



NORGE

(12) **UTLEGNINGSSKRIFT**

(19) **NO**

(11) **169802**

(13) **B**

(51) **Int Cl⁵ G 06 K 9/00, G 05 B 13/02**

Styret for det industrielle rettsvern

(21) Søknadsnr	851356	(86) Int. inng. dag og	
(22) Inng. dag	02.04.85	søknadsnummer	
(24) Løpedag	02.04.85	(85) Videreføringsdag	
(41) Alm. tilgj.	03.10.86	(30) Prioritet	Ingen
(44) Utlegningsdato	27.04.92		

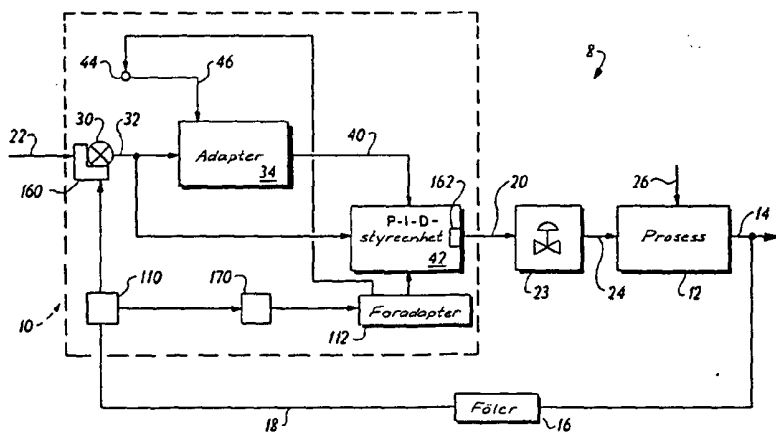
(71) Patentsøker	The Foxboro Company, 38 Neponset Avenue, Foxboro, MA 02035, US
(72) Oppfinner	Thomas W. Kraus, Foxboro, MA, US
(74) Fullmektig	Tandbergs Patentkontor AS, Oslo

(54) **Benevnelse** **Mønster-gjenkjennende, selvavstemmende regulatorinnretning**

(56) **Anførte publikasjoner** Control Engineering, juni 1984, T.W Kraus og T.J. Myron, Self-Tuning PID Controller Uses Pattern Recognition Approach, p. 106-111.

(57) Sammen drag

En mønster-gjenkjennende, selvavstemmende styreenhet er tilveiebrakt for styring av en prosess (12) i hvilken målte egenskaper innbefattet minst én topp av et feilsignal (32) som utledes ut fra de forskjeller som opptrer over tid mellom verdiene av en prosessstyrt variabel (14) og et ønsket settpunktnivå (22) for denne variable, benyttes for identifisering av feilsignalets (32) oppførselsmønster, slik at en driftsparameter for styreenheten (42) kan endres slik det er nødvendig for å minimere prosess-gjenopprettestid hver gang prosessen (12) forstyrres vesentlig eller det foretas en plutselig endring av settpunktnivået (22) ved et senere tidspunkt. Den foretrukne utførelse av innretningen er i form av en proporsjonal-integral-derivat- eller PID-styreenhet (42) i hvilken PID-koeffisientene beregnes i overensstemmelse med foreskrevne relasjoner som er basert på dempnings-, oversving- og tidsperiode-egenskaper til feilsignalet. Det er også sørget for foranstaltninger for innbygging av en brukerspesifisert støyterskel for i vesentlig grad å redusere muligheten for å detektere en støytopp som en sann topp av feilsignalet. Det er også innebygget en førtilpasningsmodus (112) i hvilken styreenheten (42) automatisk bestemmer de innledende verdier av PID-koeffisientene, støyterskelen og den tilnærmede tidsmålestokk for prosessen (12), før direktekoplet, adaptiv styring av prosessen overlates til styreenheten (42).



Oppfinnelsen angår generelt adaptive regulatorer for styring av en prosess, og mer spesielt en selvavstemmende regulator av den mønstergjenkjennende type, i hvilken regulator driftsparametere endres automatisk etter behov som reaksjon på forskjeller som opptrer mellom de virkelige og ønskede tilstander av prosessen, slik at regulatoroppførsel i det vesentlige svarer til prosessdynamikk.

I en typisk styre- eller reguleringssløyfe er en regulator koplet til en prosess, og en prosess-styrt variabel, såsom temperatur, strømning eller nivå, måles og tilbakekoples som et signal til regulatoren som sammenlikner dette signal med en ønsket verdi som er kjent som settpunktet eller referanseverdien (engelsk: set point). Forskjellige regulatorelementer reagerer på feilsignalet for å generere et styresignal for regulering av prosessen slik at den prosesstyrte variable opprettholdes på den ønskede verdi. Slik man kan forstå, er det fordelaktig å få regulatoroppførselen i hovedsaken til å svare til dynamikken av en prosess, slik at hele styre- eller reguleringssløyfen kan opprettholdes i sin optimale tilstand, særlig etter at prosessen er blitt forstyrret eller en plutselig endring er blitt foretatt på referanseverdien.

En mønstergjenkjennende, selvavstemmende regulator innstiller eller justerer automatisk regulator-driftsparametere, slik at regulatoroppførselen endres etter behov for å opprettholde reguleringssløyfen i sin optimale tilstand. Man må være klar over at mønstergjenkjennelse er en kjent teknikk som benyttes for manuell avstemning av driftsparametrene for en regulator. Som et typisk eksempel blir reguleringssystemet som arbeider i en stabil eller stasjonær modus, forstyrret, og reaksjonens eller responsens mønster observeres. En menneskelig operatør sammenlikner dette mønster med et ønsket mønster og modifierer regulatorinnstillingene slik at to mønstre i hovedsaken passer sammen. Avstemning kan således være tidkrevende og kostbart dersom mange prøve-og-feile-forsøk forekommer før den nødvendige erfaring og/eller kjennskap til prosessen oppnås for innstilling av regulatorens driftsparametere.

Da dessuten regulatorinnstillinger gjelder for et spesielt sett og område av driftstilstander, vil manuell gjen-

avstemning være nødvendig for å kompensere for endringer i driftstilstandene som kan være resultatet av sådanne hendelser som referanseverdireguleringer, prosessbelastningsforstyrrelser, eller aldring, slitasje og korrosjon av reguleringsystemutstyr.

5 Forskjellige forsøk er blitt gjort med begrenset hell for å tilveiebringe en adaptiv regulator som eliminerer behovet for, men dupliserer den manuelle avstemningsprosess som benyttes av en dyktig menneskelig operatør.

For mange anvendelser er de likninger som beskriver
10 reguleringsløyffens dynamiske oppførsel, meget komplekse, slik at det er meget vanskelig å bestemme analytisk hvilke driftsparametere som må benyttes for oppnåelse av det ønskede, ideelle mønster. Som et resultat er analytiske løsninger ofte basert på forenkende antagelser som reduserer området av driftstilstander
15 eller antallet av prosessanvendelser som kan styres uten menneskelig innblanding.

I US-patentskrift 3 798 426 (E.H. Bristol) er det vist en mønstervurderende, adaptiv regulator som er i stand til å avstemmes uten noen menneskelig operatør. Slik som beskrevet i
20 patentskriftet, når den prosess som styres, kommer seg av en forstyrrelse, såsom en lokal forstyrrelse eller en endring i referanseverdi, undersøker regulatoren som er fremstilt i overensstemmelse med læren ifølge Bristol, den innledende gjenopprettelsesoppførsel av den prosessstyrte variable og
25 beregner forskjellige vurderingstidsintervaller. Avvikelser av den prosessstyrte variable fra dens ønskede verdi integreres fortrinnsvis over hvert av vurderingsintervallene og kombineres for å frembringe en integrert feil. Basert på størrelsen av den integrerte feil endres regulatorens driftsparametere etter behov
30 for å sikre optimal reguleringsvirksomhet når prosessen forstyrres neste gang.

Sammenhengen mellom den innledende gjenopprettelsesoppførsel og størrelsen av de tilhørende vurderingsintervaller forblir imidlertid ikke alltid konstant for alle driftssituasjoner. Selv om den av Bristol angitte regulator er egnet for
35 styring av en komplisert, ikke-lineær prosess, eksisterer det begrensninger av det antall situasjoner som kan håndteres før det blir nødvendig for en menneskelig operatør å endre de kriterier som benyttes for bestemmelse av vurderingsintervallene.

Det er således et formål med oppfinnelsen å tilveiebringe en forbedret, adaptiv regulator som er egnet for et vidt område av driftstilstander og/eller driftsanvendelser. Videre er det et formål å tilveiebringe en sådan regulator som minimerer eller eliminerer tjenestene til en menneskelig operatør, særlig i situasjoner hvor denne operatør står overfor fysiske farer.

For oppnåelse av ovennevnte formål er det tilveiebrakt en innretning for automatisk innstilling av styreparametrene til en selvavstemmende regulator som er koplet til en prosess i en lukket sløyfe for å styre en prosessstyrt variabel som har en referanseverdi og målte verdier, hvilken innretning omfatter

en første komparatoranordning som reagerer på differanser mellom referanseverdien og målte verdier av den prosessstyrte variable for å frembringe et feilsignal,

en detektoranordning som reagerer på feilsignalet for å måle en mønsterkarakteristikk av dette og frembringe en målt verdi av mønsterkarakteristikken, og

en innstillingsanordning for automatisk innstilling av minst én av styreparametrene for å minimere differansen mellom de målte og ønskede verdier av mønsterkarakteristikken, hvilken innretning ifølge oppfinnelsen er kjennetegnet ved at

en andre komparatoranordning som er koplet til detektoranordningen, arbeider for å sammenlikne den målte verdi av mønsterkarakteristikken med en forutbestemt, ønsket verdi for mønsterkarakteristikken,

innstillingsanordningen er koplet til den andre komparatoranordning og reagerer på en differanse mellom de målte og ønskede verdier av mønsterkarakteristikken, slik at den målte verdi i hovedsaken passer til referanseverdien, og

innstillingsanordningen videre omfatter en avstemningskorrigerende anordning for endring av den nevnte driftsparameter med en faktor som er proporsjonal med differansen mellom de målte og ønskede verdier av mønsterkarakteristikken, den eksisterende verdi av driftsparameteren som er innstilt i regulatoren, og en periodeverdi som representerer svingetidsperioden av feilsignalet for den lukkede sløyfe.

Ifølge oppfinnelsen er det også tilveiebrakt en mønstergjenkjennende, selvavstemmende regulatorinnretning som er koplet til en prosess i en åpen-sløyfe-modus for å styre en

prosesstyrt variabel som har en rekkefølge av verdier ved tilknyttede tidspunkter, idet regulatorinnretningen har minst én driftsparameter som påvirker hvordan den reagerer på en endring av et inngangssignal til denne, idet prosessen reagerer på et styresignal som frembringes av regulatorinnretningen,

hvilken innretning ifølge oppfinnelsen er kjennetegnet ved

en anordning for generering av et kurvesignal som representerer en tidsopptegning av den nevnte rekkefølge av verdier av den prosesstyrte variable, og

en hellingsdetekterende anordning som reagerer på kurvesignalet som fremkommer når styresignalet ved et tidspunkt T på passende måte "skumpes" fra ett nivå til et annet nivå, slik at den prosesstyrte variable tilsvarende endres fra én stasjonær tilstand med en første tidsbasislinje til en ny stasjonær tilstand med en andre tidsbasislinje, idet den hellingsdetekterende anordning omfatter en anordning

for bestemmelse av hellingene av linjer som strekker seg fra et punkt T_i som er fiksert på den første tidsbasislinje, til suksessive verdipunkter av kurvesignalet etter hvert som den prosesstyrte variable endrer seg fra den nevnte ene til de nye stasjonære tilstander,

for utvelgelse blant de nevnte linjer av en linje som har en maksimal absolutt-hellingsverdi, og

for identifisering av et verdipunkt av det nevnte kurvesignal gjennom hvilket linjen med maksimal helling passerer som et øvre vendepunkt.

Den foreliggende regulatorinnretning er egnet for styring eller regulering av et vidt område av driftstilstander og driftsanvendelser uten innblanding av en menneskelig operatør. Den krever heller ikke at en stor mengde kunnskap må oppsamles om den spesielle prosess som skal reguleres. Da regulatorinnretningen vurderer den prosesstyrte variables oppførsel hver gang prosessen reagerer på en forstyrrelsestilstand, blir avstemning automatisk utført for de uheldige virkninger av lokale forstyrrelser, eller aldring, slitasje og korrosjon av reguleringsystemutstyr. Videre vurderer innretningen reguleringsløypeoppførsel ved måling av virkelige ytelsesegenskaper ved denne oppførsel for sammenlikninger med ønskede verdier for disse egenskaper. Som

et resultat av dette unngås de forannevnte problemer som er knyttet til tidligere kjente regulatorer som forsøker å finne analytiske løsninger på de komplekse likninger som beskriver reguleringsløyfeoppførselen.

5 Regulatorinnretningen ifølge oppfinnelsen har evne til å måle en mønsterkarakteristikk (såsom oversving og/eller dempningsforhold) for et feilsignal som representerer differansen mellom referanseverdien og de målte verdier av en prosessstyrt variabel. Dersom denne målte mønsterkarakteristikk avviker fra
10 en ønsket verdi, endrer regulatorinnretningen avstemningen av regulatoren som er tilkopleet for å styre prosessen, ved å endre minst én av regulatorens styreparametere, f.eks. P-, I- eller D-koeffisientene når det dreier seg om en regulator av proporsjonal-integral-derivat(PID)-type. Dersom den målte mønsterkarakteristikk avviker fra den ønskede verdi med mindre enn et foreskrevet beløp, endres ikke regulatorkoeffisientene. Så snart en optimal regulatorinnstilling er blitt utført (hvilket skjer når mønsterkarakteristikken for feilsignalet ligger innenfor et ønsket område av verdier), opprettholdes derfor denne innstil-
15 ling, og ingen ytterligere avstemning utføres før regulatorprosess-sløyfen ikke lenger oppfyller det ønskede ytelsesnivå.

