

(19) DANMARK



(12) FREMLÆGGESESSKRIFT

(11) 163843 B

Patentdirektoratet
TAASTRUP

(21) Patentansøgning nr.: 2561/83

(22) Indleveringsdag: 06 jun 1983

(41) Alm. tilgængelig: 08 dec 1983

(44) Fremlagt: 06 apr 1992

(86) International ansøgning nr.: -

(30) Prioritet: 07 jun 1982 US 386136

(51) Int.Cl.5 G 05 B 17/02

G 05 B 23/02

// G 05 B 15/02

(71) Ansøger: *UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION; 1 Financial Plaza; Hartford; Connecticut 06101, US

(72) Opfinder: Adelard *Levesque Jr.; US, John Paul *Rembold; US

(74) Fuldmægtig: Patentbureauet Magnus Jensens Eftf.

(54) Fremgangsmåde og apparat til detektering af fejl i et styresystem

(56) Fremdragne publikationer

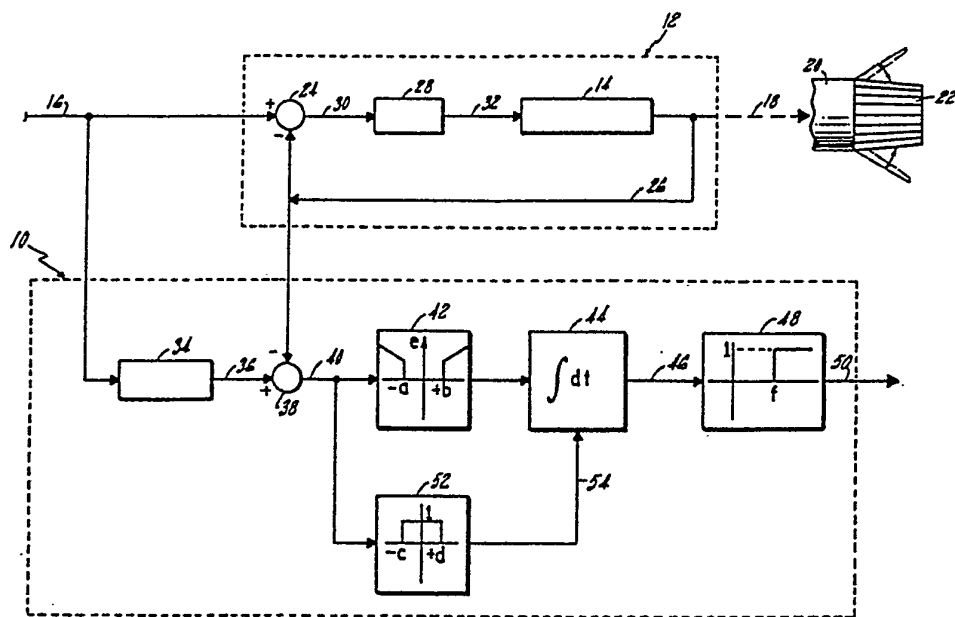
(57) Sammen drag

2561-83

Fejl i en enhed bestående af et styresystem (12) og et deraf styret aggregat (14) detekteres under anvendelse af en matematisk model (34), som kontinuerligt forudsiger aggregatets udgangssignal (26), idet fejlsignaler svarende til forskellen mellem modellens (34) udgangssignal (36) og aggregatets (14) udgangssignal (26) frembringes kontinuerligt. Fejlsignaler, der ligger uden for et forudbestemt skåneinterval $(-a, +b)$ integreres, men integralet (46) nulstilles hver gang fejlsignalerne ligger i et forudbestemt grænseinterval $(-c, +d)$ svarende til normal hviletilstand. Hvis integralets (46) værdi overstiger en forudbestemt værdi frembringes et alarmsignal (50). Der opnås sikker detektering af forholdsvis små fejl uden frembringelse af falske alarmsignaler, hvis den mindre fejl alene skyldes en kortvarig fejl eller usøjagtigheder i modellens (34) simulering.

