Endelig kan driftsstop udover en vis tid give tab (størkning af metal i en støbeprocess), eller igangsætningen efter stop kan forsinkes. Et eksempel herpå har man i kraftreaktorer, hvor enhver nedlukning fremkalder en stigende koncentration af xenon 135 på grund af særlige radioaktive henfaldsprocesser. Da xenon absorberer neutroner i udpræget grad, vil reaktoren blive forgiftet i løbet af ca. 30 min., og ny start kan først finde sted efter flere døgn. I sådanne tilfælde må man tilstræbe både hurtig fejldetektering og hurtig reparation.

I vurderingen må også indgå, at de sikre og usikre fejl til en vis grad er duale størrelser, og en naturlig stræben efter at reducere antallet af driftstop på grund af sikre fejl vil ofte formindske udstyrets sikkerhedsmæssige værdi. En optimalisering ud fra de økonomiske faktorer er derfor påkrævet på dette sted.

De økonomiske konsekvenser af fejl er således afhængig af både den proces, der instrumenteres, og den funktion, udstyret udfører. Selv om de nedennævnte funktioner er uadskillige i det virkelige udstyr, vil det være en fordel at gøre sig de principielle forskelle klar og, om muligt at adskille funktionerne fysisk. I reaktorinstrumenteringer gør man meget for at adskille funktionerne, og man søger endda for at benytte forskellige måleprincipper i sit udstyr, således at man har størst mulig sikkerhed imod, at det hele slås ud på grund af en overset principiel fejl i målemetoden,,

Fejlårsager.

I den følgende gennemgang af fejlårsager og muligheder for forbedring af driftssikkerheden vil det være hensigtsmæssigt at dele emnet i passende grupper:

Brugssikkerhed, hvor det elektroniske system opfylder de stillede specifikationer, men ikke er tilstrækkeligt tilpasset den givne proces eller det tilstedeværende personale, operatør og reparatør.

Systempålidelighed, hvor komponenter og apparater opfylder de ønskede specifikationer, men sammenkoblingen til et system ikke arbejder tilfredsstillende.

Apparat og komponentpålidelighed, hvor de mindste enheder giver anledning til fejl.

En væsentlig forudsætning for, at et udstyr kan fungere tilfredsstillende, og at man på forhånd kan vurdere konsekvenserne af fejl, er, at konstruktøren inden projekteringen har klarhed over, hvad brugeren ønsker og venter af udstyret. Det må derfor bygges på vel gennemarbejdede specifikationer.

Brugssikkerhed.

Et ikke ubetydeligt antal fejl opstår ved koblingen mellem menneske og elektronik. Ansvar for disse fejl ligger ikke alene hos brugeren, men også i planlægningen af det tekniske udstyr. En stor vanskelighed ved en effektiv planlægning er, at man ikke har nogen standarduddannelse af operatører og teknikere. Man må derfor allerede ved planlægningen af udstyret tage hensyn til de kvalifikationer, man vil kræve af driftspersonalet og veje udgifterne til personalet mod udgifterne til stærkt automatiseret udstyr. Forudsætter driften kvalificeret indgriben af driftspersonalet, kræves en funktion af udstyret, som operatøren direkte kan forstå, således at han kan bedømme, om det fungerer rigtigt. Enkle instrumenter med overskuelig funktion må foretrækkes frem for komplicerede principper. Vi vil senere komme ind på særlige fejldetekteringskredsløb, der forøger apparatpålideligheden, men som reagerer ulogisk og uvant ved indtrædende fejl.

En betingelse for at kunne foretage effektive indgreb under drift er, at der foreligger tilstrækkeligt skriftligt materiale om instrumenteringen både med specifikationer over udstyr og en beskrivelse af den sikkerheds- og pålidelighedsfilosofi, der er anvendt ved planlægningen af udstyret. Det er ofte således, at mange af de systemtekniske finesser, der er indført for at forøge den samlede pålidelighed, netop kan fejle, uden at systemets funktion ødelægges. En funktionsafprøvning af udstyret er derfor ikke tilstrækkelig til at sikre pålidelig drift. En grundig beskrivelse og afprøvningsforskrift er en nødvendighed.

En instrumenterings pålidelighedsfilosofi danner normalt et hele, og grundlaget kan nemt fjernes, hvis eventuelle udvidelser, ændringer og indgreb ikke planlægges med omhu efter samme pålidelighedsmæssige retningslinier. En simpel foranstaltning, der er nødvendig for, at dette kan overholdes, er, at der i alle tavler, klemrækker og kabelbakker er efterladt plads til udvidelser og ændringer.

Det er en almindelig erfaring, at overkvalificeret driftspersonale er tilbøjeligt til selv at foretage små indgreb, især for at opnå kortsigtede driftsfordele, og det er desværre for nemt i elektronisk udstyr at foretage tilsyneladende uskyldige rettelser, som har konsekvenser for pålideligheden af store dele af systemet. Selv om den dokumentation, der følger efter en beskeden ændring, tager væsentligt længere tid end selve ændringen, er den uundværlig.

Operatørfejl kan opstå enten ved den daglige normale drift eller i forbindelse med planlagte procedurer under unormal drift. De unormale hændelser kan være så sjældne, *at personalet ikke kan opretholde en passende træning*. Den samme fare er tilstede ved en gennemført automatisk drift, hvor manuel betjening kan udføres ved fejl i det automatiske udstyr. Det er derfor meget væsentligt, at betjeningspulte og indikeringstavler er grundigt gennemarbejdede med henblik på de operationer, der skal foretages fra pulten.

Ved operatørens plads bør kun de vigtigste instrumenter og betjeningsgreb findes. Betjeningsgrebene skal være hensigtsmæssige og af forskellig form for forskellige formål, indikatorer skal vise, om operatørens indgreb gennemføres korrekt, og skrivende instrumenter skal kun anbringes her, når der er brug for at følge en tendens i visningen. Reguleringsgreb skal på naturlig måde være tilpasset den menneskelige psyke og vaner. Således bør et betjeningsgreb for kontinuert regulering være lineært virkende mod stigende værdi, når grebet drejes højre om.

Fordelingen i pulten skal være klar og overskuelig med betjeningsgreb og tilhørende indikatorer anbragt sammen. Visere og skalaer på instrumenter skal være klare og overskuelige og ikke finere end krævet af aflæsenøjagtigheden. Et grafisk panel eller anden form af mærkning tjener til at lette overblikket. Instrumenter med fast udslag under normal drift bør have samme viserstilling f. eks. lodret, så oversigt kan fås ved et hurtigt blik. Alle kalibrerings- og justeringsknapper bør anbringes på steder, hvor kun reparatøren har adgang, og alle knapper bør forsynes med påskrift, som tjener til tilstrækkelig brugsanvisning.

En særlig omtale må gives de lamper, der ofte benyttes til at indikere anlæggets tilstand, således at operatøren hurtigt orienteres. Disse samles ofte i et fælles alarmfelt med en fælles klokke, der kan påkalde operatørens

opmærksomhed. Man savner her en rimelig standardisering, son, ville have og ikke uvæsentlig pålidelighedsmæssig værdi. Et forslag til et sådant felt ville være, at enhver ændring i tilstanden markeres med klokke og blinken i det pågældende felt. Når operatoren kvitterer for alarmer, afstilles klokken, og lampen skifter til fast lys. Herved kan man skelne nye alarmer fra dem, der uundgåeligt står gennem længere tid. Da alarmer kan forsvinde af sig selv, er det praktisk også at markere dette ved blinkende felt. Dette kan have anden farve eller anden blinkfrekvens end indikationer for indtrædende fejl.

I almindelighed vil det være mest overskueligt, at lamper kun er tændt ved unormal tilstand. Sikring mod defekte lamper sker derfor ofte mere hensigtsmæssigt ved dublering eller ved lampe prøve arrangement end ved at anvende rød - grøn Kombination.

Reparation. Reparationsarbejder er en væsentlig del af et udstyrs -drift. Undersøgelser af militære udstyr har vist, at reparationsomkostningerne kan beløbe sig til 10 til 100 gange udstyrets indkøbspris. Pålideligheden vil derfor være start afhængig af den kvalitet, hvormed et udstyr vedligeholdes. Den store fare er en langsom degenerering af kredsløb og sikkerhedskanaler. Udstyret må planlægges således, at fejlfinding, eftersyn og reparation kan udføres uden risiko for indførelse af nye fejl.

Det er vigtigt, at udstyret kan testes med mellemrum, og det er især nødvendigt at kontrollere overvågnings- og sikkerhedsfunktioner, da disse ikke indgår i den normale drift. Et test skal så vidt omfatte hele overvågningskanalen, og der kræves ofte et ekstra udstyr, da test må forudsættes at skulle foregå under drift. Hvor automatisk indgriben finder sted, kan det være nødvendigt at udkoble denne funktion under afprøvningen. De nødvendige kredsløb hertil bør være nøje planlagt, således at man undgår afmontering af kabler eller arretering af relæer. En almindelig procedure ved test af elektronisk udstyr er afmontering af kabler i umiddelbar nærhed af transduceren og indkobling af et testsignal. Dette kan give anledning til fejl på grund af manglende genindkobling af kablet og brud på kablet. Der må nat-u.r',-i6-vis stilles ekstra krav til testudstyr, og det red omhyggeligt undersøges, om der introduceres væsentlige fejlrisci.