Det skal bemerkes at en mønstergjenkjennende, selvavstemmende PID-regulator er kjent fra en artikkel av T. W. Kraus og T. J. Myron med tittelen "Self-Tuning PID Controller Uses
25 Pattern Recognition Approach", i publikasjonen Control Engineering, Juni 1984, s. 106-111. Den nevnte artikkel viser hvordan visse mønsterkarakteristikker for feilsignalet kan beregnes for å frembringe en målt verdi, og gir også en anvisning på hvordan den målte verdi for mønsterkarakteristikken kan benyttes til å gjenavstemme eller gjeninnstille regulatoren. Artikkelen viser imidlertid ikke anvendelse av en andre komparator slik den benyttes i regulatorinnretningen ifølge den foreliggende oppfinnelse, og som har som oppgave å sammenlikne den målte verdi av en mønsterkarakteristikk med en forutbestemt, ønsket verdi for
30 denne mønsterkarakteristikk. Denne andre komparator tillater innretningen ifølge oppfinnelsen å bestemme hvorvidt ytterligere adaptiv avstemning er nødvendig. Den nevnte artikkel viser også mønsterformen på feilsignalet når det benyttes for beregning av nye verdier av regulatorinnstillingene, men den viser imidlertid

ikke hvordan man skal bestemme når regulatorinnstillingene er tilfredsstillende, slik at ingen ytterligere adaptiv avstemning kreves. Videre finnes det ingen anvisning på hvordan gjentatt avstemning kan sløyfes i situasjoner hvor gjentatt avstemning
5 ikke er nødvendig. I selvavstemmende regulatorer ifølge den kjente teknikk blir gjentatt avstemning stadig utført. Gjentatt avstemning er imidlertid ikke alltid ønskelig, da hvert nytt sett av avstemningskoeffisienter kan ha den virkning å innføre en ny forstyrrelse for reguleringssløyfen, og dermed ytterligere
10 forstyrre den prosess som skal reguleres. Den foreliggende oppfinnelsen unngår denne kilde til unødvendig forstyrrelse.

Oppfinnelsen skal beskrives nærmere i det følgende i forbindelse med et utførelseseksempel under henvisning til tegningene, der fig. 1A viser et blokkskjema av en regulerings-
15 sløyfe som inneholder en regulatorinnretning som er fremstilt i overensstemmelse med oppfinnelsen, fig. 1B er et blokkskjema som viser de elektroniske komponenter i en foretrukket utførelse av den på fig. 1A viste regulator, fig. 2 viser en illustrasjon av oppførselen til det feilsignal som frembringes i den på fig. 1A
20 viste reguleringssløyfe, fig. 3A og 3B til 8A og 8B viser i kombinasjon et flytskjema som beskriver bestemte operasjoner av den foretrukne utførelse av oppfinnelsen, fig. 9 viser en opptegning av amplituden som funksjon av tiden av oppførselen til den prosesstyrte variable som benyttes i innretningen ifølge
25 oppfinnelsen, fig. 10 viser et blokkskjema av den støybåndskrets som benyttes i innretningen for bestemmelse av støynivået, fig. 11 viser en konvergensopptegning av prøveresultater som oppnås når innretningen ifølge oppfinnelsen er koplet til en forsinkelsesdominert prosess og D-koeffisienten er null, fig. 12 viser en
30 konvergensopptegning av de prøveresultater som oppnås når innretningen ifølge oppfinnelsen er koplet til en forsinkelsesdominert prosess og drives med et sett tilstander som er forskjellige fra de som er benyttet på fig. 11, fig. 13 viser en konvergensopptegning av de resultater som oppnås når innretningen ifølge
35 oppfinnelsen er koplet til en prosess som er dominert av dødtid, og fig. 14 viser en opptegning av de resultater som oppnås når innretningen ifølge oppfinnelsen er koplet til en prosess som varieres.

På fig. 1A er vist et blokkskjema av en prosessregu-

leringssløyfe 8 som inneholder et selvavstemmende regulatorsystem 10 som er oppbygget i overensstemmelse med læren ifølge den foreliggende oppfinnelse, og en prosess 12 som utmerker seg ved en prosessstyrt variabel 14, såsom, men ikke begrenset til, 5 temperatur, trykk, nivå eller konsentrasjon. En detektoranordning i form av en føler 16 som er koplet for å motta den prosessstyrte variable 14, virker til å frembringe et målesignal 18 som representerer verdien av den prosessstyrte variable 14. Føleren 16 er koplet til en bryter 110 som for den foreliggende beskri- 10 velse er anordnet for tilkopling til en analog/digital (A/D)-omformer 160. Et settpunkt- eller referansesignal 22 som tilføres til A/D-omformer 160, representerer den ønskede verdi for den prosess-styrte variable 14. Det selvavstemmende regulatorsystem 10 genererer et styresignal 20 som reaksjon på det digitalt 15 omformede målesignal 18 og referansesignalet 22. Et avsluttende styre- eller pådragsselement 23, såsom en ventil, som virker til å innstille verdien av et pådrag 24, mottar styresignalet 20 som frembringes på utgangen av en konvensjonell digital/analog (D/A)-omformer 162. Prosessen 12 reagerer på endringer i denne variable 20 for å forårsake endringer i den prosessstyrte variable 14, slik at dennes verdi er i hovedsaken lik den ønskede verdi som er representert ved referansesignalet 22.

Man må være klar over at prosessen 12 også reagerer på en forstyrrelse 26. Dersom størrelsen av forstyrrelsen 26 er stor 25 nok til å bringe prosessen 12 til å gjøre vesentlige endringer i verdien av den prosessstyrte variable 14, vil reguleringssløyfen 8 reagere tilsvarende med korrigerende handling for å fjerne virkningene av forstyrrelsen 26.

En første komparator eller sammenlikner 30 som er 30 koplet for å motta målesignalet 18 og referansesignalet 22, virker til å frembringe et feilsignal 32 som representerer differansen mellom verdien av den prosessstyrte variable 14 og den ønskede verdi eller børverdien. En andre komparator i form av en adapter 34 (som skal beskrives nærmere senere) er koplet til 35 sammenlikneren 30 for å motta feilsignalet 32. Adapteren 34 frembringer da et prosessorsignal 40 som senere tilføres til en inngang til en konvensjonell proporsjonal-integral-derivat (PID)-regulator 42. Idet den også er koplet til sammenlikneren 30 for å motta feilsignalet 32, virker PID-regulatoren 42 til å

frembringe styresignalet 20 (som representerer korrigerende handling) som er proporsjonalt med en tre-leddet sum av feilsignalet 32 pluss et tidsintegral av feilsignalet pluss en tidsderivert av feilsignalet. Det relative bidrag av hvert av de tre ledd bestemmes ved hjelp av konstanter som er kjent henholdsvis som proporsjonal (P)-, integral (I)- og derivat (D)-koeffisienter. Regulatoren 42 reagerer på prosessorsignalet 40 for innstilling av verdiene for PID-koeffisientene. Adapteren 34 omfatter en inngangsklemme 44 for mottaking av et initialiseringsignal 46 (som skal beskrives nærmere senere), slik at riktig operasjon av reguleringssløyfen 8 kan starte når det selvavstemmende regulatorsystem 10 først koples i drift.

På fig. 1B er det vist et blokkdiagram som viser de elektroniske komponenter i adapteren 34. Målesignalet 18 og referansesignalet 22 tilføres begge til inngangsledningene til den konvensjonelle A/D-omformer 160 som frembringer digitale signaler som representerer målesignalet 18 og referansesignalet 22. Disse digitale signaler overføres langs en buss 402 som har forbindelser med en Intel 8051 mikroprosessor 404, et direkte-lager (RAM) 406, et elektrisk programmerbart leselager (EPROM) 408 og D/A-omformeren 162. Det skal opplyses at adapteren 34 i virkeligheten er innlemmet som et datamaskin-maskinvareprogram som er lagret i EPROM 408 og som emulerer operasjonene til virkelige maskinvarekretser. RAM 406 inneholder de datalagre og registre som kreves av mikroprosessoren 404 for realisering av de operasjoner som styres av programmet i EPROM 408. Etter at adapteren 34 har behandlet den informasjon som er avledet fra målesignalet 18 og referansesignalet 22, frembringes det resulterende prosessorsignal 40 for tilførsel til PID-regulatoren 42.

Idet det henvises til fig. 1A, 1B og 2, representerer feilsignalet 32 oppførsel langs en tidsbasislinje reguleringssløyfens 8 lukket-sløyfe-respons på en forstyrrelsestilstand som forårsaker en differanse mellom verdiene av målesignalet 18 og referansesignalet 22. Som et typisk eksempel forårsakes forstyrrelsestilstanden av enten en belastningsforstyrrelse 26 (såsom en endring i omgivelsesdriftsforhold) som plutselig endrer verdien av den prosessstyrte variable 14, eller en plutselig endring i referansesignalet 22. På fig. 2 er det vist en

opptegning av feilsignalet 32 representert ved en kurve 50 for illustrasjonsformål. Diagrammets horisontale akse er tiden T, og den vertikale akse er M, størrelsen av det feilsignal som representerer forskjellen mellom verdien av den prosessstyrte variable 14 og dens ønskede verdi representert ved referansesignalet 22. Slik det kan innses, utmerker kurven 50 seg ved tre topper 52, 54 og 56 (også kjent som lokale ekstremverdier) som har respektive toppamplituder E1, E2, E3 og opptrer henholdsvis ved tidspunktene T1, T2 og T3. Etter hvert reagerer regulerings-
sløyfen 8 på den opprinnelige forstyrrelsestilstand, slik at størrelsen M av kurven 50 blir i hovedsaken lik null, svarende til den tilstand hvor den prosessstyrte variable 14 er blitt returnert eller endret til sin ønskede verdi.

Slik det kan forstås, kan reguleringsløyvens 8 lukket-sløyfe-respons (representert ved kurvens 50 oppførsel) spesifiseres uttrykt ved dempning, oversving og tidsperiode, hvilket er oppførselsmål som er velkjente for reguleringsingeniører for å beskrive oppførselen til en reguleringsløyfe. Spesielt kan dempning DMP, oversving OVR og tidsperiode T_0 defineres som følger:

$$DMP = (E3 - E2) / (E1 - E2)$$

$$OVR = -E2 / E1$$

$$T_0 = T3 - T1$$

Som et resultat kan den ønskede oppførsel for reguleringsløyfen 8 spesifiseres uttrykt ved foreskrevne verdier for dempning, oversving og tidsperiode, hvilket på sin side kan benyttes til å beskrive et ideelt mønster for benyttelse til å avstemme det selvavstemmende regulatorsystem 10. Dersom med andre ord kurven 50 passet til det ideelle mønster, ville de regulatorinnstillinger som frembrakte kurven, være optimale. I innretnin-
gen ifølge oppfinnelsen omfatter det ideelle mønster fortrinnsvis tre topper som er anordnet slik at den andre topp opptrer midt i tidsintervallet mellom forekomsten av de første og tredje topper.

Det skal bemerkes at kurvens 50 spesielle mønster representerer den situasjon hvor referansesignalet 22 plutselig ble øket i verdi, slik at den positive feiltopp 52 frembringes. Dersom referansesignalet 22 plutselig ble redusert i verdi, ville den første topp av feilsignalet 32 ha en negativ amplitude. Et

ideelt mønster kan imidlertid likevel angis ved benyttelse av de samme foreskrevne verdier for dempning, oversving og tidsperiode som er nevnt ovenfor, bortsett fra at det ideelle mønster i det sistnevnte tilfelle ville være speilbildet av det ideelle mønster som ønskes for kurven 50.

På fig. 3A og 3B til 8A og 8B er vist et flytskjema som beskriver de logiske operasjoner til adapteren 34. Flytskjemaet er anvendelig for fagfolk på området for utvikling av det datamaskin-programvareprogram som realiserer den foreliggende oppfinnelse. Når regulatorsystemet først koples i drift, slik som representert ved Start-blokken 60 på fig. 3A, realiserer adapteren 34 "Utfør initialisering"-funksjonen som er beskrevet i blokken 62.

Virkemåten av det selvavstemmende regulatorsystem 10 skal nå beskrives i forbindelse med kurven 50 på fig. 2 og flytskjemaene. Før regulatorsystemet gis kontroll over prosessen 12, er det nødvendig at minst fem innledende inngangssignaler tilføres til inngangsklemmen 44 (på fig. 1A). De fem inngangssignaler er: Tre begynnelsesinnstillinger for PID-regulatorens 42 respektive PID-koeffisienter, en innstilling for den maksimale ventetid $W_{\max}$ som er relatert til den tilnærmede tidsmålestokk for prosessen, og én innstilling for et støybånd NB. Det på fig. 2 viste støybånd NB er fortrinnsvis lik halvparten av topp-topp-verdien av den støy som forventes i feilsignalet 32. De ønskede verdier for DMP- og OVR-ytelsesmålene kan også innføres eller endres av brukeren. Dersom imidlertid disse verdier ikke endres, vil 0,3 og 0,5 bli benyttet av regulatorsystemet for DMP (bruker)- og OVR (bruker)-leddene. Etter fullføring av "Utfør initialisering"-funksjonen utsender adapteren 34 begynnelsesverdiene av PID-koeffisientene som del av prosessorsignalet 40, hvilket bringer PID-regulatoren 42 til å innstille disse begynnelsesverdier som PID-koeffisientene.

Virkemåten av det selvavstemmende regulatorsystem 10 kan generelt beskrives i ni tilstander. Den første tilstand er blokkens 63 "Hvilemodus" som er knyttet til den tilstand hvor størrelsen M av kurven 50 ligger mellom øvre og nedre nivåer som fortrinnsvis er sentrert om tidsbasislinjen. De øvre og nedre nivåer har hver en størrelse som fortrinnsvis er lik fire ganger støybåndet NB. Man må huske at støybåndet NB er det ene av de

—

begynnelsesinngangssignaler som tilføres til adapteren 34 via inngangsklemmen 44. Når det er i sin første tilstand, arbeider det selvavstemmende regulatorsystem 10 med PID-koeffisientene innstilt i PID-regulatoren 42 og utfører de funksjoner som er beskrevet i blokken 64 på fig. 3A. Så lenge verdien av feilsignalet 32 forblir mellom de øvre og nedre nivåer (svarende til den situasjon som er vist på fig. 2 hvor kurven 50 ligger til venstre for tidspunktet T_q), tas ingen avgjørelser når det gjelder endringer i PID-koeffisientene.