DK 163843 B

fortsættes



Den foreliggende opfindelse angår en fremgangsmåde af den i krav 1's indledning angivne art til detektering af fejl i et styresystem samt et apparat til udøvelse af fremgangsmåden.

5 Til detektering af om et styresystem og det aggregat, som styres af systemet, arbejder korrekt, er det kendt at sammenligne udgangssignalet eller et tilbagekoblingssignal for aggregatet med udgangssignalet fra en matematisk model, der har samme indgangs- og udgangskaraktistikker
10 som den samlede, af styresystemet og aggregatet bestående enhed. Når afvigelsen eller fejlen mellem det aktuelle udgangssignal og modellens udgangssignal overstiger en forudbestemt værdi, frembringes et fejlsignal, som angiver en fejl eller mangel ved styresystemet og/eller aggregatet. Da
15 reaktionsforsinkelsen for aggregatet er kendt og indbygget i modellen, undgås falske fejlsignaler på grund af sådanne forsinkelser, selv om det umiddelbart kan være en stor afvigelse mellem det beordrede udgangssignal fra aggregatet og det faktiske øjeblikssignal.

20 En matematisk model kan sædvanligvis ikke nøjagtigt duplikere den nævnte samlede enheds karakteristikker, især ikke ved ændringer i modsætning til støt drift. Endvidere kan en model med fast konfiguration ikke tage højde for ændring af karakteristikker som følge af ældning i styresystemet og aggregatet, hvilket ligeledes tydeligst kommer til
25 udtryk under ændringer. En høj fejltærskel er derfor nødvendig for at undgå falske fejlsignaler som følge af unøjagtigheder i modellen. Jo mere komplekst styresystemet er, desto større vil modellens unøjagtigheder være under ændringer. Derfor skal også fejltærsklen være højere . Eller udtrykt på anden måde: jo simplere model, desto større vil den forventede afvigelse være mellem dens udgangssignal og det aktuelle udgangssignal (i hvert fald ved ændringer i styresystemet) selv om der ikke forekommer fejl. Derfor skal fejltærsklen være høj. En høj fejltærskel kan forlænge den tid,
35 det varer at detektere en sand fejl, fordi systemet skal ignorere større udgangsvariationer.

En yderligere ulempe ved nogle af de kendte fejl-detekterende systemer er, at store, uforudsigelige, men kun midlertidige udgangsafvigelser kan fremkalde et falskt fejlsignal.

5 Der kendes eksempelvis fra beskrivelserne til US patenterne 4.213.175 og 4.214.201 komplekse metoder til undgåelse af nogle af de i det foregående nævnte problemer ved brug af fejldetekteringssystemer, der kontinuerligt korri-
10 gerer modellen efterhånden som styresystemet og aggregatet ændrer driftskarakteristikker med tiden, såsom eksempelvis på grund af ældning af komponenter. Det er imidlertid ønskeligt at anvende den enklest mulige model og at undgå komplekse modelkorrektionsystemer og dog reducere muligheden for falske fejlsignaler med forøget systemfølsomhed for
15 fejl, der kun giver forholdsvis små afvigelser fra normale udgangsværdier.

Der kan henvises yderligere til beskrivelserne til US patenterne 3.221.230, 3.394.294, 3.446.946, 3.680.069, 3.902.051, 3.974.364 og 4.092.716.

20 Formålet med den foreliggende opfindelse er at anvise en fremgangsmåde af den omhandlede art, som gør det muligt under anvendelse af en forholdsvis simpel matematisk model af styresystemet at detektere små fejl uden at falske fejlsignaler frembringes på grund af store, men kun midlertidige forskelle mellem modellens og aggregatets udgangssignaler.
25

Dette opnås ifølge opfindelsen ved den i krav 1 anviste fremgangsmåde. Et apparat til udøvelse af fremgangsmåden er anvist i krav 4.