Som tidligere nævnt stilles der i visse tilfælde krav til en hurtig fejlfinding, som kun kan opnås ved omhyggelige fejlfindingsforskrifter, klare oversigtsdiagrammer, blokskemaer, overskuelig montering i kabler og klemrækker samt en gennemført opmærkning og nummerering af alle kabler og tilslutningsklemmer.

Ved større udstyr kan let udskiftelige modulenheder lette både fejlfinding og udskiftning, og den egentlige reparation foretages uafhængigt af driften.

I forbindelse med den senere omtale af apparat pålidelighed vil forskellige forhold vedrørende reparation blive omtalt. Der kan imidlertid gives nogle almindelige retningslinier på dette sted. Man må fra starten gøre sig klart, at man ved reparation og afprøvning kan have brug for at udkoble større dele af udstyret, uden at den resterende del sættes ud af funktion. Det er derfor væsentligt at indbygge omkoblingsfaciliteter, således at man ikke fristes til at foretage uovervejede indgreb i systemet.

Med begrundelse i flere af de ovennævnte forhold skal man tilstræbe en opdeling af de 4 funktioner proces, regulering, overvågning og sikkerhedsfunktion, og hvor sikkerheden er afgørende, søge at føre denne adskillelse ud i sin yderste konsekvens. Man må være særlig opmærksom på de særlige farer ved krydsfelter og større klemrækker og på den gruppering, man får gennem spændingsforsyninger og sikringsarrangementer.

I forbindelse hermed er det vigtigt at overveje, ved hvilke fejl processen kan fortsættes, og planlægge udstyret således, at fejl i mere sekundære kredsløb kan repareres, uden at den primære proces må standses.

Systempålidelighed.

Arbejdet med planlægning af et større instrumenteringssystem består i at kombinere forskellige instrumenter og andre komponenter til en helhed, der kan udføre den specificerede opgave. En væsentlig forudsætning for, at udstyret kan fungere tilfredsstillende, d.v.s. være driftsikkert, er, at det inden projekteringen er gjort konstruktøren helt klart, hvad brugeren ønsker af udstyret. Arbejdet må derfor bygge på vel gennemarbejdede specifikationer, der hverken er for løse eller for stramme - i sidstnævnte tilfælde kan resultatet blive mere kompliceret og dermed ofte mindre driftsikkert udstyr end rimeligt.

Ved planlægningen af systemet må man kende de anvendte elementers specifikationer, dette er indlysende for egenskaber som følsomhed, forstærkning o.s.v., men lige så betydende er ofte kendskab til elementernes driftsikkerhed, ikke alene fejlfrekvensen, men også karakteren af de hyppigste fejl. Disse oplysninger er væsentlige ved bedømmelsen af, hvilken af de ofte mange mulige tekniske løsninger, der giver det mest tilfredsstillende system.

Som eksempel kan tages et hyppigt benyttet reguleringssystem. Signalet fra en feler forstærkes og registreres af en compensationsskriver (fig. 1). Fejlsignalet tages over armen på et ekstra potentiometer. Armen er forbundet mekanisk til skriverens visersystem, og referencen indstilles ved at flytte enten selve potentiometret eller armen i forhold til visersystemet.

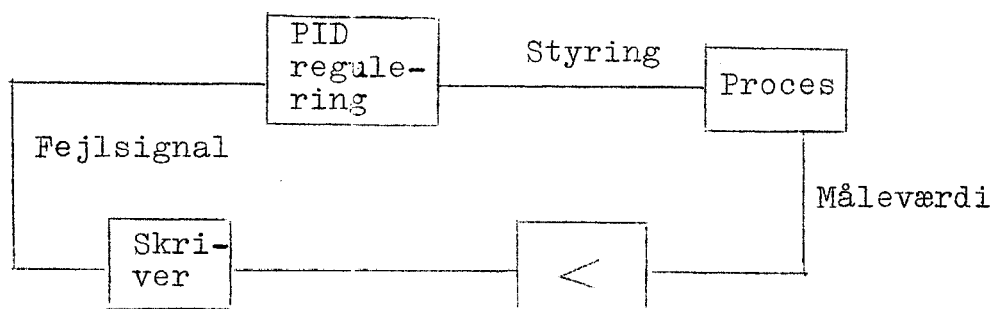


Fig. 1.

Normalt reguleringsystem med skriver.

I dette system er sandsynlige fejl ændringer i forstærkning i forstærker og skriver, og begge dele vil have direkte indflydelse på processen. Er der tale om en temperaturregulering, vil f. eks. et fald i forstærkning til halvdelen medføre, at regulatoren regulerer temperaturen ind på det dobbelte af det ønskede, og ydermere vil skriveren, der var tænkt som en overvågning af reguleringen, fortsat registrere normal temperatur.

En omplacering af komponenterne vil give gunstigere resultat:

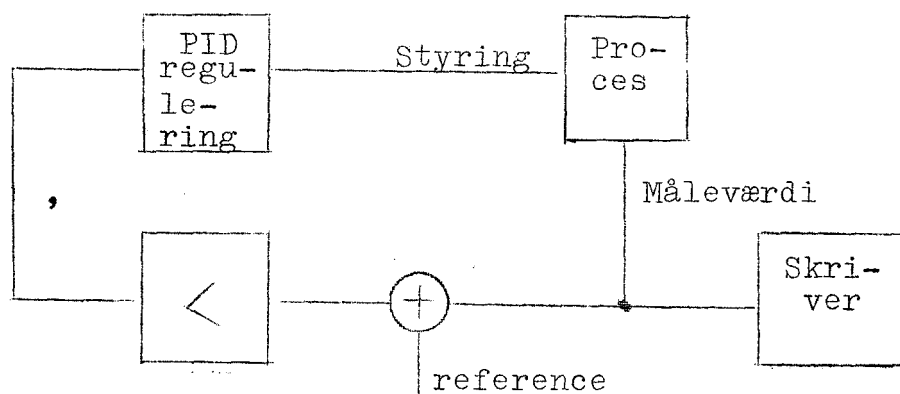


Fig. 2.

Modificering af reguleringsystemet i fig. 1.

I dette tilfælde vil en forstærkningsændring ikke medføre indregulering på væsentlig afvigende temperaturen men kun påvirke regulerings nøjagtigheden. Samtidig vil skriverens registrering være upåvirket af fejl i forstærkning.

Desværre er fejlenes hyppighed og karakter sjældent specificerede, og man er da henvist til at vurdere sit system på grundlag af oplysninger om fejlhyppighed og fejltyper fra egen driftserfaring eller offentliggjorte fejlstatistikker, der kan give værdifulde retningslinier.

Det må dog her bemærkes, at et større systems fejlhyppighed ikke fremkommer ved simpel addition af de indgående apparaters fejlhyppighed, men ofte vokser eksponentielt med udstyrets kompleksitet (f. eks. målt ved antallet af rør). Dette hænger bl.a. sammen med, at der stilles væsentligt mere detaljerede krav til apparategenskaber, eller det skyldes gensidig påvirkning, f.eks. overkobling af fejlsignaler.

Støjoverkobling ude fra kan også gribe ind i systemfunktionen, specielt da industrielle anlæg i almindelighed har en stor geografisk udbredelse. Samtidig forefindes kraftige støjkluder i form af motorer, elektro-ovne, som gør det vanskeligt at garantere fejlfri drift. De sædvanlige metoder med adskillelse af højimpedansede, laveffekts ledninger fra lavimpedansede, højeffekts kabler, mod skærmning og jording må normalt følges op af tidskrævende eksperimentelle undersøgelser, der kun garanterer fejlfri drift på undersøgelsestidspunktet.

Det er en fordel, hvis støjproblemer kan bekæmpes ved at gøre udstyret ufølsomt for støj, frem for at støjdempe de generende kilder, idet en løbende kontrol af afkoblingseffektivitet ligesom kontrol af nye maskiner er besværlig.

Lignende problemer opstår i forbindelse med forstyrrelser i netforsyning, hvor min ud over rene afbrydelser kan få transienter fra indkoblinger og viklingskoblere. Stabiliserede forsyninger er ingen garanti, med mindre de er tilstrækkeligt hurtige i reguleringen, I grelle tilfælde kan man overveje brug af batteriforsyninger, der samtidigt kan fungere som nødforsyning.

Redundans.

Ved passende dublering af apparater eller komponenter i serie- eller parallelforbindelse kan man opnå en forøget pålidelighed. Den mest hensigtsmæssige kobling afhænger af karakteren af den funktion, man ønsker at forbedre,. Dette kan lettest belyses ved et eksempel.