10 Når kurvens 50 størrelse M først overskrider det øvre nivå (lik 4NB), skifter regulatorsystemet 10 til sin andre tilstand som er "Lokaliser Topp 1-modusen" i blokken 65 hvor adapteren 34 senere sammenlikner størrelsen M med en størrelse som er betegnet PK1 som er lagret i et første toppverdi-lagrings-register som er beliggende i RAM 406 (på fig. 1B). Idet det henvises til sløyfen 66 på fig. 3B, blir den lagrede størrelse PK1, dersom størrelsen M overskrider denne størrelse, endret til å være lik størrelsen M, og adapteren 34 utfører deretter en ny måling av feilsignalet 32. Slik det kan innses, vil størrelsen

15 PK1 (som i begynnelsen er lik null), når størrelsen M øker i verdi, også øke tilsvarende inntil den blir lik toppamplituden E1. Når kurvens 50 størrelse M ikke lenger overskrider den lagrede verdi og begynner å avta, utføres ingen flere oppdateringer av registeret, og adapteren 34 skifter til sin tredje

20 tilstand.

Den tredje tilstand begynner i blokken 67 og er kjent som "Verifiser Topp-1-modusen". I den foreliggende illustrasjon stiger kurven 50 til en toppamplitude E1 som er positiv. Fortegnet for PK1 innstilles følgelig lik +1. Dersom den første

30 topp av feilsignalet 32 var negativ, ville verdien av fortegnet være -1. Fortegnet (SIGN) benyttes i en senere del av regulatorsystemet. Når størrelsen av kurven 50 faller til et nivå på 95% av E1, blir en tidgiver (i mikroprosessen 404 på fig. 1B) med en verdi T (som er lagret i RAM 406 på fig. 1B) initialisert til

35 null. Tidgiveren er en klokke for måling av tidsforekomsten for hver måling av størrelsen M. Initialisering av tidgiveren når M fortrinnsvis er lik 95% av PK1, hjelper til å minimere den ødeleggende virkning som reguleringssløyfens dødtid og støy har på den virkelige tidsforekomst og formen på den første topp.

Dersom med andre ord den første topp ikke har en veldefinert, lokal ekstremverdi, er adapteren innrettet til å reagere på en mer spesiell hendelse i hvilken M er lik 95% av PK1. Dersom kurven 50 senere faller under 60% av E1 i overensstemmelse med 5 rombeblokken 200, blir tidspunktet T_{60} (målt) for denne hendelse også lagret for senere bruk dersom visse betingelser er tilfredsstilt.

Når tidgiverens verdi T overskrider kvotienten $T_0/4$ (perioden T_0 dividert med 4) eller kurvens 50 størrelse blir 10 mindre enn $E1/2$ (den første toppamplitude dividert med 2), merkes den første topp 52 som verifisert, og regulatorsystemet skifter til sin fjerde tilstand som vil bli beskrevet. Man bør huske at den andre topp 54 ideelt forventes et tidsintervall på $T_0/2$ etter forekomsten av den første topp. På begynnelse av søkingen etter 15 den andre topp etter en medgått tid på $T_0/4$ tillater derfor deteksjon av denne topp selv om transientresponsens virkelige periode var forskjellig med en faktor på 2. Begynnelse av søkingen etter den andre topp ved den alternative betingelse hvor kurvens 50 størrelse er lik $E1/2$, tillater dessuten fremdeles 20 deteksjon av den andre topp 54 dersom den tilfeldigvis skulle inntreffe tidligere enn den medgatte tid på $T_0/4$. Dette arrangement kompenserer for den situasjon hvor frekvensen av den virkelige lukket-sløyfe-respons er en mye høyere frekvens enn hva som skulle forventes basert på den opprinnelig beregnede 25 tidsperiode T_0 . De andre rombeblokker 68 og 69 på fig. 3B skal omtales senere.

I den fjerde tilstand som begynner i blokken 70 på fig. 4A og er kjent som "Lokaliser Topp 2-modusen", virker adapteren 32 til å detektere forekomsten av et lokalt minimum ved å 30 sammenlikne kurvens 50 størrelse M med en størrelse PK2 som er lagret i et andre toppverdi-lagringsregister (som er til stede i RAM 406 på fig. 1B). Dersom denne størrelse M er mindre enn den lagrede verdi, blir størrelsen PK2 i lagringsregisteret oppdatert til (satt lik) denne størrelse M, og adapteren 34 måler den neste 35 størrelse av feilsignalet 32. Denne prosess, som er vist som sløyfe 71 på fig. 4A, vil fortsette så lenge kurven 50 avtar i størrelse. Sløyfen 71 inneholder en rombeblokk 72 som skal omtales i en senere del av beskrivelsen. Når kurvens 50 størrelse først oppnår sin lokale minimumsverdi E2, innstilles størrelsen

PK2 lik E2, og tidsforekomsten av toppen 54 slik som bestemt av tidgiverens verdi T , lagres i et andre topptidspunktregister (som er til stede i RAM 406 på fig. 1B) som en størrelse $T_{PK(2)}$. Deretter, når den neste måling av størrelsen M er blitt utført
5 etter at toppen 54 har inntruffet, skifter adapteren 34 til sin femte tilstand.

Den femte tilstand begynner i blokken 73 på fig. 4A og er kjent som "Verifiser Topp 2-modusen". Når tiden etter lokaliseringen av den andre topp 54 overskrider et intervall lik
10 $T_0/4$ eller kurvens 50 størrelse blir mindre enn $E1/4$, slik som beskrevet i blokkene 74 og 75 på fig. 4B, markeres den andre topp 54 som verifisert, og regulatorsystemet skifter til sin sjette tilstand.

Den sjette tilstand begynner i blokken 76 på fig. 5A og
15 er kjent som "Lokaliser Topp 3-modusen", hvor adapteren 34 leter etter et lokalt minimum ved å sammenlikne kurvens 50 størrelse M med en størrelse $PK3$ som er lagret i et tredje topplagringsregister (som er til stede i RAM 406 på fig. 1B). Dersom denne størrelse M overskrider den lagrede verdi, innstilles størrelsen
20 $PK3$ lik denne størrelse, og adapteren 34 måler kurvens 50 neste størrelse. Denne prosess som er vist i sløyfen 77, vil fortsette så lenge kurven 50 øker i størrelse. Når kurven 50 oppnår sin lokale maksimumsverdi, $E3$, innstilles størrelsen $PK3$ lik $E3$, og tidsforekomsten av toppen 56 som bestemt av tidgiverens verdi T
25 lagres i et tredje toppverdiregister (som er til stede i RAM 406 på fig. 1B) som en størrelse $T_{PK(3)}$. Deretter skifter adapteren 34 til sin syvende tilstand. En rombeblokk 78 som inngår i sløyfen 77, skal omtales nærmere senere.

Den syvende tilstand begynner i blokken 79 og er
30 betegnet som "Verifiser Topp 3-modusen". Idet det henvises til fig. 5B, når tiden etter lokalisering av toppen 56 overskrider et tidsintervall lik $T_0/4$ eller kurvens 50 størrelse blir mindre enn $E1/4$, markeres den tredje topp 56 som verifisert. Så snart den tredje topp er blitt verifisert, skifter adapteren 34 til sin
35 åttende tilstand som begynner i blokken 80 på fig. 5B og er kjent som "Tidsoppdateringsmodusen". I den foreliggende illustrasjon og under henvisning til fig. 6A, blir de tre topper 52, 54 og 56 alle betraktet som tydelige da $E1$ er større enn $4NB$, $E3$ er større enn NB og $E2$ er mindre enn $-NB$. Som et resultat av dette utfører

adapteren 34 operasjonene i blokken 81 og setter eller innstiller verdiene av de variable $T_{TOPP(2)}$, $T_{TOPP(3)}$ og perioden T_0 ved benyttelse av størrelsene $T_{PK(2)}$ og $T_{PK(3)}$. Deretter beregnes to mellomliggende tidspunkter T_{max} og T_{min} i overensstemmelse med blokken 82

5 på fig. 6B, hvor notasjonen $T_{max} = \text{maksimum}(x, y)$ refererer seg til den logiske operasjon i hvilken størrelsene x, y innenfor parentesene sammenliknes med hverandre og den størrelse som har den største verdi, deretter settes lik T_{max} ; og notasjonen $T_{min} = \text{minimum}(x, y, z)$ refererer seg til den logiske operasjon i

10 hvilken den minste størrelse av størrelsene x, y, z settes lik T_{min} .

Etter beregning av de to mellomliggende tidspunkter entrer adapteren 34 en niende tilstand som er kjent som "Tilpasningsmodusen" i blokken 83 som er vist på fig. 7. Basert på

15 de målte toppamplituder $E1, E2$ og $E3$ beregner adapteren de tidligere definerte dempnings- og oversving- ytelsesmål som er definert som henholdsvis DMP (målt) og OVR (målt). Vanligvis tas tre skritt i Tilpasningsmodusen for å bestemme de nye PID-koeffisienter. Skrittene er:

- 20 1. Ziegler-Nichols-forholdene (som skal defineres senere) innstilles basert på feilsignalets 32 mønsterform,
 2. PID-koeffisientene endres basert på den innstilte periode og de innstilte Ziegler-Nichols-forhold,
 - 25 3. PID-koeffisientene endres også basert på ønskede begrensninger for dempnings- og oversvingleddene.
- Som ytterligere forklaring utfører adapteren 34 en feilformings- eller SERR-beregning (engelsk: shape error calculation) i hvilken
- 30

SERR = den minste verdi blant A eller B hvor

A = DMP (bruker) - DMP (målt)

B = OVR (bruker) - OVR (målt), eller

DMP (bruker) og OVR (bruker) ble innstilt under "Utfør

35 initialisering"-operasjonen i blokken 62.

I innretningen ifølge oppfinnelsen blir verdiene av DMP (bruker) og OVR (bruker) vanligvis manuelt innstilt av den menneskelige operatør (dvs. brukeren). Disse verdier inngår således i initialiseringssignalet 46. Dersom den menneskelige

operatør bestemmer seg for ikke å innstille verdiene av DMP (bruker) og OVR (bruker), er adapteren 34 slik innrettet at 0,3 benyttes for DMP (bruker) og 0,5 benyttes for OVR (bruker). Som vist på fig. 8A, beregnes først en forminnstillingsfaktor FAC basert på følgende relasjoner:

Dersom $SERR < 0$, $FAC = FAC1 = 1,0 + K_g(SERR - G) SERR$; og
dersom $SERR > 0$, $FAC = FAC2 = 1,0 / [1,0 + K_g(SERR - 0,3)SERR]$.

Idet det nå vendes tilbake til fig. 7, skal det bemerkes at verdien av K_g er enten 2,0 eller en verdi:

$$K = (K_{i-1} + 6,0) / 2,0$$

hvor indeksen i strekker seg fra 1 til det antall n av fortløpende sykluser av feilsignalet 32 (av hvilket kurven 50 er én syklus eller periode) hvor ytelsesmålene er beskrevet ved følgende ulikheter:

$$DMP(\text{bruker}) < 0,15; \quad (1)$$

$$DMP(\text{bruker}) - DMP(\text{målt}) > 0 \quad (2)$$

og hvor $DMP(\text{målt})_i$ er det dempningsledd som er beregnet basert på den spesielle respons som er knyttet til i. Som ytterligere forklaring, dersom kurven 50 ikke var beskrevet ved hjelp av de to ulikheter (1) og (2), er $K_g = 2,0$. Dersom imidlertid kurven 50 var den første kurve som var beskrevet ved hjelp av de to ulikheter (1) og (2), blir $i = 1$ og $K_1 = (K_0 + 6,0) / 2,0$. Da K_0 er foreskrevet å være lik 2,0, blir

$$K_1 = (2,0 + 6,0) / 2,0 = 4,0$$

Dersom den neste kurve etter kurven 50 også er beskrevet ved hjelp av de to ulikheter, blir $i = 2$ og

$$K_2 = (K_1 + 6,0) / 2,0 = (4,0 + 6,0) / 2,0 = 5,0$$

Den notasjon som er benyttet i blokken 84, representerer det arrangement som er beskrevet ovenfor, hvor

$$K_g(\text{eksisterende}) = K_{i-1}.$$

Da konstanten G er enten 0,2 eller 0,6, er verdien av denne konstant basert på en relasjon som skal beskrives i et senere avsnitt, hvor størrelsene i rombeblokken 210 er definert.

Etter å ha bestemt verdien av FAC, beregner adapteren 34 nå en ny proporsjonalkoeffisient P som følger:

$$P = P(\text{eksisterende}) \times FAC,$$

hvor P (eksisterende) er den tilstedeværende proporsjonalkoeffisient (som benyttes i PID-regulatoren 42) som resulterte i

kurven 50.

Idet det nå vendes tilbake til fig. 8A, må man huske at kurvens 50 tre topper alle betraktes som tydelige topper, slik at adapteren 34 forlater blokken 91 og deretter entrer rombeblokken 85. Det skal påpekes at Rati og Ratd er forhold som for reguleringsingeniører er kjent som Ziegler-Nichols-forholdene. Forholdene er definert som I/periode og D/periode. I den kjente teknikk er det også kjent at regulatoravstemning kan baseres på at Ziegler-Nichols-forholdene har faste verdier, såsom 0,5 og 0,12 for regulatorens respektive integral- og derivat-koeffisienter I og D. Sådanne regulatorkriterier har imidlertid likevel begrensede anvendelser, da feilsignalet 32 tidsperiode influeres av de virkelige innstillinger for I- og D-koeffisientene. I innretningen ifølge oppfinnelsen innstilles kurvens 50 målte tidsperiode T_0 i overensstemmelse med endringer i I- og D-koeffisientene og er ikke begrenset til like, faste verdier.

Som ytterligere forklaring av ovenstående og i forbindelse med fig. 8A inneholder adapteren 34 logikk for utførelse av følgende bestemmelser:

Dersom $DMP \text{ (målt)} - OVR \text{ (målt)} > 0,2$
 og $I \text{ (eksisterende)} < 1,1 \times Rati \text{ (eksisterende)} \times T_0$,
 utføres
 $Rati = 85\% \times Rati \text{ (eksisterende)}$, og
 $Ratd = 85\% \times Ratd \text{ (eksisterende)}$.