30 Udgangssignalet fra modellen sammenlignes altså til stadighed med det aktuelle udgangssignal fra aggregatet, og forskellen mellem de to signaler integreres over tiden, hvis denne forskel ligger uden for skåneintervallet. Når integralet, der således ikke påvirkes af forskelle, der regnes for normal opførsel og ikke for egentlige fejl i systemet, når en vis værdi afgives et alarmsignal. Endvidere
35 nulstilles integralet hver gang, forskellen ligger inden

for et forudbestemt grænseinterval, som er udtryk for almindelige hviletilstandstolerancer.

Da den matematiske model også simulerer forsinkelsen i aggregatets reaktion på styringen, giver sådanne forsinkelser kun anledning til små fejlsignaler, som ligger i skåneintervallet. På grund af integreringen af fejlsignalerne vil midlertidigt store fejlsignaler (som snarere kan være resultatet af unøjagtigheden i modelsimuleringen end af fejl i styresystemet) ikke med mindre de er usædvanligt store, umiddelbart udløse et fejlsignal; og virkningen af et stort fejlsignal vil blive annulleret af tilbagesstillingsredskabet, hvis udgangssignalet fra aggregatet hurtigt vender tilbage til sædvanlig hviledriftstilstand. Endvidere vil små fejlsignaler uden for intervallet blive tolereret i længere tid end store fejlsignaler, altså give styresystem og aggregat længere tid til at vende tilbage til normal drift uden at et alarmsignal udløses. Ved at intervallet gøres tilstrækkelig stort, kan der tages hensyn til normal komponentslitage over en periode, således at falske fejlsignaler som følge af dette ikke forekommer.

Opfindelsen skal i det følgende forklares nærmere i forbindelse med tegningen, der viser et blokdiagram for et styresystem og et apparat ifølge opfindelsen til detektering af fejl i dette eller et dermed forbundet aggregat.

Det på tegningen anskueliggjorte styresystem 12 har til opgave at indstille og korrigere positionen (dvs. udgangssignalet) fra en aktuator 14 (aggregatet) i overensstemmelse med et aktuatorpositionskrav i form af et styre- eller indgangssignal 16 til styresystemet. Aktuatorens 14 er ved hjælp af en punkteret streg antydnet som udgørende en del af et udstødningssystem 20 med variabelt gennemstrømningsareal, hvorhos bevægelse af aktuatoren 14 medfører, at dyseklappen 22 bevæges på en forudbestemt måde.

Styresignalet 12 arbejder kontinuerligt på følgende måde: Det aktuelle aktuatorstillingskrav 16 påtrykkes et sammenlignende eller summerende kredsløb 24 sammen med aktuatorens aktuelle position, der repræsenteres af et

stillingstilbagekoblingssignal 26. Fejl- eller forskelssignalet 30 fra det summerende kredsløb gives en ønsket forstærkning og påtrykkes aktuatoren 14, således at denne position kontinuerligt korrigeres.

5 Det ligeledes på tegningen viste apparat 10 til detektering af fejl i det viste styresystem 12 omfatter en matematisk model 34, som har indgangs-/udgangskaraktistikker, som simulerer styresystemets 12 indgangs/udgangskaraktistikker. Sådanne modeller er sædvanlig kendte. Modellen 10 34 modtager samme indgangssignal udtrykkende aktuarpositionskravet, som styresystemet, og afgiver et udgangssignal 36, der er en forudsigelse af aktuatorens 14 aktuelle position. En simpel model kan frembringe meget nøjagtige forudsigelser under hviledrift, og sædvanligvis mindre nøjagtige forudsigelser ved ændringer. Hviledrift indebærer, 15 at positionskravet 16 ikke ændres med tiden. Ved hjælp af mere komplekse modeller kan opnås forbedret nøjagtighed af forudsigelser ved ændringer.