Vil man ikke stole på, at en relækontakt i en given situation åbner, f. eks. på grund af sammensvejsning, kan man nedsætte sandsynligheden for svigt radikalt ved at forbinde to kontakter i serie. Vil man sikre, at en kontaktslutning sker, selv om der sker fejl i relæspolen, kan man forbinde kontakter fra to relæer i parallel. Man vil se, at sikrer man sig mod den ene type fejl, indfører man samtidig dobbelt så stor sandsynlighed for fejl af den anden type.

Dette princip kan gennemføres på større dele af instrumenterings systemer og anvendes ofte i overvågnings- og sikkerhedsudstyr, hvor man stiller større krav til driftsikkerheden, end normale enheder kan opfylde. Et

eksempel er en temperaturovervågning, hvor man anvender to uafhængige målekanaler, og hvor man ønsker drastisk indgreb i driften, når temperaturen overstiger en vis grænse, hvorved et relæ i målekanalens udgang bryder. Forbinder man relækontakterne fra de to kanaler i serie, sikrer man sig mod alle de fejl i målekanalerne, der forhindrer relæet i en kanal i at falde, til gengæld øger man hyppigheden af indgreb i driften, der sker, fordi fejl i en kanal i utide forårsager relæfrafald. Man øger sikkerheden, men samtidig hermed øges antallet af driftsstop.

Forbindes relækontakterne i parallel, skal der være fejlagtigt relæfrafald i begge kanaler samtidigt, for man før uønsket driftsstop, men til gengæld kan fejl i en enkelt kanal blokere hele systemet.

Ved dette simple system øger man enten systemets sikkerhed eller sikkerheden mod driftsstop, men ikke begge dele samtidigt. Vil man opnå dette, må man benytte mere komplicerede systemer, f. eks. med 3 kanaler, hvor man kræver indgriben fra 2 samtidig, for drifter berøres. I dette tilfælde kan fejl i en enkelt kanal hverken fremkalde indgreb i driften eller blokere systemet og forbedrer derfor begge de ovenfor omtalte egenskaber. En stor fordel ved dette system er, at man kan reparere under drift uden at sætte beskyttelsen ud af funktion, når man kun rører en kanal ad gangen,

Hvor effektive systemerne er, afhænger af, hvor godt de anvendte målekanaler er adskilt og af den reparationspolitik, der benyttes. Detaljer vedrørende sådanne er behandlet i Risø Rapport nr. 34: Safety and Reliability of Reactor Instrumentation With Redundant Instrumentchannels.

Pålideligheden ved redundans kan forbedres, indtil sandsynligheden for samtidig fejl i flere kanaler og pålideligheden af det logiske kredsløb bliver af væsentlig betydning. Uafhængigheden mellem kanalerne må derfor om nødvendigt føres til bunds med helt adskilt kabelføring, selvstændige spændingsforsyninger eller, som det ofte anvendes ved reaktorinstrumenteringer med principielt forskellige målemetoder, f. eks. neutronflux og temperatur der giver større sikkerhed mod oversete årsager til fælles fejl.

Redundans i reguleringssystemer kan principielt udføres på tilsvarende måde, men ofte sker transmissionen på analog basis, hvilket kræver mere komplicerede sammenligningskredsløb. Da sådanne kredsløb er fælles for kanalerne, er deres pålidelighed afgørende for hele systemets pålidelighed, og disse strengere krav gør brugen af redundante analogsystemer problematisk i de almindeligste praktiske anvendelser.

Cifferudstyr.

Der er publiceret planer for regulering og automatisk kontrol på cifferbasis, altså ved brug af regnemaskinteknik. Herved kan komplicerede beregninger af de optimale procesbetingelser udføres, almindeligt forekommende fejlsituationer kan programmeres, og pålidelighedsproblemerne kan finde nye løsninger. Dels stiller cifferteknikken mindre krav til kredsløbstolerancer, dels kan cifferudstyr bringes til at teste sig selv og i visse tilfælde foretage fejlkorrektion. Systemets pålidelighed beror da på den analoge målekanal og analog til cifferomsætningen.

Apparat- og komponentpålidelighed

Ved et apparat forstås her en elektronisk enhed, der kan benyttes selvstændigt eller indgå i et større system, f. eks. en forstærker. En komponent vil normalt ikke uden ødelæggelse kunne opdeles i yderligere bestanddele.

Apparatfejl kan dels sættes i forbindelse med kredsløbs konstruktionen og dels mod fejl i selve de anvendte komponenter. Der vil dog i praksis være situationer, hvor det er vanskeligt at sondre mellem disse fejlsårsager.

Egenskaberne hos et apparat kan udvise en *gradvis ændring*, der på et vist tidspunkt kan give anledning til fejlfunktion af systemet. Disse ændringer skyldes gradvise ændringer af de komponenter, der indgår i apparatet, de kan skyldes slid på komponenterne, indtrængen af fugt, kemiske processer eller andre påvirkninger.

Et apparat kan også udvise et *pludseligt svigt*. Dette kan skyldes et pludseligt svigt af en komponent, men kan også fremkomme ved, at en gradvis ændring af en komponent har bragt kredsløbet til en grænse, hvor der indtræder et pludseligt spring i kredsløbsegenskaberne - f. eks. tændspænding for en neonstabilisator, svingningsgrænsen for en oscillator o.s.v.

Ved gradvis ændring af apparatfunktionerne vil brugeren ofte blive advaret om de forringede egenskaber, især hvis han har mulighed for en simpel test af den ønskede funktion. Han kan derfor ved justering eller udskiftning undgå fejl.

Pludselige svigt, der skyldes komponentsvigt, vil indtræde på tilfældige tidspunkter. De kan derfor ikke forhindres ved afprøvning eller udskiftning af komponenter. Svigter apparatet imidlertid på grund af langsomme komponentændringer, vil der være målelige ændringer af visse strømme og spændinger i kredsløbet, selv om den principielle egenskab er konstant. Forebyggende tests kan derfor udfores, men kræver normalt kvalificeret

personale, hvis ikke testet er planlagt af konstruktøren og de nødvendige hjælpemidler indbygget i apparatet.

Da man sjældent kan overse alle potentielle fejlmuligheder, må man tage mere generelle forholdsregler mod virkningerne af gradvise ændringer af komponenterne.

En betingelse for at konstruere et godt kredsløb er, at man kender egenskaberne hos de indgående komponenter, specielt de variationer, der kan opstå med tiden, ved fabrikationen og under forskellige omgivelsesforhold. Det er derfor formålstjenligt at anvende komponenter, der har demonstreret deres egenskaber ved tidligere anvendelser og kun basere sine kredsløb på egenskaber hos komponenterne, som er velspecificeret af fabrikanten, og som derfor er under kontrol under fabrikationen.

Tilsvarende er det hensigtsmæssigt at benytte kendte kredsløb, som har vist at kunne arbejde trods store komponentvariationer. Endvidere bør man anvende simple kredsløb og dimensionere konservativt. I det konkrete tilfælde bør de almindeligt kendte principper benyttes, f. eks. stabiliseres oscillatorkoblinger ved anvendelse af lavt Q , løs kobling og mekanisk stabil montering, i transistor-koblinger er temperaturkompensation væsentlig. Anvendelse af modkobling i vid forstand vil ofte kunne forbedre pålideligheden væsentligt, idet betydningen af variationer begrænses til et mindre antal komponenter, der da kan vælges med særlig stor omhu.

Ved anvendelse af oplysningerne om komponenternes variation kan man dimensionere sit kredsløb til at kunne tåle de ugunstigste variationer af samtlige komponenter samtidigt. Denne såkaldte grænsedimensionering vil ofte være uøkonomisk og kan, når komponenterne udtages tilfældigt inden for deres variationsområde, erstattes af en statistisk dimensionering, hvor man ikke kæver, at kredsløbet kan klare den lidet sandsynlige kombination af ugunstige komponentværdier. Hvor komponentvariationerne er indbyrdes afhængige (f. eks. ved temperaturvariation), er metoden ikke anvendelig.

Komponentfejl.

Pludselige svigt i komponenter må ofte føres tilbage til særlige forhold under fabrikationen og i de indgående grundmaterialer. Til enhver produktionsserie vil der derfor være knyttet en bestemt, konstant fejlfrekvens, der imidlertid ved passende brug kan formindskes inden for en vis grænse. Fejlfrekvensen er stigende med stigende arbejdsbelastning, afsat effekt og temperatur, og komponentens specifikationer er ofte et kompromis mellem størst mulig udnyttelsesgrad og en fejlfrekvens, der almindeligvis accepteres af kunden. Man kan derfor forøge pålideligheden

ved at foretage en "derating" afhængig af driftstemperaturen. En sådan derating er ofte angivet af fabrikanten.

Hyppigt vil forholdsregler mod pludselige svigt ogsoa forhale en eventuel gradvis mndring af komponentværdierne.

Er apparatet underkastet en rimelig vedligeholdelse, hvor udskiftning finder sted inden for store ændringer er indtruffet vil man sjældent konstatere, at en apparatgruppe har en udpræget fordeling omkring en bestemt levetid. Fejlene vil gennem apparatets levetid være tilfældigt fordelt, når bortses fra en kort initialperiode, hvor særligt dårlige komponenter og tilpasningsproblemer kan give en stærkt forøget fejlhyppighed.