Idet det henvises til fig. 8B, får man imidlertid dersom følgende inntreffer:

Dersom $DMP \text{ (målt)} - OVR \text{ (målt)} < 0$, utføres
 $Rati = 1,2 \times Rati \text{ (eksisterende)}$
 $Ratd = 1,2 \times Ratd \text{ (eksisterende)}$

Til slutt entrer adapteren blokken 88 hvor nye verdier for Rati og Ratd benyttes til å beregne nye verdier for I- og D-koeffisientene som følger:

$I = T_{MAX} \times Rati$, og
 $D = T_{MIN} \times Ratd$.

Så snart de nye verdier av proporsjonal-, integral- og derivat-koeffisientene P, I og D er blitt beregnet, overfører adapteren 34 disse verdier til PID-regulatoren 42 som prosessor-signalet 40, slik at nye innstillinger utføres i regulatoren. Deretter defineres visse variable på nytt i overensstemmelse med

blokken 82, og adapteren 34 returnerer til sin første tilstand og venter på en annen syklus av feilsignalet forårsaket av en ny forstyrrelsestilstand eller forstyrrelsesbetingelse som anvendes på prosessen 12. Man må være klar over at en ny syklus starter
5 først når den absolutte verdi av feilsignalets 32 størrelse M overskrider $4NB$. Reguleringsystemets 10 dynamiske egenskaper er nå blitt endret for å forbedre systemets respons på den neste forstyrrelsesbetingelse. Basert på den foregående beskrivelse er de variable som er angitt i blokken 210 på fig. 7, nå kjente,
10 slik at verdien av konstanten G da kan beregnes i overensstemmelse med de betingelser som er angitt i blokken 210.

I forbindelse med den tredje tilstand (blokken 67 på fig. 3B) ble hensikten med rombeblokken 68 forklart. Dersom kurven 50 på fig. 2 inneholdt en støyspiss 53, ville adapteren
15 34 gjenkjenne spissen 53 som et lokalt maksimum. Følgelig ville verdien av $PK1$ bli satt lik amplituden av toppen 53, og den sanne topp 52 ville gå tapt. For å unngå dette uønskede resultat, inneholder adapteren 34 således rombeblokken 68, slik at støyspisser som forekommer før den sanne, første topp av kurven
20 54, i det vesentlige ignoreres. Som ytterligere forklaring skal det bemerkes at dersom størrelsen M senere er større enn $PK1$, returnerer adapteren til tilstand 2.

Den tredje tilstand inneholder også en rombeblokk 69. Man må huske at W_{max} opprinnelig ble innstilt under adapteroperas-
25 sjonens initialiseringstrinn. Størrelsen W_{max} står i forhold til den beregnede, maksimale tidsmålestokk for prosessen 12. Dersom imidlertid regulatoren 42 er avstemt slik at den er meget treg eller langsom, kan reguleringsløyfen 8 ta uforholdsmessig lang tid for å reagere på en forstyrrelsestilstand. Perioden T_0 er med
30 andre ord forholdsvis stor sammenliknet med W_{max} . I et sådant tilfelle omfatter adapteren 34 en foranstaltning for gjentatt avstemning av regulatoren 42 når en langsom tilstand er blitt påtruffet. Dersom således tiden etter at adapteren 34 først gikk inn i tilstand 2 overskrider W_{max} , går adapteren inn i tilstand
35 8 og begynner å utføre de operasjoner som er beskrevet i rombeblokken 90 på fig. 6A. Med hensyn til denne figur kan det innses at verdiene av forskjellige variable da beregnes basert på egenskapen til størrelsen T_{60} (målt) dersom den eksisterer, og på tidligere data som er utledet fra dataene for en tidligere

respons. I den illustrasjon som omfatter kurven 50, var det ingen tidligere beregning da kurven 50 var den første respons som forekom etter at regulatorsystemet 10 først ble koplet i drift. Begynnelsesverdiene for de tidligere data er følgelig de verdier som fremkom når "Utfør initialisering"-blokken ble fullført. Etter at adapteren har fullført blokken 89 på fig. 8B, vil de variable som er knyttet til "(eksisterende)" i rombeblokken 90, ha definerte verdier som blir de tidligere data som er nevnt foran, og erstatte de opprinnelig innstilte verdier.

Idet det henvises til fig. 3A og 3B og beskrivelsen angående rombeblokken 69, går adapteren inn i tilstand 8 via inngangen 8C. Slik som beskrevet i rombeblokken 91 på fig. 8A, beregnes nye verdier for I- og D-koeffisientene i overensstemmelse med blokken 92, dersom bare PK1 betraktes som tydelig. Dersom imidlertid størrelsen M av feilsignalet 32 bare avtar langsomt fra en første topp svarende til situasjonen "Nei" hvor de absolutte verdier av PK2 og PK3 begge er større enn NB, baseres de nye I- og D-koeffisienter på blokken 88 på fig. 8B som inneholder de mellomliggende tidspunkter $T_{\max}$ og $T_{\min}$ såvel som justerte Ziegler-Nichols-forhold.

Tilstand 4 inneholder en rombeblokk 72 som er vist på fig. 4A. Dette arrangement gjelder for den situasjon i hvilken den andre topp ikke inntreffer før tiden T (i forhold til forekomsten av 95% av PK1) har overskredet $W_{\max}$. I dette tilfelle entrer da adapteren 34 tilstand 8 via inngangen 8C og fortsetter på en måte som tidligere beskrevet. Dette arrangement kompensere for det forannevnte tilfelle hvor regulatoren er langsom.

Når adapteren er i tilstand 5, er en rombeblokk 93 inkludert i dens operasjon som vist på fig. 4B. Dersom kurven 50 på fig. 2 inneholdt en støytopp 55, ville adapteren gjenkjenne toppen 55 som et lokalt minimum og ikke detektere den sanne, andre topp 54. Anvendelsen av rombeblokken 93 unngår denne uønskede situasjon da adapteren 34 vil ignorere støyspissen 55 på liknende måte som den som er beskrevet foran i forbindelse med rombeblokken 68.

Når adapteren er i tilstand 6 på fig. 5A, inneholder dens operasjon rombeblokken 78. Dersom en tredje topp ikke er blitt funnet innenfor det tidsintervall som er angitt i rombeblokken 78, entrer adapteren tilstand 8 via inngangen 8B.

Deretter fortsetter adapteren sin logiske operasjon med utgangspunkt i rombeblokken 94 på fig. 6A.

En rombeblokk 95 på fig. 5B er inkludert i adapterens operasjoner når den er i tilstand 7. Dersom kurven 50 på fig. 2 inneholdt en støyspiss 57, ville adapteren gjenkjenne spissen 57 som et lokalt maksimum og ville unngå å detektere den sanne, tredje topp 56. Rombeblokken 95 er inkludert for å unngå denne uønskede situasjon, da adapteren nå vil ignorere støyspissen 57 på liknende måte som den som er beskrevet i forbindelse med rombeblokken 68.

Ut fra det foregående vil det innses at innretningen ifølge oppfinnelsen opererer med informasjon som er basert på tre egenskaper ved oppførselen til den prosessstyrte variable 14 når reguleringssløyfen 8 reagerer på en forstyrrelsestilstand. De tre egenskaper er fortrinnsvis amplitudeinformasjon basert på eksistensen av tre tydelige topper. Det er imidlertid sørget for foranstaltninger for bestemmelse av disse egenskaper dersom bare to topper detekteres, eller dersom bare én topp detekteres. Tre egenskaper er nødvendige for beregning av dempningstvangen. Dersom imidlertid regulatoren 42 bare opereres basert på en oversving-tvang, er bare to egenskaper nødvendige for måling av reguleringssløyfens 8 oversvingsoppførsel. Dersom bare én topp er til stede, genererer innretningen ifølge oppfinnelsen de andre og tredje egenskaper basert på verdiene av feilsignalet ved det tidspunkt da undersøkelsen ble avbrutt.

I den foretrukne utførelse av oppfinnelsen er det også sørget for en fortilpasningsmodus i hvilken forskjellige prosessegenskaper automatisk identifiseres, slik at opprinnelige innstillinger av P-, I- og D-koeffisientene, den maksimale ventetid og størrelsen av støybåndet NB kan bestemmes. Fortilpasningsmodusen unngår derfor behovet for at en menneskelig operatør skal inntaste manuelt de innledende innstillinger. I fortilpasningsmodusen er regulatorsystemet 10 i en spesiell manuell tilstand i hvilken reguleringssløyfen er åpnet, slik at referansesignalet ikke lenger benyttes av PID-regulatoren 42. Idet det henvises til fig. 1A, innsettes regulatorsystemet i den manuelle modus ved å aktivere bryteren 110 slik at den frakopler føleren 16 fra sammenlikneren 30 og tilkopler føleren til en konvensjonell analog/digital (A/D)-omformer 170 som er koplet til

en foradapter 112. Fortilpasningsmodusen krever at prosessen er i en første, stasjonær tilstand. Foradapteren 112 overfører et signal til regulatoren 42, hvilket resulterer i at den prosessstyrte variable 14 endres (forstyrres) til en ny verdi som

5 fortrinnsvis er minst 3% forskjellig fra den tidligere stasjonære verdi. Når prosessen 12 oppnår sin nye, stasjonære tilstand eller den prosessstyrte variable 14 endrer seg 10%, returneres prosessen til sin opprinnelige stasjonære verdi.

På fig. 9 er det vist en opptegning av verdien av den

10 prosessstyrte variable 14 som funksjon av tiden (i minutter). En kurve 114 representerer prosessens 12 respons når den prosessstyrte variable 14 "skumpes" (engelsk: "bumped") fra en stasjonær verdi på N til et nytt nivå som er 10% større enn N . Man må være klar over at kurven 114 er ett eksempel på responsen og uteluk-

15 kende benyttes til å forklare regulatorsystemets 10 operasjon når det er i sin fortilpasningsmodus.

Ved et tidspunkt som er betegnet som T_{BMP} , skumpes prosessen 12 og foradapteren 112 sporer den resulterende kurve 114. Foradapteren registrerer tidsforekomstene av foreskrevne

20 punkter 120, 122, 124 og 126 hvor de tilsvarende størrelser av disse er henholdsvis $N+1\%N$, $N+2\%N$, $N+3\%N$ og $N+4\%N$. Videre bestemmer foradapteren et infleksjons- eller vendepunkt 116 på kurven 114, fortrinnsvis ved hjelp av en teknikk som skal beskrives i det følgende og er kjent som kordemetoden.

25 Som ytterligere forklaring velges et punkt T_f på den horisontale akse som er en lavtids-basislinje i hvilken prosessen 12 er i den første stasjonære tilstand. Hver gang når foradapteren 112 foretar en måling av den prosessstyrte variable, bestemmer foradapteren også hellingen av en linje som forbinder punktet T_f

30 og det punkt på kurven 114 som representerer målingen. Dersom for eksempel tidspunktet for den løpende måling er T_x og den tilsvarende, målte størrelse av den prosessstyrte variable er N_x , bestemmes et punkt 118. Hellingen av den linje som er betegnet som korden 130 som forbinder punktene T_f og 118, beregnes

35 lettvis da de respektive koordinater (tid og størrelse) er kjente. Slik det kan innses, nærmer den tilhørende kurves helling seg maksimal verdi når punktet 118 nærmer seg et øvre vendepunkt 116. Den nøyaktighet med hvilken den foran beskrevne kordemetode bestemmer det øvre vendepunkt for kurven 114, avhenger av den

virkelige beliggenhet av T_f . I en spesiell utførelse av oppfinnelsen var punktet T_f beliggende 15 sekunder før tidspunktet T_{BMP} .

Så snart foradapteren eller fortilpasseren har bestemt det øvre vendepunkt 116, finner den deretter den linje som har
 5 maksimal helling av de fire linjer som strekker seg fra vendepunktet 116 og henholdsvis punktene 120, 122, 124 og 126. I den foreliggende illustrasjon er en linje 132 den linje som har maksimal helling. Skjæringspunktet 136 mellom linjen 132 og lavtids-basislinjen benyttes til å representere prosessens 12
 10 dødtid T_{dt} . Det er kjent at linjen 132 er proporsjonal med den egenskap som er kjent for reguleringsingeniører som prosessfølsomhet. Ved den foreliggende oppfinnelse beregnes prosessfølsomheten SEN ved å multiplisere linjens 130 helling (betegnet som Helling) med den prosentendring i regulatorsignalet 20 (på fig.
 15 1A) som resulterte i at den prosessstyrte variable ble skumpet fra den første stasjonære tilstand til den nye, stasjonære tilstand.

Basert på ovennevnte egenskaper ved kurven 114 beregnes de innledende PID-koeffisienter og W_{max} ved hjelp av foradapteren 112 på følgende måte:

$$\begin{aligned} 20 \quad P \text{ (eksisterende)} &= 120 \times T_{dt} / SEN \\ I \text{ (eksisterende)} &= 1,5 \times T_{dt} \\ D \text{ (eksisterende)} &= I \text{ (eksisterende)} / 6 \\ W_{max} &= 5,0 \times T_{dt} \end{aligned}$$

Ovennevnte verdier overføres ikke bare til regulatoren 42, men
 25 også til adapteren 34, slik at operasjonen av blokken 62 på fig. 3A kan utføres når det er nødvendig.

Etter en tid T_r returneres prosessen 12 til sin første, lave, stasjonære tilstand. Foradapteren 112 observerer deretter verdien av den prosessstyrte variable 14 i tre minutter for å
 30 bestemme det topp-topp-støybånd som er lik 2NB.