20 Den forudsagte position 36 og det tilbagekoblede positionssignal 26 påtrykkes et summerende kredsløb 38, som beregner forskellen mellem de to signaler og frembringer et fejlsignal 40, som er et udtryk af denne forskel. Fejlsignalet 40 påtrykkes et kredsløb 42 med et skåneinterval mellem værdier $-a$ og $+b$. De fejlsignaler, som ligger uden for skåneintervallet, konverteres i kredsløbet 42 til fejl- 25 niveauer e , som påtrykkes en integrator 44. Integratoren 44 integrerer fejlniveauene e over tiden og et signal 46, der angiver den øjeblikkelige værdi af integralet påtrykkes et kredsløb 48. Dette kredsløb 48 afgiver et fejlsignal 50, 30 når integralet når en forudbestemt træskelværdi f .

Fejlsignalet 40 fra det summerende kredsløb 38 påtrykkes også et tilbagestillende kredsløb 52, som afgør, om fejl- 35 signalet 40 ligger i eller uden for et forudbestemt interval med grænseværdier $-c$ og $+d$. Hver gang fejlsignalet 40 ligger i det nævnte interval afgiver kredsløbet 52 et signal til integratoren 44, som nulstilles. Grænseværdierne $-c$ og $+d$ udtrykker grænserne for normal hviledrift og er

foretrukket vide nok til at tage højde for voksende fejlsignalværdier som følge af forventet apparaturslid i løbet af en bestemt tidsperiode. Generelt forekommer væsentlige unøjagtigheder i den matematiske models forudsigelser kun ved ændringer i styresystemet, da selv forholdsvis simple modeller kan simulere hviledrift meget nøjagtigt. Da tilbagestillingskredsløbet 52 kun tager hensyn til hviledrift, er det i det væsentlige uafhængigt af, hvor nøjagtigt modellen er ved ændringer i styresystemet. På den anden side påvirkes kredsløbet 42 af, hvor godt modellen simulerer styrekredsløbets egenskaber ved ændringer, fordi disse ubøjagtigheder overføres til integratoren 44. I kendte systemer søger man at tage højde for disse unøjagtigheder ved at hæve fejltærskelniveauet for at undgå falske fejlsignaler. Som følge heraf er kendte systemer ikke følsomme over for sande afvigelser, når disse er små.

Det anviste apparat tillader brug af forholdsvis enkle modeller med forholdsvis store unøjagtigheder i simuleringen af ændringer, men uden at følsomheden over for små, men sande fejlsignaler bliver for lille. Skåneintervallet kan eksempelvis være det samme som grænseintervallet af hviledrift. I dette tilfælde vil enhver fejlsignalværdi uden for det snævre grænseinterval blive integreret, men ikke umiddelbart udløse fejlsignalet 50. Hvis fejlsignalværdien skyldes en unøjagtighed i modellens forudsigelse under overgang i styresystemet (altså ikke en sand fejl) vil tilbagestillingskredsløbet 52, så snart styresystemet vender tilbage til hviledrift nulstille integralet, således at et falsk fejlsignal 50 undgås. Hvis fejlsignalværdien derimod skyldes en sand fejl i styresystemet, er sandsynligheden for at værdien vender tilbage til grænseintervallet meget lille, og integrationen vil fortsætte, indtil fejlsignalet 50 frembringes. Integrationen bevirker, at små fejl uden for skåneintervallet skal være længere end større fejl, inden fejlsignalet 50 frembringes. Dette er fordelagtigt, fordi små fejlniveauer uden for skåneintervallet mindre sandsynligt er resultatet af fejl i styresy-

stemet 12 og selv da vil kunne tolereres længere end store fejlniveauer. Ved små fejlniveauer gives systemet længere tid til selv at nå normal hviledrift, inden et fejlsignal 50 eventuelt frembringes.

5 Det kan naturligvis være ønskeligt eller nødvendigt at skåneintervallet er bredere end grænseintervallet for hviledrift, hvis modelsimuleringsunøjagtighederne ved ændringer er for store. Det bredere skåneinterval vil dog stadig have grænseværdier, som er mindre end kendte systemers
10 fejltærskel under anvendelse af modeller med tilsvarende nøjagtighed.