I overvågningskredsløb og sikkerhedsudstyr er der ved konstruktionen grund til at tage hensyn til forholdet mellem sikre og usikre fejl, der ofte afgøres af, om den enkelte komponent kortslutter eller afbryder. Den ene fejltipe vil som regel indtræffe med langt større hyppighed end den anden, således regner man i relækredsløb en afbrydelse for almindeligst og benytter derfor hvilestrømskredsløb. På tilsvarende måde kan man ved reguleringssystemer sørge for, at, den fejltipe, der indtræder med størst hyppighed giver en fejlregulering med de mindst mulige konsekvenser.

Teoretisk formulering.

Når fejlhyppigheden kan regnes uafhængig af apparatets alder, behøves kun få parametre til en statistisk formulering. Med S fejl for tidsenhed vil ethvert lille tidsrum Δt have Samme sandsynlighed $s\Delta t$ for at indeholde fejl. Man må her sig, at reparationstiden er 0, eller at tidsaksen kun angiver den egentlige drifttid, således at reparationsperioderne er skåret ud af tidsaksen. Ved et simpelt ræsonnement kan man finde sandsynligheden P_0 for, at apparatet overlever i tiden t. Deles t i n intervaller af længden Δt , vil sandsynligheden for, at apparatet ikke fejler i et vilkårligt tidsinterval Δt , være $1 - s\Delta t$, forudsat at det er i live ved intervallets begyndelse. Heraf fås:

$$P_0 = (1 - s\Delta t)^n$$

der for $n \rightarrow \infty \Delta t \rightarrow 0$, medens $n * \Delta t = t$ konvergerer mod

$$P_0 \rightarrow e^{-st}$$

Sandsynligheden dp for at apparatet fejler første gang til tiden t, eller mere præcist mellem t og t + dt, er,

$$dp = e^{-st} s dt$$

idet e^{-st} svarer til P_0 og $s dt$ er sandsynligheden for fejl i dt uafhængigt af apparatets forhistorie.

Denne beskrivelse er velegnet ved vurdering af fejl, hvor netop hyppigheden af driftsstop eller sandsynligheden for at gennemføre en driftsperiode er afgørende for en økonomisk vurdering, f. eks. ved sikre fejl i sikkerhedsudstyret.

Ved bedømmelse af andre typer fejl er det som tidligere nævnt den brøkdel af tiden, hvori apparatet er uvirksomt, mere afgørende. Man kan f. eks. tænke sig, at usikre fejl først opdages i slutningen af en driftsperiode T . Sandsynligheden for at få en usikker fejl til tiden t er $e^{-ut}dt$ og da en fejl på dette tidspunkt giver en periode $T-t$ uden overvågning, bliver middeltiden τ pr. periode T ,

$$\tau = \int_0^T (T-t)e^{-ut}dt = T - \frac{1}{u}(1-e^{-uT})$$

og den søgte brøkdel af tiden uden beskyttelse

$$D = \frac{\tau}{T} = 1 - \frac{1}{uT}(1-e^{-uT}) \quad D = \mathbf{T} = \mathbf{1} \quad (\mathbf{1} - e^{-uT})$$

Kombineres m kanaler således, at mindst n skal give alarm, før indgreb foretages i driften, bliver de tilsvarende størrelser

$$P_0 = \sum_{x=0}^{m-1} \binom{m}{x} (1-e^{-st})^x (e^{-st})^{m-x}$$

og

$$D = \frac{1}{T} \int_0^T \binom{m}{m-n} (1-e^{-st})^{m-n} (e^{-st})^n (T-t)ndt$$

hvoraf systemegenskaberne kan beregnes.

Med kendskab til reparationsprocedurer kan virkningen på drift og sikkerhed fra reparationstiden og testtiden vurderes. For $n = 2$ kan reparation foretages uden indgreb i processen, og hvis reparation her iværksættes straks, kan systemegenskaberne forbedres væsentligt. Man vil normalt idealisere reparationstiden til en konstant tid, (når der benyttes moduludskiftning) eller en eksponentiel fordelt tid, svarende til fejlfinding og -retning på stedet. Fordelingen svarer til den i telefonteknikken benyttede fordeling af samtalelængder. Med kendskab til de nærmere detaljer for systemets drift under reparation kan egenskaberne vurderes. Nærmere om dette afsnit i Risø Rapport nr. 34.

Fejlstatistikker.

Det fremgår af de foregående betragtninger, at den pålidelighedsmæssige vurdering kræver et indgående kendskab til fejltal og vedligeholdelsesprocedurer for komponenter og apparater.

Disse oplysninger kan kun fås gennem en detaljeret registrering og bearbejdning af fejlrapporter fra hver enkelt reparation. En del større undersøgelser af fejl udføres bl.a. i U.S.A. i forbindelse med militære udstyr og raketforskningen. Der er publiceret flere værker med fejldata for de almindeligste komponenttyper, der som regel er specificeret efter gældende Mil-standards. Da komponentpålideligheden er afhængig af fabrikat og miljø, og da apparatfejl ofte kan føres tilbage til uhensigtsmæssige kredsløb og komponentanvendelser, vil sådanne fejltal være behæftet med stor usikkerhed og ikke være umiddelbart anvendelige i en konkret opgave. Tabel 2 giver en sammenligning mellem fejltal fra 4 undersøgelser. Komponenterne er, såvidt materialet tillader det, normeret til samme arbejdsbetingelser.

Tabel 2.

Fejldata fra forskellige kilder, Samme arbejdsbetingelser,

Enhed: fejl pr. 10^6 timer.

	Modstand	relæ	selen ensrettere
	(Mil-R-11)		
Arinc	2	140	37
Bell	0.018	1-5	0.21
RCA	0.17		
Vitro, navy	0.36		3

Det er almindeligt, at man ved sådanne sammenligninger finder forskelle på en faktor 100, fordi fejlkriterierne og miljøet er stærkt varierende. De laveste tal hidrører fra undersøgelser, der har udeladt kredsløbsbetonede fejl, og i de største tal er sådanne fejl medregnet. I en engelsk undersøgelse (ref. Dummer and Griffin: Electronic equipment reliability) er man nået frem til nogle gennemsnitstal, tabel 3. Det angives, at tallene skal forøges en faktor 10 i et barskt miljø og formindskes en faktor 10 i gunstige omgivelser, f. eks. i regnemaskinmiljø.

Tabel 3.

Fejlhyppighed for komponenter: Gennemsnitsværdier.

Enhed: Fejl pr. 10^6 timer.

Capacitors (all types)	1.0
Coils	1.0
Connectors	10.0
Crystals (quartz)	2.0
Diodes, crystal	1.0
Fuses and Circuit breakers	3.0
Gyros	50.0
Inductors	1.0
Lights (Indicator, etc.)	2.0
Magnetic amplifiers	5.0
Mechanical Assemblies (differentials, etc.)	5.0
Meters (Indicating instruments)	10.0
Networks (Pulse forming etc.)	15.0
Networks (Low Power)	5.0
Potentiometers (all types)	5.0
Printed circuit boards (each board)	1.0
Relays (all Types)	15.0
Resistors, fixed (all types)	2.0
Sockets, valve, crt, etc.	1.0
Switches	5.0
Thermostats	5.0
Transformers (Pulse and high voltage)	8.0

Tabel 3.

(fortsat).

Transformers (Power, etc.)	2.0
Transistors	1.0
Valves	
Double diodes	10.0
Double triodes	15.0
Pentodes	20.0
Triodes	10.0
Special purpose (Magnetrons etc.)	60.0
Vibrators	10.0

Disse oversigtstal kan give et overblik over den pålidelighed, man kan forvente i et planlagt udstyr og danne basis for en diskussion med brugeren om eventuelle særlige forholdsregler ved konstruktion og vedligeholdelse for at opfylde de krav, der stilles ved den påtænkte anvendelse.

Det kan ofte være ønskeligt at skaffe mere præcise tal for det udstyr, man planlægger eller arbejder med, således at man får overblik over, hvor man mest effektivt kan sætte ind med forbedringer, eller gennem udstyrets levetid kan kontrollere, at de driftsmæssige og sikkerhedsmæssige krav til stadighed opfyldes. Man ledes derfor til at undersøge, hvilke eksperimentelle muligheder der er til rådighed for bestemmelse af et udstyrs pålidelighed.

Hvis man som bruger råder over en større mængde elektronikudstyr eller som fabrikant udfører service på en væsentlig del af det producerede materiel og derved får tilbagemelding om fejl, kan en statistisk bearbejdning give oplysninger om udstyrets pålidelighedsmæssige egenskaber. Der kræves en rimelig stor mængde udstyr. Ønsker man f. eks. at teste en fejlfrekvens på 0.02 fejl pr. 10 timer for modstande, skal der over et der testes 5-10000 modstande.