Fig. 10 viser i blokkskjemaform den støybåndskrets som benyttes ved den foreliggende oppfinnelse for å bestemme støybåndet 2NB. Prosessen 12 er blitt returnert til sin opprinnelige, lave, stasjonære tilstand. Den målte variable 18 (vist
 35 på fig. 1A) tilføres til en inngang til et høypassfilter 140 som er en velkjent anordning for fjerning av lavfrekvensdelene som inngår i den målte variable 18 og er representert ved en kurve 141. Knekkfrekvensen for dette filter er variabel og fortrinnsvis innstilt lik 3 ganger T_{dt} . Et utgangssignal 142 som er vist som

en kurve 143, tilføres til en absoluttverdi-integrator 144 som integrerer utgangssignalet 142 i en periode som fortrinnsvis er lik tre minutter, og frembringer et signal 145 som er vist som en kurve 146. En konvensjonell, middelveirdidannende krets 148 mottar signalet 145 og bestemmer en middelveirdi av dette ved å multiplisere signalet 145 med fire og dividere med integratorperioden på 3 minutter som benyttes av integratoren 144. Størrelsen av et resulterende signal 150 som frembringes av den middelveirdidannende krets 148, er prosessens 12 topp-topp-støybånd 2NB. Det skal bemerkes at faktoren på fire som benyttes i middelveirdidannelseskretsen, er basert på en approksimasjon av resultatet dersom signalet 141 var en sinusbølge. Det resulterende signal 150 overføres til adapteren 34 for benyttelse i denne når det nødvendig.

Foradapteren 112 inneholder også logikk for beregning av en ny begynnelsesverdi for D (eksisterende)-koeffisienten etter behov, basert på størrelsen av støybåndet 2NB. Som ytterligere forklaring utfører denne logikk følgende operasjoner:

Beregner en størrelse $Z = (3,0 - 2NB) / 2,5$;

dersom $Z > 1$, settes D (eksisterende) = I (eksisterende) / 6 (med andre ord er begynnelsesverdien uendret fra den tidligere beregnede);

dersom $Z < 0$, settes D (eksisterende) = 0; og

dersom $0 < Z < 1$, settes D (eksisterende) = I (eksisterende) ÷ 6 x Z.

Så snart fortilpasningsmodusen er blitt fullført, returneres regulatorsystemet 10 til sin "Hvilemodus".

Foradapteren 112 realiseres fortrinnsvis som et datamaskin-programvareprogram som av fagfolk på området kan utvikles ut fra de funksjoner og operasjoner som er beskrevet foran (i forbindelse med fig. 9 og 10). Idet det henvises til fig. 1B, er det program som realiserer foradapteren, lagret i EPROM 408 som benyttes av mikroprosessen 404. De forskjellige data og den informasjon som mottas, genereres og frembringes av foradapteren 112, er lagret i RAM 406.

Det skal påpekes at selv om adapteren 34 reagerer på reguleringssløyfens 8 lukket-sløyfe-respons, er også sløyfens åpen-sløyfe-respons anvendelig da foradapteren 112 også er en selvavstemmende regulator.

På fig. 11 er vist seksten konvergensopptegninger for situasjoner i hvilke prosessen er dominert av forsinkelse og D-koeffisienten er satt lik null, slik at regulatoren er av PI-type. Hver X for hver opptegning representerer den opprinnelige startverdi for regulatorens P- og I-koeffisienter. Det skal bemerkes at hvert segment av en opptegning representerer en tilpasnings-vurderingssyklus for regulatoren. Knekkpunktene for hver opptegning representerer følgelig en situasjon hvor nye verdier av koeffisienter er blitt innstilt i regulatoren. Slik det kan innses, konvergerer alle de seksten opptegninger til de samme endelige verdier for P- og I-koeffisientene, selv om de opprinnelige verdier av disse var spredt i et vidt område. På fig. 11 er også vist en kurve 300 (som er vist uten horisontale og vertikale skalaer) som er mønsteret av feilsignalets oppførsel når regulatoren er innstilt med sine endelige verdier for P- og I-koeffisientene som er angitt til høyre for konvergensopptegningene.

På fig. 12 er regulatoren av PID-type, og prosessen er forsinkelsesdominert. Det skal bemerkes at dempnings (DMP)- og oversving (OVR)-tvangsmidlene for dette tilfelle ikke er de samme som de som ble benyttet i det tilfelle som er vist på fig. 11. Slik det kan innses, konvergerer alle de seksten opptegninger til de samme endelige verdier for P- og I-koeffisientene. Det skal også bemerkes at fig. 12 er en todimensjonal opptegning og at konvergens av D-koeffisienten ikke er inntegnet. En kurve 302 er det feilsignalmønster som fremkommer når regulatoren er innstilt med de endelige verdier av PID-koeffisientene.

Idet det henvises til fig. 13, er regulatoren av PID-type og prosessen er dødtid-dominert. I dette tilfelle finnes det fjorten opptegninger som alle konvergerer mot et endelig sett av verdier for PID-koeffisientene. En kurve 304 viser mønsteret av feilsignalets oppførsel når regulatoren er innstilt med de endelige verdier som er vist til høyre for opptegningene.

Den regulator som benyttes i det tilfelle som er vist på fig. 14, er av PID-type. I dette tilfelle blir prosessens egenskaper variert, og en kurve 306 representerer verdiene av P- og I-koeffisientene (D-koeffisienten ikke vist) som ble beregnet og senere benyttet av regulatoren. Det skal bemerkes at de endelige verdier av koeffisientene aldri ble beregnet på grunn

av at prosesseegenskapene ble endret før regulatoren kunne finne disse endelige verdier. Som en prøve på regulatorens repeterbarhetsegenskap ble prosesseegenskapene returnert til sine opprinnelige verdier på en måte som var det omvendte av den som ble
5 benyttet for å øke prosesseegenskapene. Slik det kan innses, er kurvens 306 returdel i det vesentlige den samme som for den ledende del. En kurve 308 viser mønsteret av feilsignalets oppførsel når regulatoren er innstilt med de opprinnelige verdier for PID-koeffisientene. Disse opprinnelige verdier eller
10 begynnelsesverdier er angitt til høyre for opptegningen.

15

P a t e n t k r a v

1. Innretning for automatisk innstilling av styreparametrene til en selvavstemmende regulator (42) som er koplet til en prosess (12) i en lukket sløyfe for å styre en prosess-styrt
20 variabel som har en referanseverdi (22) og målte verdier (18), hvilken innretning omfatter

en første komparatoranordning (30) som reagerer på differanser mellom referanseverdien (22) og målte verdier (18) av den prosess-styrte variable for å frembringe et feilsignal,

25 en detektoranordning (16) som reagerer på feilsignalet for å måle en mønsterkarakteristikk av dette og frembringe en målt verdi av mønsterkarakteristikken, og

en innstillingsanordning for automatisk innstilling av minst én av styreparametrene for å minimere differansen mellom
30 de målte og ønskede verdier av mønsterkarakteristikken, KARAKTERISERT VED at

en andre komparatoranordning (34) som er koplet til detektoranordningen (16), arbeider for å sammenlikne den målte verdi av mønsterkarakteristikken med en forutbestemt, ønsket
35 verdi for mønsterkarakteristikken,

innstillingsanordningen er koplet til den andre komparatoranordning (34) og reagerer på en differanse mellom de målte og ønskede verdier av mønsterkarakteristikken, slik at den målte verdi i hovedsaken passer til referanseverdien, og

innstillingsanordningen videre omfatter en avstemnings-
korrigerende anordning for endring av den nevnte driftsparameter
med en faktor som er proporsjonal med differansen mellom de målte
og ønskede verdier av mønsterkarakteristikken, den eksisterende
5 verdi av driftsparameteren som er innstilt i regulatoren, og en
periodeverdi som representerer svingetidsperioden av feilsignalet
for den lukkede sløyfe.

2. Innretning ifølge krav 1, KARAKTERISERT VED at innstil-
lingsanordningen også arbeider for å frembringe den nevnte
10 periodeverdi i proporsjon til den eksisterende verdi av drifts-
parameteren.

3. Innretning ifølge krav 2, KARAKTERISERT VED at innstil-
lingsanordningen innstilles i overensstemmelse med Ziegler-
Nichols-reglene for innstilling av periodeverdien.

15 4. Innretning ifølge krav 2, KARAKTERISERT VED at minst to
mønsterkarakteristikker måles, og at innstillingsanordningen også
endrer driftsparameteren i overensstemmelse med en funksjon som
inneholder differansen mellom de to målte mønsterkarakteristik-
ker.

20 5. Innretning ifølge krav 4, KARAKTERISERT VED at diffe-
ransen mellom de to målte mønsterkarakteristikker i en pågående
syklus av innstillingsanordningen benyttes til å bestemme når
verdien av den driftsparameterendrende faktor endres fra den som
ble frembrakt i en tidligere syklus av innstillingsanordningen.

25 6. Innretning ifølge krav 1, KARAKTERISERT VED at mønster-
karakteristikken inneholder en toppamplitude av en lokal
ekstremverdi av feilsignalet, og en andre ikke-toppamplitude av
feilsignalet i et punkt som er senere i tid i forhold til den
lokale ekstremverdi, idet innretningen videre inneholder en
30 anordning som er koplet til detektoranordningen (16) for å
kombinere den nevnte toppamplitude og den senere amplitude for
å frembringe en målt verdi av mønsterkarakteristikken.

7. Mønstergjenkjennende, selvavstemmende regulatorinn-
retning som er koplet til en prosess (12) i en åpen-sløyfe-modus
35 for å styre en prosess-styrt variabel som har en rekkefølge av
verdier ved tilknyttede tidspunkter, idet regulatorinnretningen
(42) har minst én driftsparameter som påvirker hvordan den
reagerer på en endring av et inngangssignal til denne, idet
prosessen reagerer på et styresignal som frembringes av regula-

torinnretningen (42),

KARAKTERISERT VED

en anordning (408) for generering av et kurvesignal (114) som representerer en tidsopptegning av den nevnte rekkefølge av verdier av den prosessstyrte variable, og

en hellingsdetekterende anordning (404) som reagerer på kurvesignalet (114) som fremkommer når styresignalet ved et tidspunkt T på passende måte "skumpes" fra ett nivå til et annet nivå, slik at den prosessstyrte variable tilsvarende endres fra én stasjonær tilstand med en første tidsbasislinje til en ny stasjonær tilstand med en andre tidsbasislinje, idet den hellingsdetekterende anordning omfatter en anordning (404)

for bestemmelse av hellingene av linjer som strekker seg fra et punkt T_i som er fiksert på den første tidsbasislinje, til suksessive verdipunkter av kurvesignalet etter hvert som den prosessstyrte variable endrer seg fra den nevnte ene til de nye stasjonære tilstander,

for utvelgelse blant de nevnte linjer av en linje som har en maksimal absolutt-hellingsverdi, og

for identifisering av et verdipunkt av det nevnte kurvesignal gjennom hvilket linjen med maksimal helling passerer som et øvre vendepunkt.

8. Innretning ifølge krav 7, KARAKTERISERT VED at en støyanordning omfatter

en høypass-filtreringsanordning (140) for fjerning av foreskrevne høyfrekvenskomponenter fra kurvesignalet,

en integratoranordning (144) som er koplet for å motta filtreringsanordningens utgangssignal for å integrere utgangssignalet over et foreskrevet tidsintervall, og

en middelveerdidannende anordning (148) som reagerer på integratoranordningens utgangssignal for å generere et støybånd-signal med en verdi 2NB som representerer kurvesignalets topp-til-topp-støybåndsegenskap, og som er basert på en foreskrevet middelveerdi av integratoranordningens utgangssignal.