15

20

25

30

35

P A T E N T K R A V

1. Fremgangsmåde til detektering af fejl i en enhed bestående af et styresystem og et af styresystemet styret aggregat under anvendelse af en model, hvis indgangs- og udgangskaraktistikker simulerer indgangs- og udgangskaraktistikkerne for den nævnte enhed, hvorhos enheden og modellen påtrykkes samme indgangssignal, nemlig det ønskede udgangssignal for aggregatet, idet aggregatets aktuelle udgangssignal kontinuerligt sammenlignes med indgangssignalet, og aggregatet påvirkes således af styresystemet, at forskelle mellem disse signaler elimineres, og hvor modellens udgangssignal kontinuerligt sammenlignes med aggregatets aktuelle udgangssignal til dannelse af fejlsignaler svarende til forskellen mellem de sammenlignende signaler, k e n d e t e g n e t ved, at man over tiden integrerer absolutværdierne af sådanne fejlsignaler, som ligger uden for et forudbestemt skåneinterval med grænserne $-a$ og $+b$, at man frembringer et alarmsignal, når integralet af de nævnte fejlsignaler overstiger en forudbestemt værdi, og at man tilbagestillter integralet til nul hver gang, værdien af fejlsignalet ligger inden for et forudbestemt grænseinterval, hvis grænser $-c$ og $+d$ er sammenfaldende med eller ligger inden for skåneintervallets grænser $-a$ og $+b$.

2. Fremgangsmåde ifølge krav 1, k e n d e t e g n e t ved, at det forudbestemte grænseintervalls grænser $-c$ og $+d$ er grænseværdierne for normale tolerancer under stabil drift.

3. Fremgangsmåde ifølge krav 1 eller 2, k e n d e t e g n e t ved, at den kontinuerlige sammenligning mellem udgangssignalet for aggregatet og enhedens indgangssignal, og påvirkningen af aggregatet til eliminering af enhver forskel mellem disse signaler udføres af styresystemet.

4. Apparat til udøvelse af fremgangsmåden ifølge krav 1-3 ved detektering af fejl i en enhed bestående af et styresystem (12) og et af styresystemet styret aggregat (14,20) under anvendelse af en model (34), hvis indgangs- og udgangskaraktistikker simulerer indgangs- og udgangskaraktistikkerne for den nævnte enhed (12,14), hvorhos enheden (12) og modellen (34) påtrykkes samme indgangssignal (16), nemlig det ønskede udgangssignal for aggregatet, idet aggregatets (14) aktuelle

udgangssignal (26) kontinuerligt sammenlignes med indgangssignalet (16) og aggregatet påvirkes således af styresystemet (12), at forskellen mellem disse signaler (26,16) elimineres, og hvor modellens (34) udgangssignal (36) kontinuerligt sammenlignes med aggregatets (14) aktuelle udgangssignal (26) til dannelsen af fejlsignaler (40) svarende til forskellen mellem de sammenlignende signaler (36,26), k e n d e t e g n e t ved at omfatte et kredsløb (42), der påtrykkes de nævnte fejlsignaler (40) og kun lader sådanne fejlsignaler passere, som ligger uden for et skåneinterval med grænserne $-a$ og $+b$, en integrator (44), som påtrykkes de kredsløbet (42) passerende fejlsignaler og integrerer disse over tiden, et kredsløb (48), som påtrykkes de integrerede fejlsignaler (46) og afgiver et alarm-signal (50), når integralet (46) overstiger en forudbestemt værdi samt et tilbagestillende kredsløb (52), der påtrykkes de nævnte fejlsignaler (40) og som til integratoren (44) afgiver et denne nulstillende signal (54), når de nævnte fejlsignaler (40) ligger i et grænseinterval med grænserne $-c$ og $+d$, hvorhos grænseintervallet er sammenfaldende med eller ligger i skåneintervallet.