Det kan være vanskeligt at konstatere, hvilken indflydelse en enkelt faktor har på fejlfrekvensen, fordi denne er bestemt af et stort antal parametre. Fejlene må først og fremmest sættes i relation til brugs tiden, der kan deles i en egentlig driftstid og en tid, i hvilken apparatet er uden spænding, men hvor ældningsfænomener alligevel kan gøre sig gældende. Endvidere kan antallet af tændinger have betydning. En nøjagtig måling med timetællere i hvert apparat stiller store administrative krav til aflæsning og

kan derfor kun gennemføres i særlige tilfælde. Driftstiden vil derfor ofte være en statistisk variabel.

Kriterier for tilfredsstillende funktion må opstilles for udstyret, hvad enten det sker i form af detaljerede, tekniske specifikationer, eller ved at brugerens krav benyttes. Findes mange brugere, vil man også her få statistiske variationer.

Antallet af fejl er meget afhængigt af vedligeholdelsespolitikken, især når fejlene skyldes kredsløbsmæssige forhold, hvor fejlkriteriet er en (mindre) overskridelse af de opstillede apparatspecifikationer. Sådanne fejl vil ofte være upåagtet af brugeren, som måske benytter apparatet i en mindre kritisk opstilling, og fejlene først opdages, når apparatet af andre grunde måles igennem. Hvis rutineeftersyn er planlagt, vil man få en opkobling af fejl ved disse. Hvis eftersyn kun foretages ved reparation, vil apparattyper med stor fejlfrekvens få registreret et yderligere større antal fejl. Katastrofefejl vil normalt opdages af brugeren, og fejlfrekvensen vil være lidet påvirket af eftersynsplanlægningen. Da der ved visse udstyr er planlagt marginal test eller an(ken brugers test, må disses relation til fejlfrekvensen også overvåges.

De ydre betingelser, hvorunder apparaterne arbejder, vil selvsagt have overordentlig stor indflydelse på fejlfrekvensen. En kontrol med omgivelser: temperatur, fugtighed, tryk, støv o.s.v., mod koblinger mellem apparatet og det større udstyr, det indgår i og med den betydning, operatoren har for driften, indgår også i overvejelserne over årsagerne til statistiske variationer i fejlmaterialet.

Fejlrapporterne må derfor indeholde en række supplerende oplysninger om de nærmere omstændigheder ved reparationen, og der stilles her krav til reparatørens omhu ved udfyldelsen af fejlsedler. Et ukomplet rapporteringssystem vil ofte være den største kilde til fejl i pålidelighedstallene.

Pålidelighedsprøver på komponenter.

Den omtalte registrering af fejl giver mulighed for konstatering af systematiske fejl, som kan afhjælpes ved modifikation af kredsløb eller komponenter. Samtidig kan man få en kontrol på, om udstyret, specielt sikkerhedsudstyr, langsomt degenererer enten gennem forkert brug eller utilstrækkelig vedligeholdelse.

Det er imidlertid af overordentlig stor betydning at supplere de tilgængelige komponentdata med oplysninger af pålidelighedsmæssig karakter. Dette gælder både karakteren af gradvise ændringer og

hyppigheden af pludselige svigt i de komponenttyper og fabrikater, man ønsker at anvende. Disse data er grundlaget for en pålidelig kredsløbskonstruktion og systemteknisk forbedring med hensyntagen til de faktorer, der er nævnt i det foregående.

Som bruger af komponenter er tilbundsgående pålidelighedsforsøg på laboratoriebasis sjældent en tilgængelig mulighed, idet det kræver både prøvningsudstyr og erfaring at tilrettelægge levetidsprøver, der på rette måde simulerer arbejdsmiljøet. Ofte kræver tidsfaktorerne i projektet, at der må benyttes accelererede tests, hvilket kræver et yderligere kendskab til prøvningsmetoder.

Hvor man ikke kan søge støtte i speciallaboratorier, er man derfor henvist til på et mere generelt plan, at vurdere fejlårsager i komponenterne, og ved valget af typer søge en komponentkonstruktion, der har gode teknologiske egenskaber.

Bibliografi

Den følgende litteraturliste er aftryk efter "Journal of the British I.R.E." April 1962, og indeholder referencer til artikler og bøger udgivet efter 1956.

Forkortelserne henviser till:

IRE Wescon Conv. Rec. = The Convention Record of the Wescon Convention of the Institute of Radio Engineers.

IRE Conv. Rec. = The Convention Record of the Institute of Radio Engineers (Am).

Trans I.R.E. RQC = Transactions of the Institute of Radio Engineers professional Group on Reliability and Quality Control.

A. Bibliographies

- A1. "N.E.L. Reliability Bibliography. 11 Compiled by W.L. Jorgensen, I.G. Carlson and C.G. Gros. U.S. Navy Electronics Laboratory, California. 343 Pp, 1956 (plus later Supplements).
- A2. "Reliability. A subject bibliography". Tibor Vineze. Air Force Institute of Technology. Wright-Fatterson Air Force Base, Ohio. Tech. Rep. 61-1, 60 pp, 1961. 514 references.
- A3. "A Survey of the Literature on Reliability". Marnelle Kinney. Autonetics, Downey, California., Report No. EM7335. 198 pp., 1961. 521 references.

B. General Survey, Observations and Proposals.

- B1. "Progress report on reliability prediction". V. Harris and M. Tall. Proc. 2nd N.S.R.Q.C., pp. 99-121, 1956.
- B2. "Numerical assessment of reliability". C.M. Ryerson. Proc. 2nd N.S.R.Q.C., pp. 122-32, 1956.
- B3. "Achieving operational effectiveness and reliability with unreliable components and equipment." W.F. Iuebbert, I.R.E. Conv. Rec., 4, Part 6, p. 419 1956.

- B4. "Reliability of Military electronic equipment." L.M. Clement. J. Brit. I.R.E., 16, pp. 488-95, September 1956.
- B5. "A summary of reliability literature." C.J. Moore. Proc. 3rd N.S.R.Q.C., pp. 291-331, 1957.
- B6. "Reliability of Military Electronic Equipment." ('IAGRÆ" Report U.S.A.). Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment, Office of the Assistant Secretary of Defense (Research and Engineering), 4th June 1957.
- B7. "A reliability handbook for guided missile electronics designers." F. E, Drete. I.R.E. Wescon Conv. Rec. Part 10, P. 79, 1957.
- B8. "A reliability program for research and development projects." E. F. Dertinger. I.R.E. Conv. Rec., 5. part 10, P. 37, 1957.
- B9. "Reliability - a practical program." M. Barov, I.R.E. Wescon Conv. Rec., 1, Part 10, pp. 68-78, 1957.
- B10. "Reliability prediction and test results on U.S.A.F. ground electronic equipment." J. J. Naresky. I.R.E. Conv. Rec., 6, Part 6, p. 165, 1958.
- B11. "Reliability and Longevity for space technology." A.R. Matthews. I.R.E. Conv. Rec., 6, Part 6, p. 123, 1958.
- B12. "Reliability of missile guidance systems-. the statistical Cliche versus reality." A. R. Gray. I.R.E. Conv. Rec. 6, Part 6, pp. 49--71, 1958.
- B13, "Basic reliability, considerations in electronics." M. P. Feyerherm. Proc. 5th N.S.R.Q.C., p. 119, 1959.
- B14. "Reliability management." M. M. Tall. Proc. 5th N.S.R.Q.C. P 137, 1959.
- B15. "Reliability through adequate specification." A. R. Park. Proc. 5th N.S.R.Q.C., p. 246, 1959.

- B16. "Methods of relating performance to reliability." A. C. Block. Proc. 5th N.S.R.Q.C., P. 389, 1959.
- B17. "Organizing dynamically for reliability." W. R. Kuzmin. Proc. 5th N.S.R.Q.C., p@ 348, January 1959.
- B18. "Electronic equipment reliability competition or the reliability game." R. F. Edwards. I.R.E. Conv. Rec. 7, Part 6, pp. 67-78, 1959.
- Blg. "An original reliability program for a development project." K. S. Packard. I.R.E. Conv. Rec., 7, Part 6, Pp. 51-58, 1959.
- B2o. "What price reliability?" J. J. Naresky and J. Klion I.R.E. Conv. Rec., 7, Part 6, pp. 89-103, 1959.
- B21. "Meeting AGREE reliability requirements for airborne TACAN equipment." A. L. Floyd and H. G. Romig. I.R.E. Wescon Conv. Rec., 7, Part 6, pp. 46-57, 1959.
- B22. "Electronic design-. reliability versus manufacturing cost." N. L. Kreuder. I.R.E. Wescon Conv. Rec., 7, Part 6, p.19, 1959.
- B23. "The reliability of electronic equipment." S. R. Bickerdike. Proc. Instn. Radio Engrs. Aust., 2o, Pp. 131-5, March 1959.
- B24. "The practical approach to the improvement of the reliability of electronic equipment." A. Jacoby. Prbc. Instn Radio Engrs. Aust., 2o, PP. 135-46, March 1959.
- B25. "Planning dynamic reliability." J. H. DeFrenne. Electronic Industries, 1E'), Pp. 74-8, May 1959.
- B26. "The problems of Reliability and maintenance in very large electronic systems for shipboard use." G.C.F. Whitaker. J.Brit. I.R.E., 1-9, pp. 625-46, October 1959.