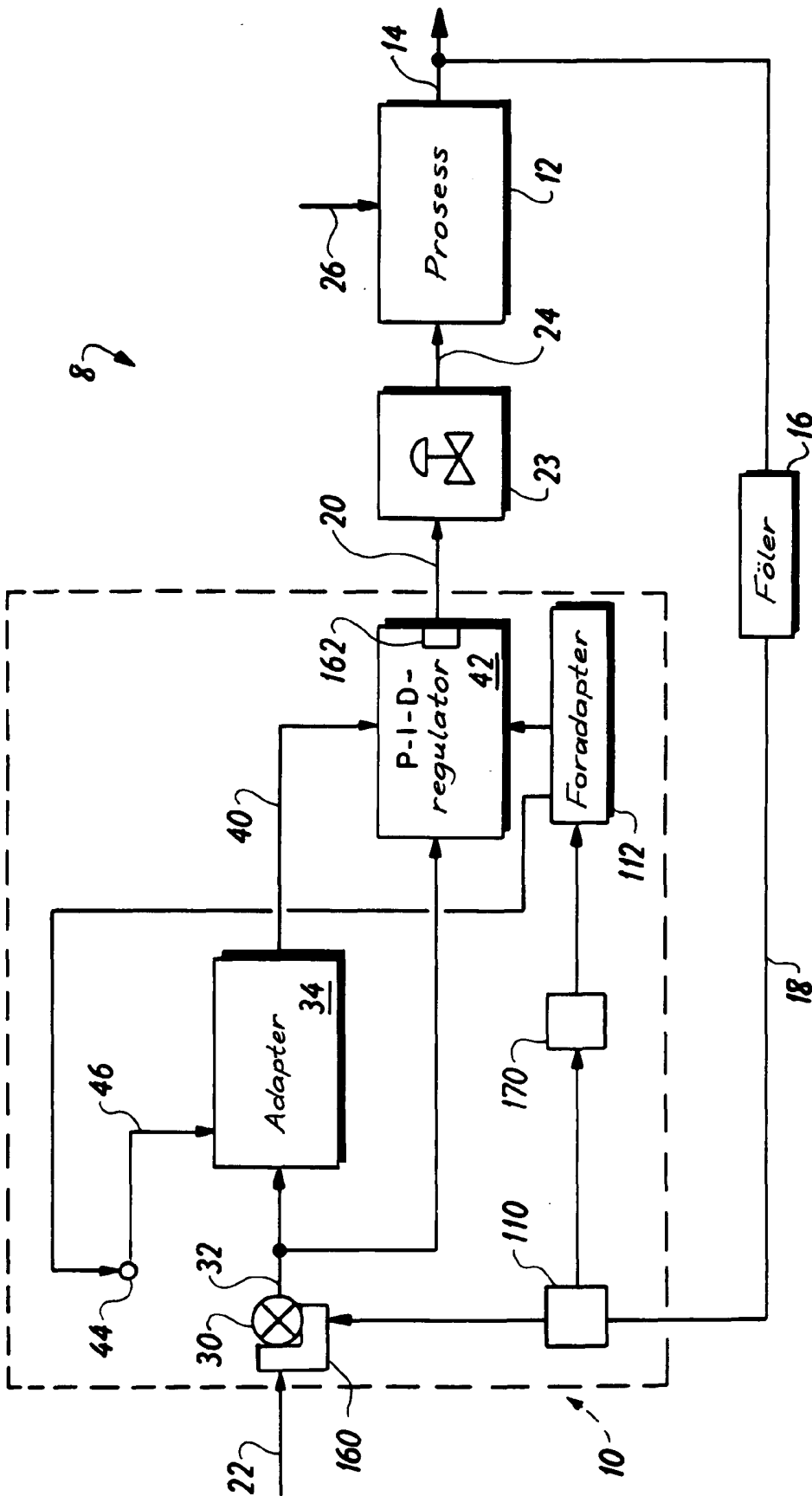


FIG. 1A

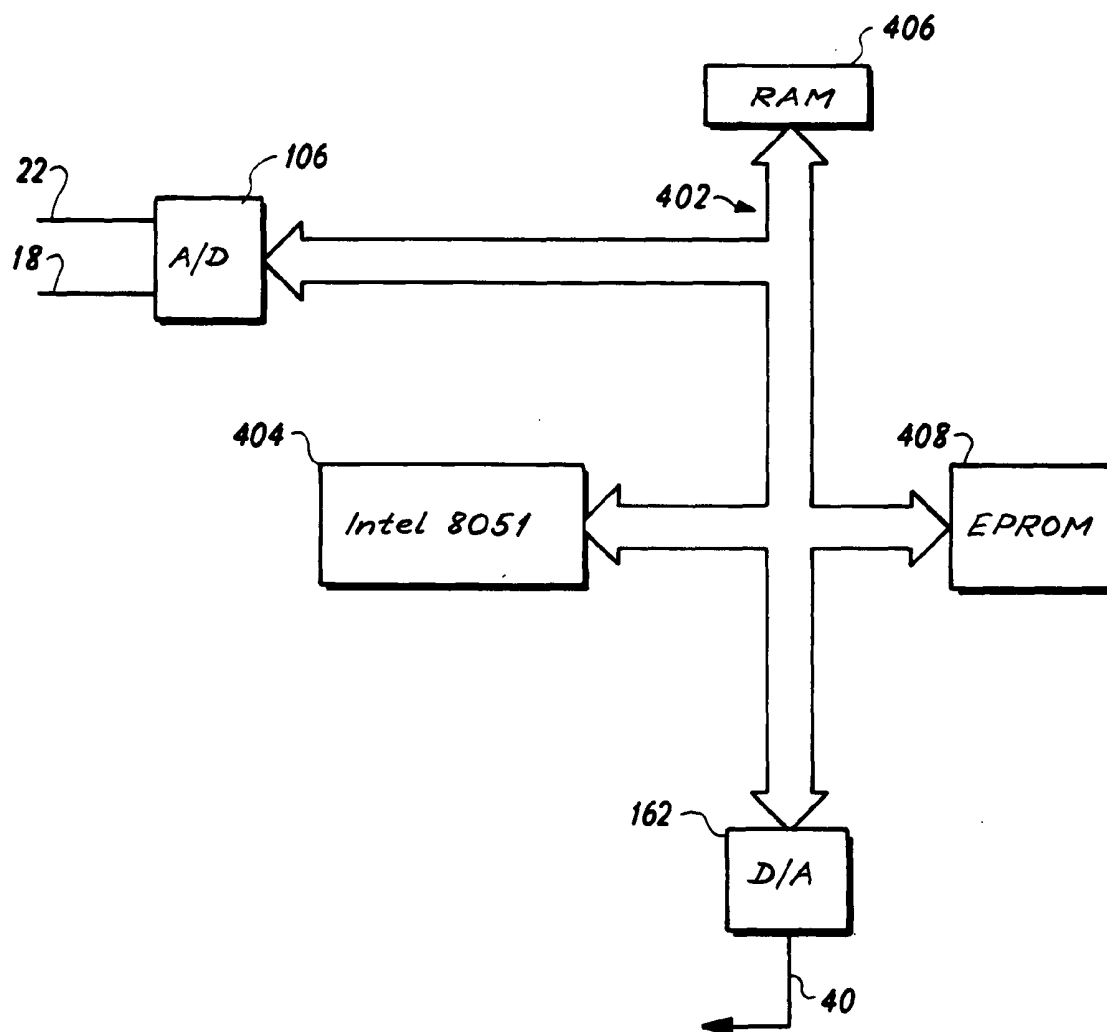


FIG. 1B

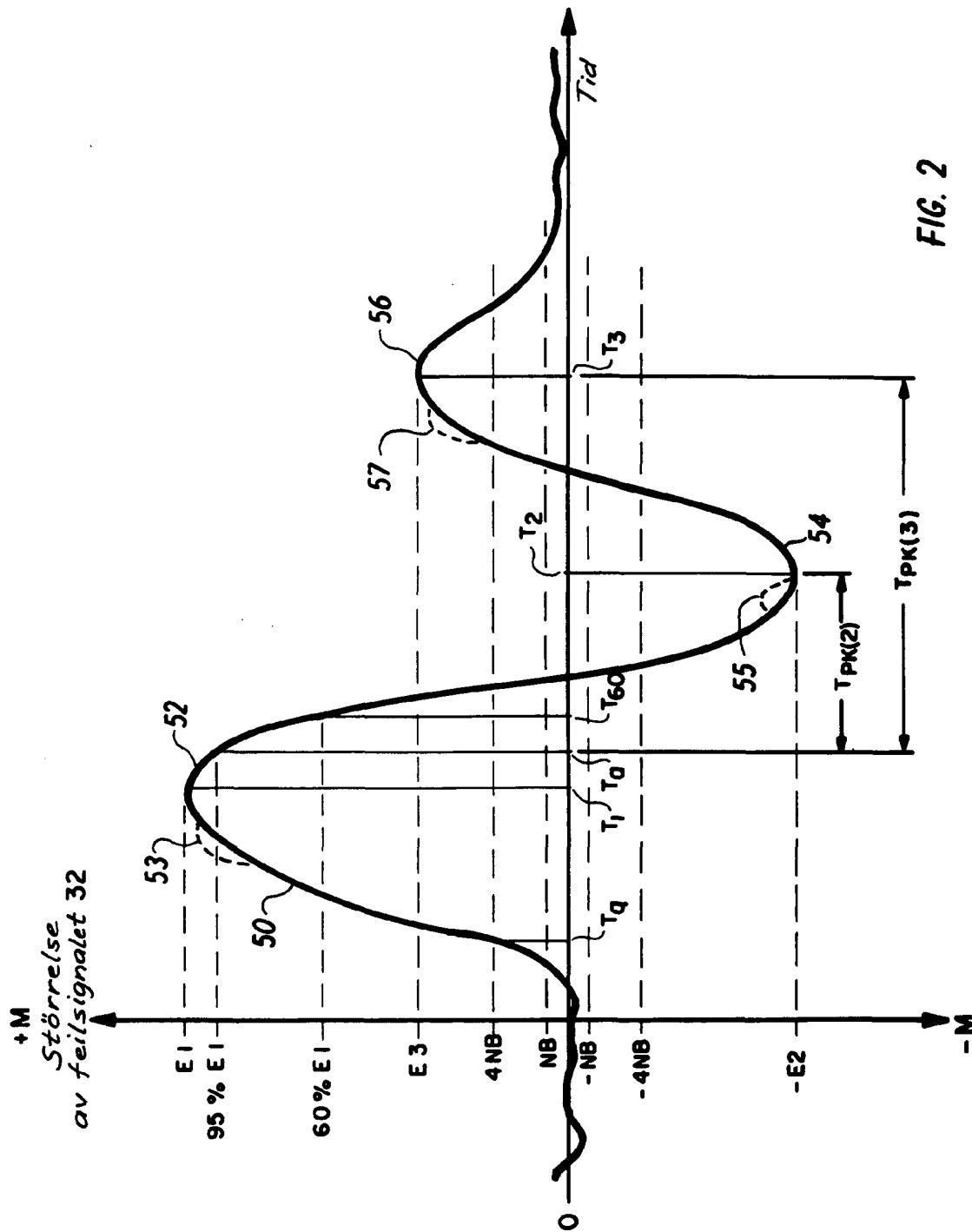
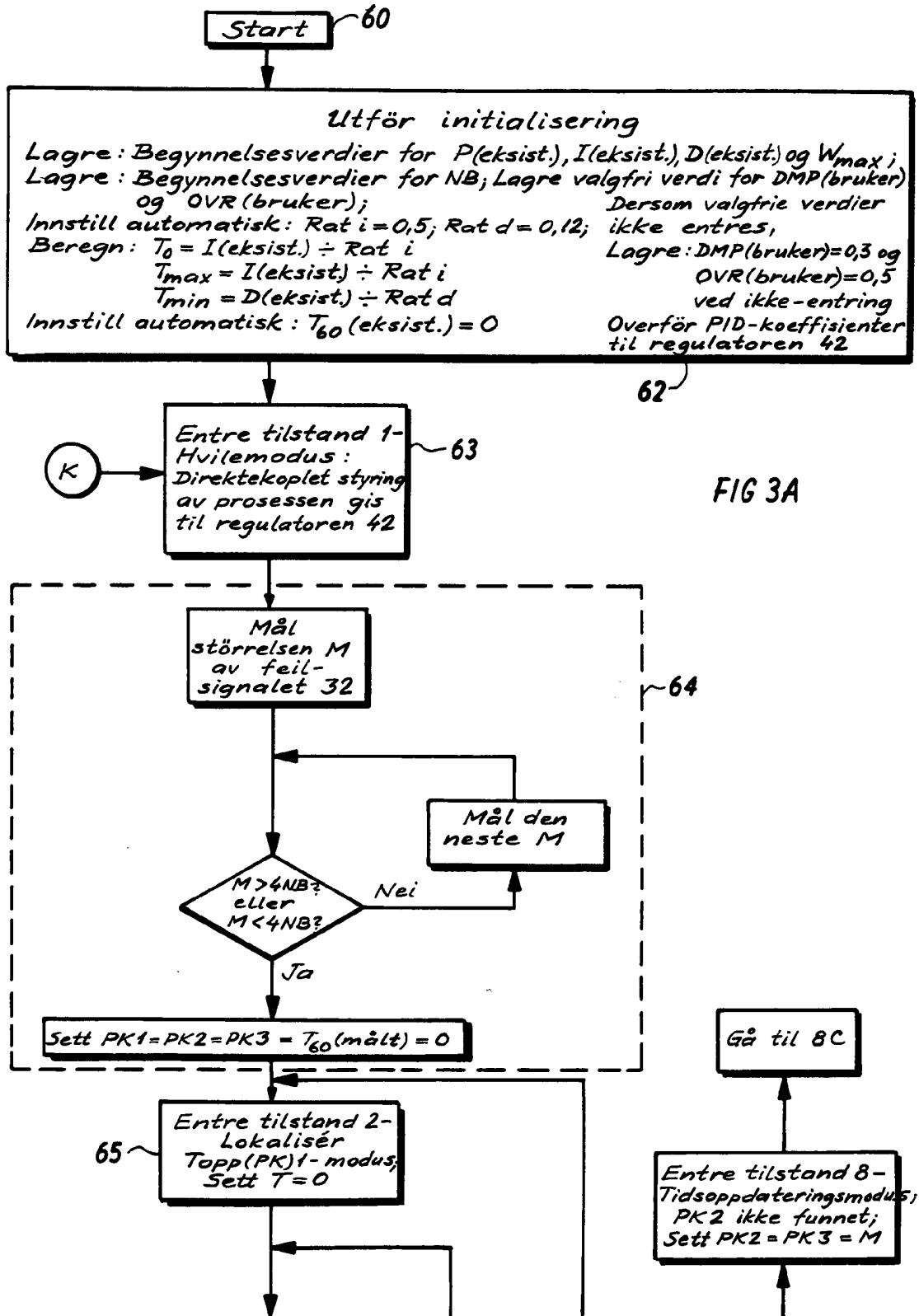
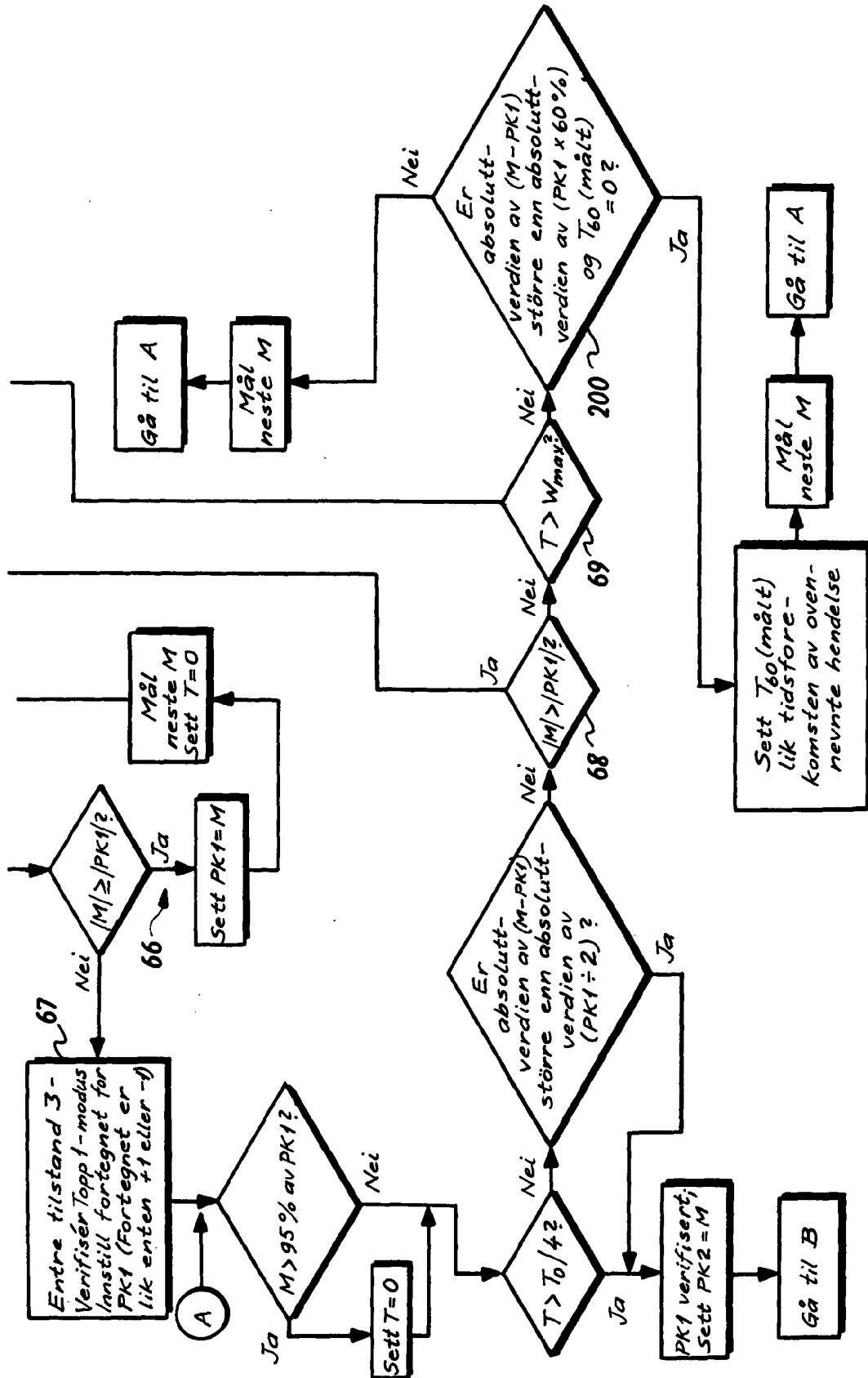