- B27. "System reliability as a function of system age. Effect of intermittent component usage and periodic maintenance." B. J. Flehinger. J. Oper. Res. Soc. Amer. P.30, January 1960.
- B28. "Good specifications - key to reliability." E. Jones. Proc. 6 th N.S.R.C@.C., P. 31, January 1960.
- B29. "Integrated electro-mechanical design as applied to electronic equipment." D. L. Swale. British Commun. Electronics, 7, pp. 174-176, March 1960.
- B30. "The factors responsible for the deterioration of electronic equipment." J. M. Alameda. Rev. Cienc. Appli, 14, pp. 121-9. March-April 1960.
- B31. "Reliability of electronic equipment." H. J. Frundt. Elektrotech. Z. (1;T.Z.), 1, 81, No. 9, pp. 338-41, 25th April 1960. (In German.)
- B32. "Principles of evaluation and methods of analysis of the reliability of electronic components and equipment." K. Grzesiak. Przegl., d Telekomun. (Poland), go. 10, pp. 301-6, 1960. (In Polish).
- B33. "Some results of an early reliability program." R. E. Kuehn. I.R.E. Cor.v. Rec., 8, Part 6, pp. 90-3, 1960.
- B34. "Quality acceptance measures - ADL vs AQL." G. V. Herrold I.R.E. Conv. Rec., 8, Part 6, p. 134, 1960.
- B35. "The appraisal of operational reliability in electronic systems." R. Breuer, J. A. Lawrence and F. J. M. Laver. S.E.E.R., pp. 6-9, May 1960.
- B36. "Reliability of transmission equipment." C. E. Clinch. S.E.E.R., pp. 10-11, May 1960.
- B37. "Users' requirements and problems - electronic telephone exchanges." T. H. Flowers. S.E.E.R., pp. 11-12, May 1960.
- B38. "Reliability and the user of automatic data processing systems." J. W. Freebody and F. J. M. Laver. S.E.E.R. pp. 12-13, May 1960.

- B39. "Users' requirements and problems from the aspect of entertainment - particularly television." D. W. Heightman. S.E.E.R., pp. 13-15, May 1960.
- B40. "Reliability requirements of electronic equipment in civil aviation." J. Symonds. S.E.E.R., pp. 16-17, May 1960.
- B41. "The reliability of communication transmission systems." H. Williams. S.E.E.R., pp. 18-19, May 1960.
- B42. "The reliability :Attitude of mind in production." H. J. H. Wassell. S.E.E.R., Pp. 56-57, May 1960.
- B43. "Maximizing electronic reliability." M. Halio. J. Brit. I.R.E., pp. 121-8, February 1961.
- B44. "Reliability trade-off analysis." A. Sternberg and J. S. Youtcheff. I.R.E, Conv. Rec., 9, Part 6, P. 85, 1961.
- B45. "Does derating improve reliability?" W. O. Drane and H.L. Benjamin. I.R.E. Conv. Rec., 9, Part 6, p. 125, 1961.
- B46. "The significance of nuclear radiation for military computer reliability.' P. E. Brown and A. L. Long. I.R.E. Conv. Rec. 9, Paris 6, P. 115, 1961.
- B47. "The reliability c)f sequentially operated networks." G. H. Weiss and M. M. Kleinerman. I.R.E. Conv. Rec., 9, Part 6, p. 222, 1961.
- B48. "On the problem of reliability of high frequency apparatus." G. W. Denisow and N. M. Sedjakin. Nachrichtentechnik, 11, pp. 125-30, March 1961 , (In German.)
- B49. "The electronic component reliability center - an evaluation of the first year's operation." J. R. Funk. Trans. I.R.E., RQC-10, No. 1, pp 7-11, March 1961.

- B50. "The reliability of an experimental transistorized data handling system." V. J. Mc Mull-,in and P. Cox. J. Brit. I.R.E., 21@ pp. 17-29, July 1961.
- B51. "Reliability as a tool and objective.11 S. N. Greenberg and S. Zwerling. Industrial Quality Control, 18, p. 21, July 1961.
- B52. "Reliability and statistical control." W. B. Rice. Industrial Quality Control, 18, p. 10, August 1961.
- B53. "Reliability - whose responsibility?" H. Leslie Hoffman. Trans. I.R.E., RQC-10, No. 2, pp. 4-8, August 1961.
- B54. "Small subcontractors in reliability programs." D. C. Berman. Trans. I. R.E., RQC-10, No. 2, PP. 38-41, August 1961.
- B55. "The economics and reliability of multifunction devices." J. A. Davies and C. D. McCool. Trans. I.R.E., RQC-10, No. 2, pp@ 42-52, Augu3t 1961.
- B56. "What price reliability?" J. E. Hickey. Electronic Industries, 20, pp. 142-56, September 1961.
- B57. "Some aspects of s;3,tellite and space probe reliability." T. W. Gross and H. O. Werner. Trans. I.R.E., RQC-10, No. 3t pp. 7-14, Novem',Der 1961.

C. components.

- C1. "Increased reliability through d.c. overpotential testing of electronic components." V. Wouk. I.R.E. Conv. Rec.,5, Part 10, p. 59, 19'-)7.
- C2. "The contribution of the component engineer to electronic equipment reliability." R. W. Brown. I.R.E. Wescon Conv. Rec., 1, Part 10, pp. 86-91, 1957.
- C3. "Electronic parts reliability requirements and concepts." T. M. Child. Proc. 4th N.S.R.Q.C., P. 30, 1958.

- C4. "Analysis of system reliability from the standpoint of component usage and replacement." B. J. Flechinger. I.R.E. Conv. Rec., '17, Part 6, pp. 110-199 1959.
- C5. "Initial production reliability of devices." Ya. A. Rips. Avtomat. i TeleTnekh., 20, No. 6, pp. 813-22, 1959. (In Russian,) English translation in Automatic and Remote Control, 20, No. 6, pp. 788-97 (Publ. February 1960).
- C6. "Problems in long-term component reliability." K. E. Latimer. Trans. I.R.E. (Component Parts). CP-6, No. 2, pp. 62-81, June 1959.
- C7. "Statistical approach to reliability improvement of the tantalum capacitor-." N. P. Demos. I.R.E. Conv. Rec. 8, Part 6, p. 125, 1960.
- C8. "The reliability of components exhibiting cumulative damage effects." G. H. Weiss. I.R.E. Conv. Rec., 8, Part 6, pp. 107-14, 1960.
- C9. "The reliable application of component parts." H. L. Dudley. I.R.E. Conv. Rec. 8, Part 6, pp. 180-3, 1960.
- C10. "The inadequacy of present-day component specifications and ratings for large-scale computers." E. J. Williams. S.E.E.R., p. 17, May 1960.
- C11. "The need for component survival curves during guided weapon design." F. H. I Gamells. S.E.E.R., pp. 28-30, May 1960.
- C12. "Some of the facts of life about semiconductors." R. Brewer. S.E.E.R., pp. 41-2, May 1960.
- C13. "The value to users of life-test evidence on some CV 4000 series valves." B. Brewer. S.E.E.R., pp. 42-3, May 1960.
- C14. "Some causes of unreliability in film resistors." R. H. W. Burkett. S. E. E. R., P.P. 43-4, May 1960.
- C15. "Reliable contacts." A. Fairweather. S.E.E.R., pp. 45-67 May 1960.

- C16. "Reliable sub-miniature valves for use in guided missiles." F.M.Walker. S.E.E.R., p. 47, May 1960.
- C17. "Reliable relays." N. E. Hyde, S.E.E.R., pp. 47-8, May 1960.
- C18. "The choice of fixed resistors for high-reliability applications." P. H. Mead. S.E.E.R., pp. 51-2, May 1960.
- C19. "An examination of some resistor test data." C. H. Miller. S.E.E.R., PP. 52-39 May 1960.
- C20. "Reliability of components in post office equipment." li.A.New. S.E.E.R., pp. 53-6, May 1960.
- C21. "Procurement of electronic components for guided weapons." P. N. Griffin. S.E.E.R., p. 46, May 1960.
- C22. "Quality assured by C. V. semiconductor-device specifications." A. Lindell. S.E.E.R., pp. 48-51, May 1960.
- C23. "Electronic-type resistor reliability measurements study." B. F. Lathan, H. G. Hamre and R. M. Bergslien. Trans.I.R.E. (Instrumentation), 1-9, No. 1, pp. 4-12, June 1960.
- C24. "The Motorola "Golden M" tube reliability program." J. R. Belleville. Trans. I. R@ E., RQC-9, No. 2, pp. 34-7, September 1960.
- C25. "Reliability of electronic components. Technological means for increasing the reliability of components." K. H. J. Rottgardt. Nachrichtentech. Z. (N.T.Z.), 139 pp. 505-12, November 1960. (In German.).
- C26. "New autopay techniques for transistors and relays." C. B. Clark and E. F. Duffek. Trans. I.R.E., RQC-9, No. 39 pp. 20-2, December 1960.
- C27. "The electronic component reliability center - an evaluation of the first year's operation." J. R. Funk. Trans. I.R.E., RQC-10, No. 1, pp. 7-11, March 1961.

- C28. "Transistor reliability estimated with the Poisson distribution." C. H. Li. I.R.E. Conv. Rec., 9, Part 6, p. 119, 1961.
- C29. "Component reliability in post office equipment." A. A. New. P. O. Elect. Engrs. J., 54, Part 1, PP. 40-7, April 1961@
- C30. "Component and valve reliability in domestic radio and television receivers." D. W. Heightman. J. Brit. I.R.B., 219 pp. 401-7, May 1961.
- C31. "High reliability in guided missiles-. electronic components and techniques." N. B. Griffin. Proc. Instn. Elect. Engrs., 109, 1962. (To be published.) (International Conference on Components and Materials used in Electronic Engineering. I.E.E. Paper 3622, 5 pp. June 1961.).
- C32. "Electronic components for computers. Determination of failure rates." L. Knight. Electronic Technology, 38, PP. 214-6, June 1961.
- C33. "The reliability of components in satellites." G.W.A. Dummer. J. Brit. I.R.E., 21, pp. 457-63, December 1961

D. Design and Evaluation Techniques.

- D1. "Increasing electronic manufacturing reliability through automatic performance testing." L. E. M, Cube. Proc. 2nd N.S.R.Q.C., pp. 79-83, 1956.
- D2. "Circuit design for reliability." F. F. Offner and J. D. Hansen, Proc. N.E.C., 12, p. 919, 1956.
- D3. "Circuit design employing a digital computer to attain longest mean time to failure." J. Alman., P. Phipps and D. Wilson. I.R.E, Conv. Rec., 5, Part 4, pp. 115-8, 1957.
- D4. "Optimum design for reliability - the group redundancy approach." J. H. @li. Chinn. I.R.E. Wescon Conv. Rec., 2, Part 6, pp. 23-9, 'L958.

- D5. "Designing for re-Liability in electronic instrumentation." R. E. Fischbacher, J. Electronics & Controls, 5. No. 5, PP. 471-82, November 1958.
- D6. "Data collection and evaluation." D. W. Sharp. Proc. 5th N.S.R.Q.C., p, 146, 1959.
- D7. "Electronic circuit tolerances." K. S. Packard, M. Goldstein, N. Stone and J. Cavallari. I.R.E. Wescon Conv. Rec. 3, Part 69 PP. 38--45, 1959.
- D8. "High reliability statistically demonstrated." B. L. Weller. I.R.E. Conv. Rec., 7, Part 6, pp. 38-43, 1959.
- D9. "Synthesis of failure-indicating modules." D. H. Breslow. Proc. N.E.C., 15, pp. 64-5-55, 1959.
- D10. "Environmental tests for automotive electronic components." F. R. Khan. I.R.E. Conv. Rec., 8, Part 6, Pp. 138-46, 1960.
- D11. "Safety margins established by combined environmental tests increase Atlas missile component reliability." C. C. Campbell. I.R.E. Conv. Rec., 8, Part 6, pp. 60-5, 1960.
- D12. "Dry-circuit evaluation of mechanical connections." J. W. Kaufmann, H. R. Sittton, A. V. Balchaitis and W. R. Matthias. Electrical Manufacturing (U.S.A.), 65, No. 4, pp. 116-21, April 1960.
- D13. "Designing reliable electronic switching equipment." J. E. Flood and B. D. Simmons. S.E.E.R., pp. 26-7, May 1960.
- D14. "The design of reliable systems for submarine telephone cables." F. SCOWEN. S.E.E.R., pp. 32-3, May 1960.
- D15. "A Markovian model- for predicting the reliability of an electronic circuit; from data on component drift and failure." D.M. Brender and D. Tainiter. I.R.E. Conv. Rec., 9, Part 6, p. 230, 1961.

- D16. "A measure of reliability and information quality in redundant systems." S. A. Rosenthal, H. Jaffe and M. D. Katz. Trans. I.R.E., RQC-lo, No. 1, pp. 29-37, March 1961.
- D17. "Electronic components for computers. Determination of failure rates." T. Knight. Electronic Technology, 38, pp. 214-6, June 1961.
- D18. "Design by worst-case analysis: a systematic method to approach specified reliability requirements." W. D. Ashcraft and W. H. Chowald. Trans. I.R.E., RQC-lo, No. 3, pp. 15-21, November 1961.
- D19. "Built-in reliability." E. P. Laffie. Trans. I.R.E., RQC-lo, No. 3, pp. 28-35, November 1961.

E. Theoretical Principles and Procedures.

- E1. "Estimation of reliability growth in a complex system with a Poisson-type failure." H. K. Weiss. J. Oper. Res. Soc. Amer., 5, October 1956.
- E2. "Optimum component redundancy for maximum system reliability." R. Gordon. J. Oper. Res. Soc. Amer., 6, April 1957.
- E3. "Operational calculation of the reliability of (the functioning of) systems containing a large number of elements." G.V. Druzhinin. Avtomat. i Telemekh., 18, No. 77 pp. 678-80, 1957. (Russian).
- E4. "Notes on optimum component redundancy for maximum system reliability." J. T. Robacker. J. Oper. Res. Soc. Amer., 6, December 1957.
- E5. "Estimation of reliability functions." G. R. Hertz. Proc. 3rd N.S.R.Q.C., Paper 113-22, 1957.
- E6. "Reliability for parallel redundant systems." T. L. Burnett. Proc. 3rd N.S.R.Q.C., pp. 92-105, 1957.

- E7. "Reliability testing theory based on the Poisson distribution." C. M. Ryerson, Proc. 4th N.S.R.Q.C.2 P. 3@ 1958.
- E8. "An application of the box technique to -the evaluation of electrical components." R. H. Glaser. 'Proc. 4th N.S.R.Q.C., p. 161, 1958.
- E9. "The confidence th.a'u can be places in various reliability tests." C. M. Ryerson. I.R.E. Wescon Conv. Rec., 2, p. 149 1958.
- Elo. "Optiium design for reliability, the group redundancy approach." J. H. S. Chinn. I.R.E. Wesci:n Conv. Rec., 2, p. 23, 1958.
- Ell. "Source statistical concepts and techniques for reliability analysis and prediction." G. R. Herd. Proc. 5th N.S.R.Q.C. p.126, 1959.
- E12. "Two-parameter lifetime distributions for reliability studies of renewal processes." B. J. Flehinger and P. A. Lewis. I.B.M. J. Res. Develop., 3, No. 1, pp. 58-73, 1959.
- E13. "Numerical approach to electronic reliability." J. J. Naresky. Proc. Inst. Radio Engrs., 47, pp. 946-56, May 1959.
- E14. "Reliability of physical systems." H. Mine. Trans. I.R.E. (Circuit Theory). CT-6, Pp. 138-51, May 1959. (1959 International Symposium on Circuit and Information Theory).
- E15. "Some problems of the theoretical analysis of radioelectronic equipment reliability." B. R. Levin Radiotekhnika, 14, No. 6, pp. 52-62, June 1959. (In Russian).
- E16. "A Monte Carlo approach to evaluate mull-i-moded system reliability." K. M. Curtiss. J. Oper. Res. Soc. Amer., 8, December 1959.
- E17@ "Some topics in the theory of the reliability of radioelectronic equipment." B. R. Levin. R;idiotekhnika, 15, No. 2, pp. 67-74, February lg(-)o. (In Russian).

- E18. "Calculation of mean time of failure-free operation of apparatus." M. 1., Sinitisa. Radiotekhnika, 15, No. 3, PP. 58-66, March 1960. (In Russian).
- E19. "Bayesian approach to the reliability confidence relation for exponential failure." J. Oper. Res. Soc. Amer., 9, p. 72, September 1960.
- E20. "Generalized mathematical model for reliability studies of electronic equipment complexes." F. P. Randazzo and W. J. Stahl. I.R.E. Conv. Rec., 9, Part 6, p. 216, 1961.
- E21. "Reliability analysis of a one unit system." R. E. Barlow and L. C. Hunter. J. Oper. Res. Soc. Amer., 10, P. 200, March 1961.

F. System Aspects

- F1. Systems approach to electronic reliability. W. F. Luebbert. Proc. Inst. Radio Engrs., 44, pp. 523-8, April 1956.
- F2. "Some reliability aspects of systems design." F. Moskowitz and J. McLean. I.R.E. Conv. Rec., 4, Part 6, p. 50, 1956.
- F3. "Reliability prediction technique for use in the design of complex systems." H. E. Blanton, I.R.E. Conv. Rec., 5 Part 10, p. 68@ 1957.
- F4. "The systems approach to reliability." R. R. Carhart. Proc. 4th N.S.R.Q. C., pp. 149-55, 1958.
- F5. "Systems reliability measurement and analysis." R. R. Landers. Proc. 4th N.S.R.Q.C., P. 338, 1958.
- F6. "Reliability improvement through redundancy at various systems levels." B. J. Flehinger. I.R.E. Conv. Rec., 6 Part 6, pag. 137, 1958.
- F7. "Integrating reliability considerations into systems analysis." J. B. Heyne. I.R.E. Wescon Conv. Rec., 2, p. 30, 1958.