FIG. 2





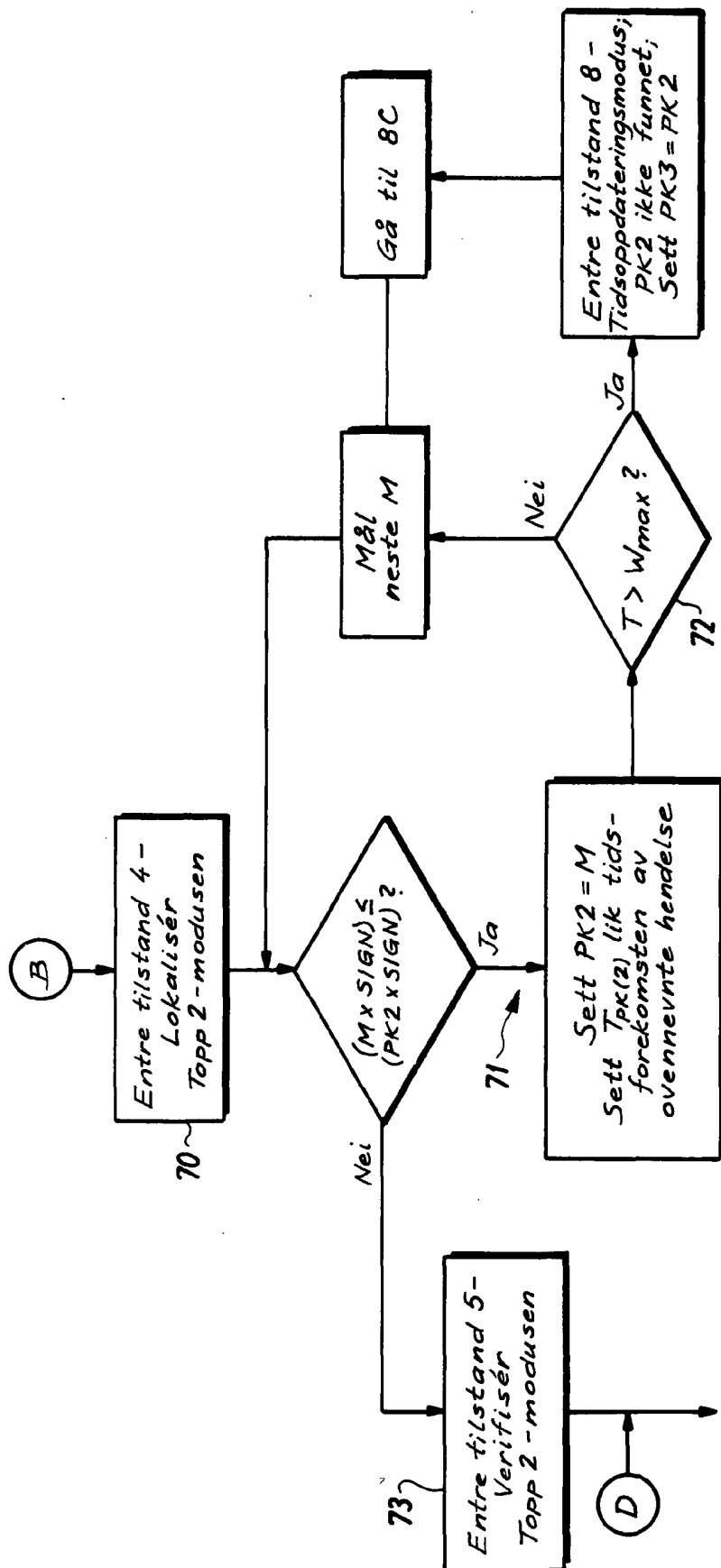


FIG. 4A

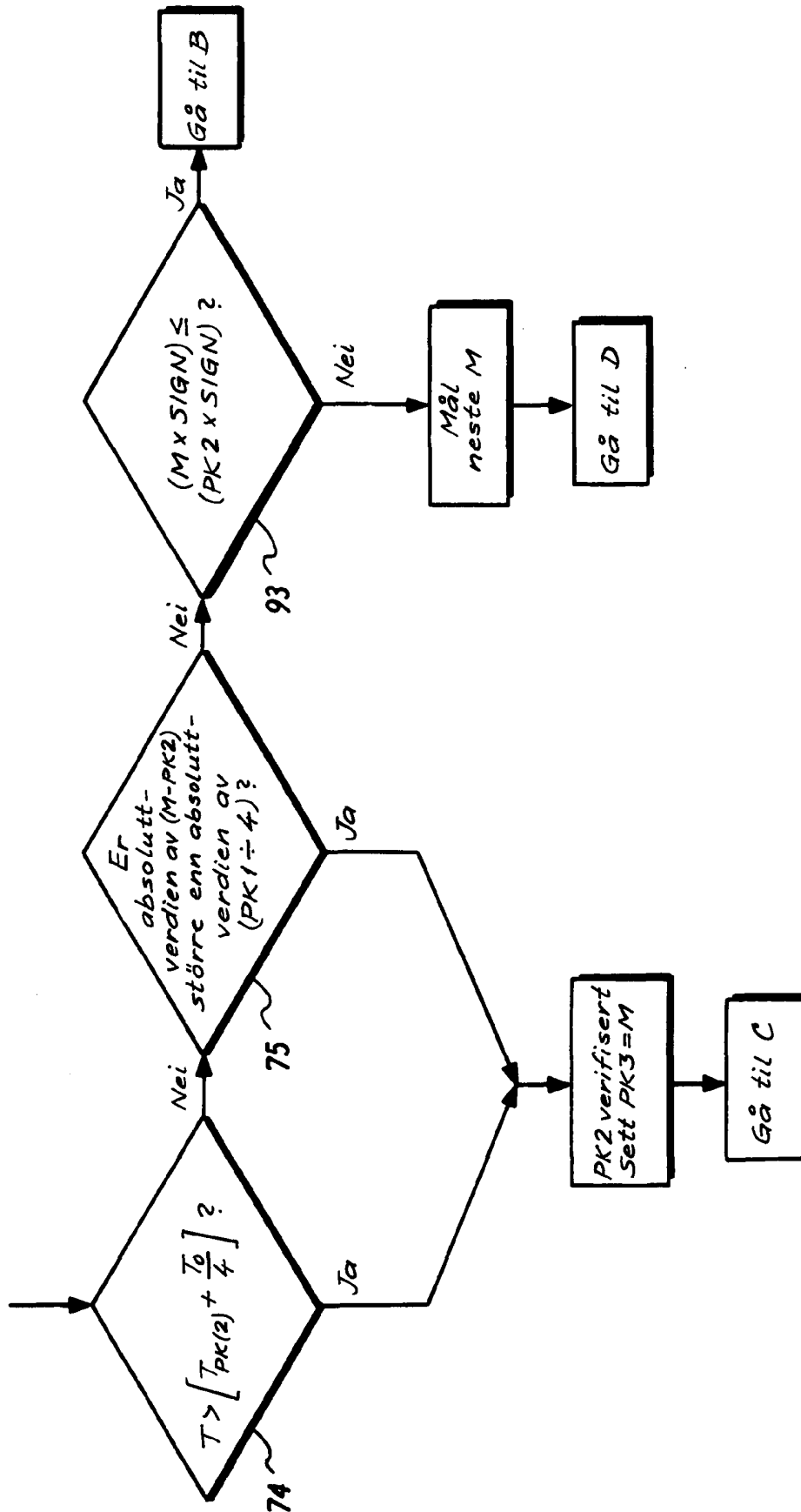


FIG. 4B

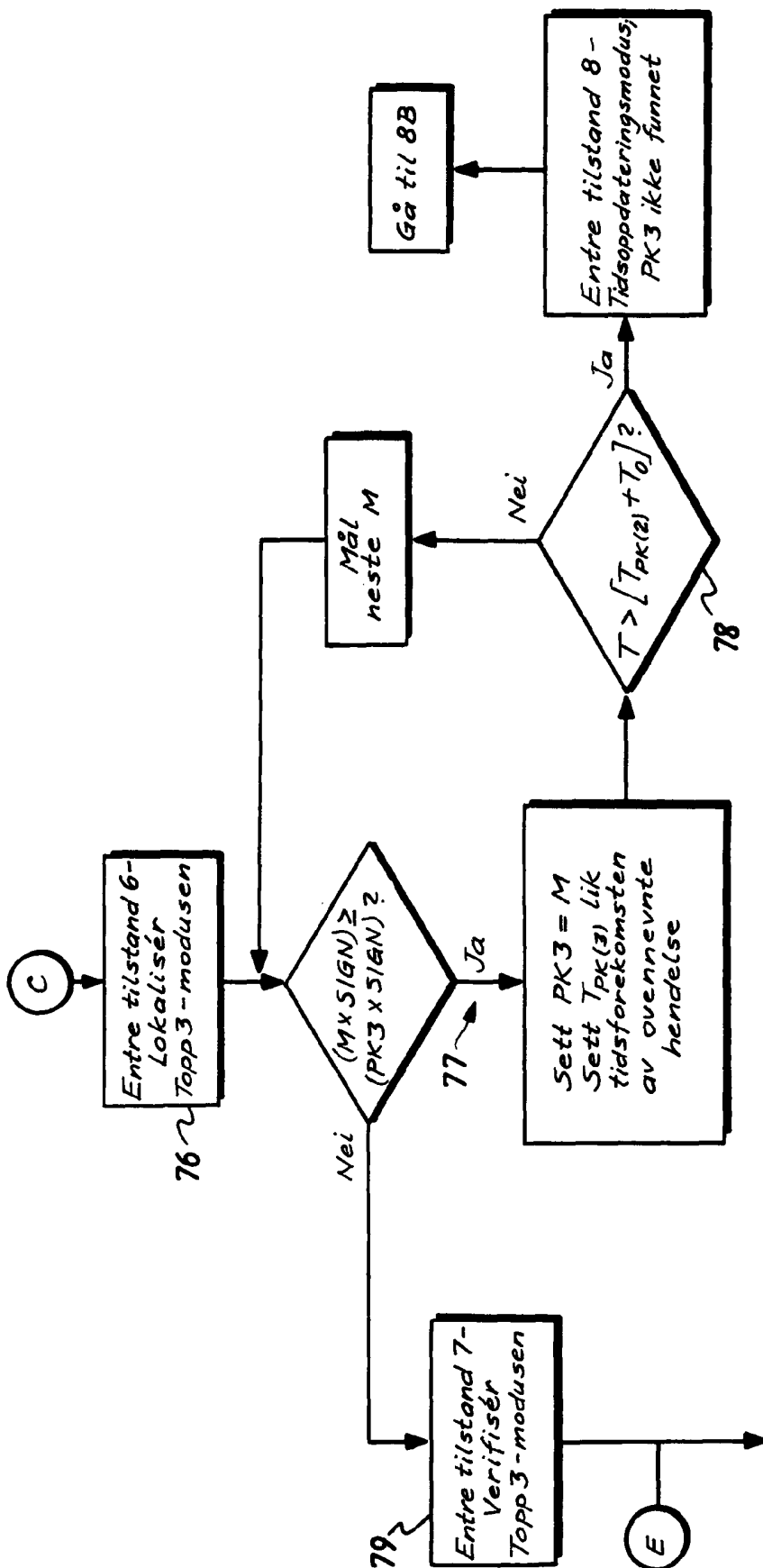


FIG. 5A