- F8. "Reliability prediction for complex systems." W. B. Rohn. Proc. 5th N.S.R.Q.C., P. 381, 1959.
- F9. "System efficiency and reliability." R. Barlow and L. Hunter. I.R.E. Conv. Rec., 7, Part 6, pp. 104-9, 1959.
- F10. "Operational reliability model for reconnaissance system. L. L. Philipson. I.R.E. Conv. Rec. 7, Part 6, pp. 79-88, 1959.
- F11. "System reliability. What it is and why. J. E. Toffl. Electronic Industries, 18, pp. 118-25, July 1959.
- F12. "Mathematical models for system reliability. I-II." R. E. Barlow and L. C. Hunter. Sylvanac Technol. 13, pp. 16-31, January; PP. 55-65, April 1960.
- F13. "The services' problem of station- a reliability requirement for a weapon system." F. G. Tarrant. S.E.E.R., pp. 15-6, May 1960.
- F14. "Factors influencing system reliability." R. Greer. S.E.E.R. pp. 27-8, May 1960.
- F15. "Problems of system design and manufacture - digital computers." J. M. M. Pinkerton. S.E.E.P., pp. 30-1, May 1960.
- F16. "Control-system subdivision to increase reliability." J. R. Pollard and R. Trueman. S.E.E.R., PP. 31-2, May 1960.
- F17. "A system reliability analysis." R. T. Loewe. Trans. I.R.E., RQC-9, No 2, pp. 6-10, September 1960.
- F18. "Availability - a system function." R. P. Bielka. Trans. I.R.E., RQC-9, No. 2, pp. 38-42, September 1960.
- F19. "Military system -reliability: Department of Defense contributions." J. Spiegel and E. M. Bennett. Trans. I.R.E.RQC-9, No. 3, pp. 1-8, December 1960.

- F2o. "Reliability of s@-stem components under stationary random perturbations." 1). W. C. Shen. I.R.E. Conv. Rec., 9, Part 6, p. 204, l@)61.

G. Analytical Methods.

- G1. "Analysis and theoretical investigations of new military electronic MiSSile,, - and aircraft-borne equipment." D. Ehrenpreis. I.R.I'J. Conv. R--c., 6, Part 8. pp. 66-73, 1958.
- G2. "The analysis of Redundancy networks." F. Moskowitz. Trans. Amer. Inst. Elect, Engres., 77, pp. 627-32, 1958. Commun. and Electronics, 110. 39, November 1958,
- G3. "A method of analy.@,,ing the operational reliability of radioelectronic equipment." N. M. Sedyakin. Radiotekhnika, 14, No. 1, pp. 70-77, 1959. (In Russian).
- G4. "Electronic systeris failure reporting." E. B. Gould and H.L. Anderson. Proc. 6th N.S.R.Q.C., p. 236, January 1960.
- G5. "Reliability analysis techniques." C. A.. Krohn. Proc. Inst. Radio Engres. 48, PP. 179-192, February 1960.
- G6. "The statistical inalysis of redundant systems." F. Moskowitz.. I.R.E. Conv. Rec., 8, Part 6, p. 78, 1960.
- G7. "A statistical me-thod for life prediction of telecommunication equipment." H. Stormer. Arch. Elekt. ubertragung, 149 No. 51 pp. 21'7-24, May 1960. (In German.)
- G8. "Collection of fault data on transmission equipment." C.E. Clinch. S.E.E.R., pp. 9-10, May 1960.
- G9. "Sampling plans for determining compliance with electronic parts reliability requi.rerients.11 I. B. Altman. Industrial Quality Control, - L6, p. 22, December 1960.

G10. "Are statistical life testing procedures robust?" National Bureau of Standards. Industrial Quality Control, 17, P. 5, February 1961.

H. Constructions and Maintenance Practices.

H1. "An analysis of the effects of maintenance on part replacements." R. L. Madison. Proc. 4th N.S.E..Q.C., p. 19, 1958.

H2. "The statistical dynamics of preventive replacements" D.M.Brender. I.R.E., Wescon Conv. Rec., 3, Part 6, p. 23, 1959.

H3. "The reliability of printed wiring-. (1) Some physical properties of copper clad laminates." J. J. Sparkes. (2) "The control of surface contamination due to processing." J. G. Bannochie. (3) "Radioactive tracer studies." R. W. Beattie. A.T.E. Journal, 15, No. 3, pp. 263-9; 269-72; 272-6, July 1959.

H4. "Investigation of printed circuit board soldered joints." R. H. Hronik, S. Ilevine, P. A. Thompson and W. M. Verbeck. I.R.E. Wescon Conf., Rec. 3, Part 6, PP. 77-85, 1959.

H5. "Printed circuit Reliability and flammability." D. W. Heightman. J. Brit. I.R.E., 20, pp. 281-2, April 1960.

H6. "Preventive maintenance in digital electronic equipment." R. Beaufoy. S.E.E.R., pp. 25-26, May 1960.

H7. "Prevention of unreliability due to accidental damage." J. Price. S.E.E.R., P. 32, May 1960.

H8. "The production aspects of the reliability of printed circuits." D. J. J. Davies, S.E.E.R., pp. 44-45, May 1960.

H9. "Utilization of reliability factors for prediction of spare parts requirement." J. Klion. I.R.E. Conv. Rec. 9, Part 69 p. 210, 1961.

I Specifications, Standards and Guides.

Note. "The "AGREE" Report (ref. no. B3) initiated many U.S. Government documents devised specifically to govern or influence The reliability of military electronic components and equipment. The following is a selection from those of most general interest And significance.

- II. "Navy Reliability Design Handbook." PB 121839 (and Supplements). U.S. Department of Commerce, Office of Technical Services, Washington 25, D.C., U.S.A.
 - I2. "Reliability and Longevity Requirements, Electronic Equipment. Genere.1 Specifications for"- MIL-R-26667A(USAF@., June 1969.
 - I3. "Reliability Requirements for Weapon Systems".- MIL-R-26674 (USAF), June 1959.
 - I4. "Parts Specification Management for Reliability", PSMR-1, Vols. 1 and 2, May 1960.
 - I5. "Sampling Procedure and Tables for Inspection by Attributes"MIL-STD-105B.
 - I6. "Administration of Sampling Procedures for Acceptance Inspection": Inspection Handbook, H105.
 - I7. "Sampling Procedure and Tables for Inspection by Variables for Per Cent Defective"-. MIL-STD-414, June 1957.
 - I8. Administration of Sampling Procedure and Tables for Inspection by Variables for Pe-.LI Cent Defective": Inspection Handbook Hlo6.
- (The above 7 publications are obtainable from- Superintendent of Documents, U.S. Govt. Printing Office, Washington 25, D.C., U.S.1'@.).

J. Books and Proceedings Published in Book Form.

- J1. "Reliability Concepts. Reliability of Guided Missile Elements." E. A. Bonney, M. J. Zucrow, (Dt al. (Van Nostrand, New York, 1956).
- J2. "Reliability Factors for Ground Electron:Lc Equipment." K. Henney (editor). (McGraw-Hill, New York 9 1956).
- J3. "A General Guide for Technical Reporting of Electronic Systems Reliability Measurements." (Proceedings of the RETMA Symposium on Applied Reliability, December 1956). (Engineering Publishers, New York, 1957).
- J4. "Electronic Reliability in Military Applications.- General Report No. 2.11 Aeronautical Radio Inc., Reliability Research Department, Washington 1957.
- J5. "Design for Space-Vehicle Control System Reliability." R. O. Anderson. Second National Convention on Military Electronics; Missiles and Electronics. Washington, June 1958. (Conference Proceedings, Institute of Radio Engineers Professional Group on Military Electronics, 1958).
- J6. "Transistor Technology." V 01. 3. Editor: F. J. Biondi. (D. Van Nostrand, New York, 1958.) (Chapter 11: Transistor Reliability, P. 376).
- J7. "Electronic Equipment Reliability." G. W. A. Dummer and N. Griffin. Pitman & Son, London 1960).
- J8. "Statistical Processes and Reliability Engineering." D. N. Chorafas. (D. Van Nostrand, New York, 1960).
- J9. "Reliability: Management, Methods and Mathematics." D. K. Lloyd and M. Lipow. (Prentice-Hall, New York, 1962).
- J10. "Reliability Theory and Practice." I. Bazovsky. (Prentice-Hall, New York, 1962.).
- J11. "Semiconductor Reliability." J. E. Shwoi and H. J. Sullivan. (Chapman & Hall, London, 1062).

- J12. "Reliability Principles and Practices." S.R. Calabro. (McGraw-Hill, New York, 1962.) 355 Pp.