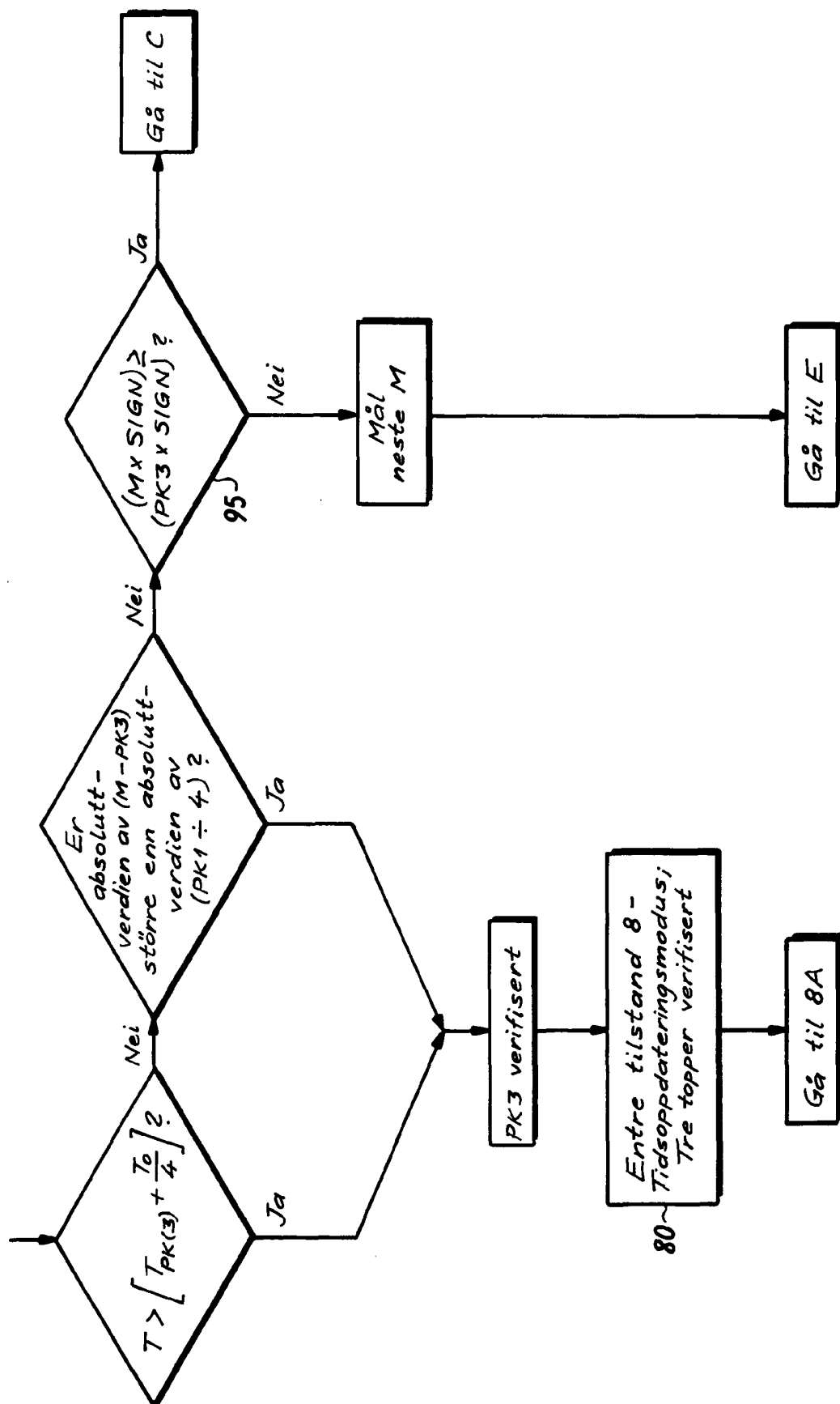


FIG. 5B

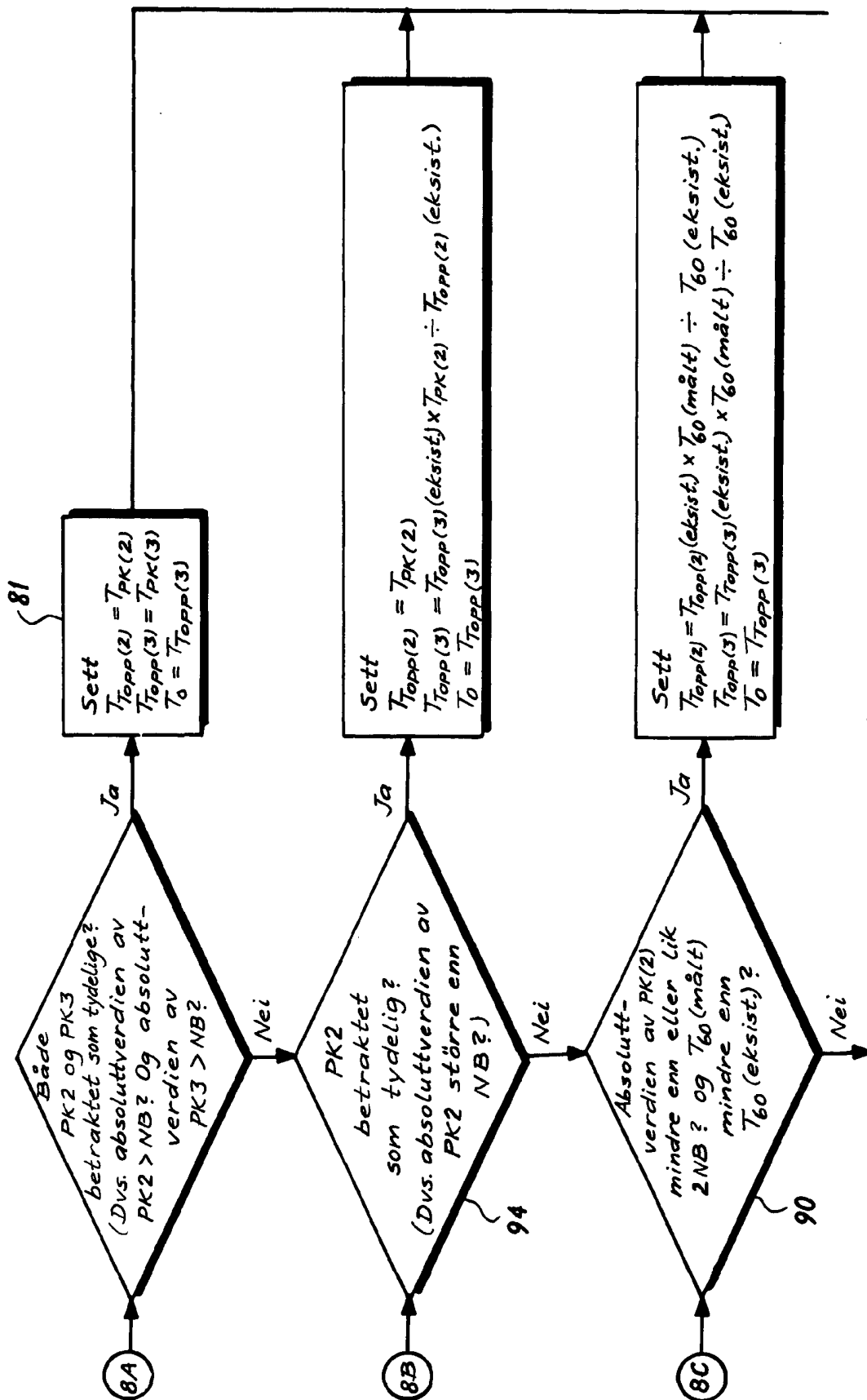


FIG. 6A

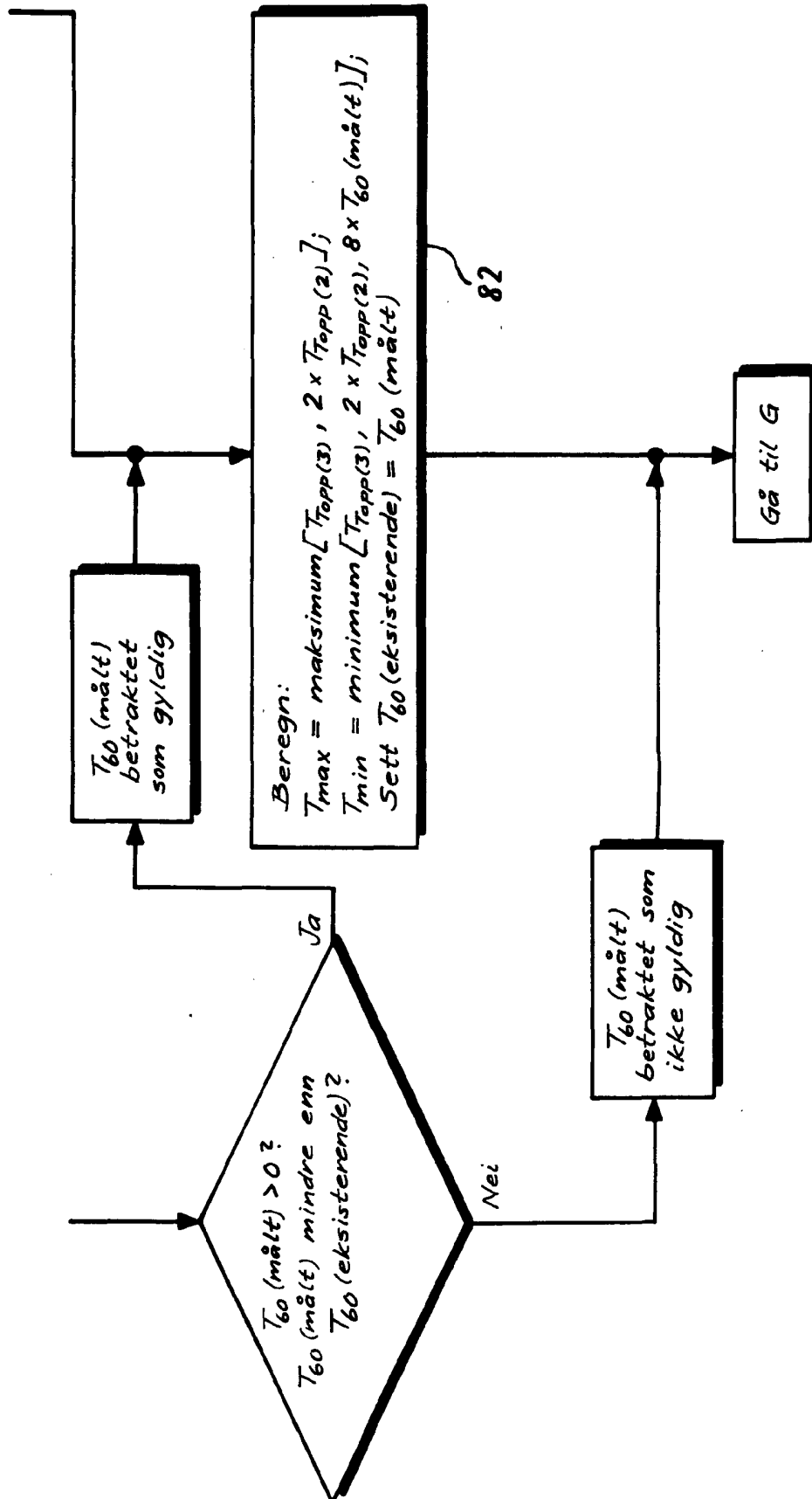
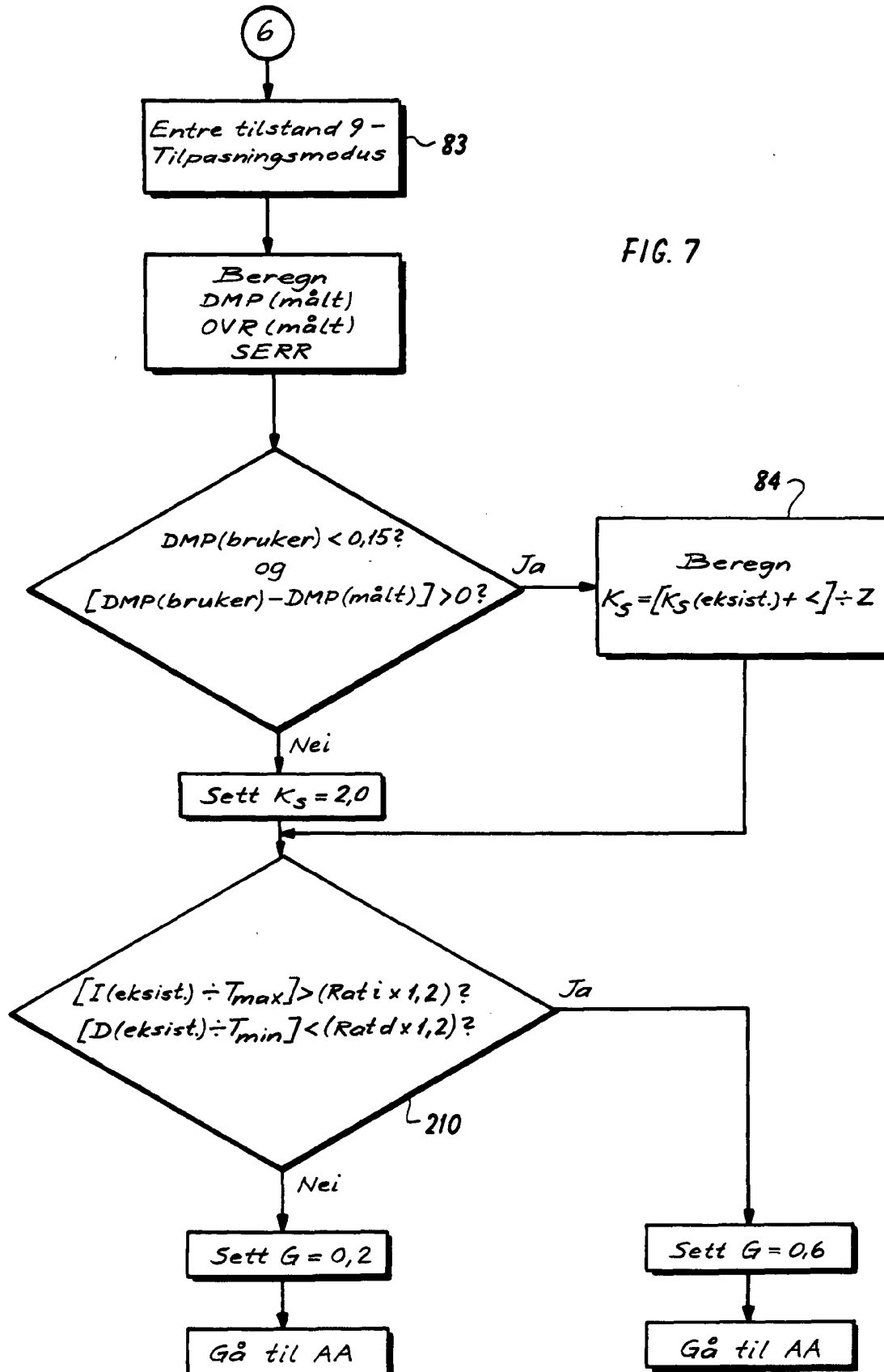


FIG. 6B

FIG. 7





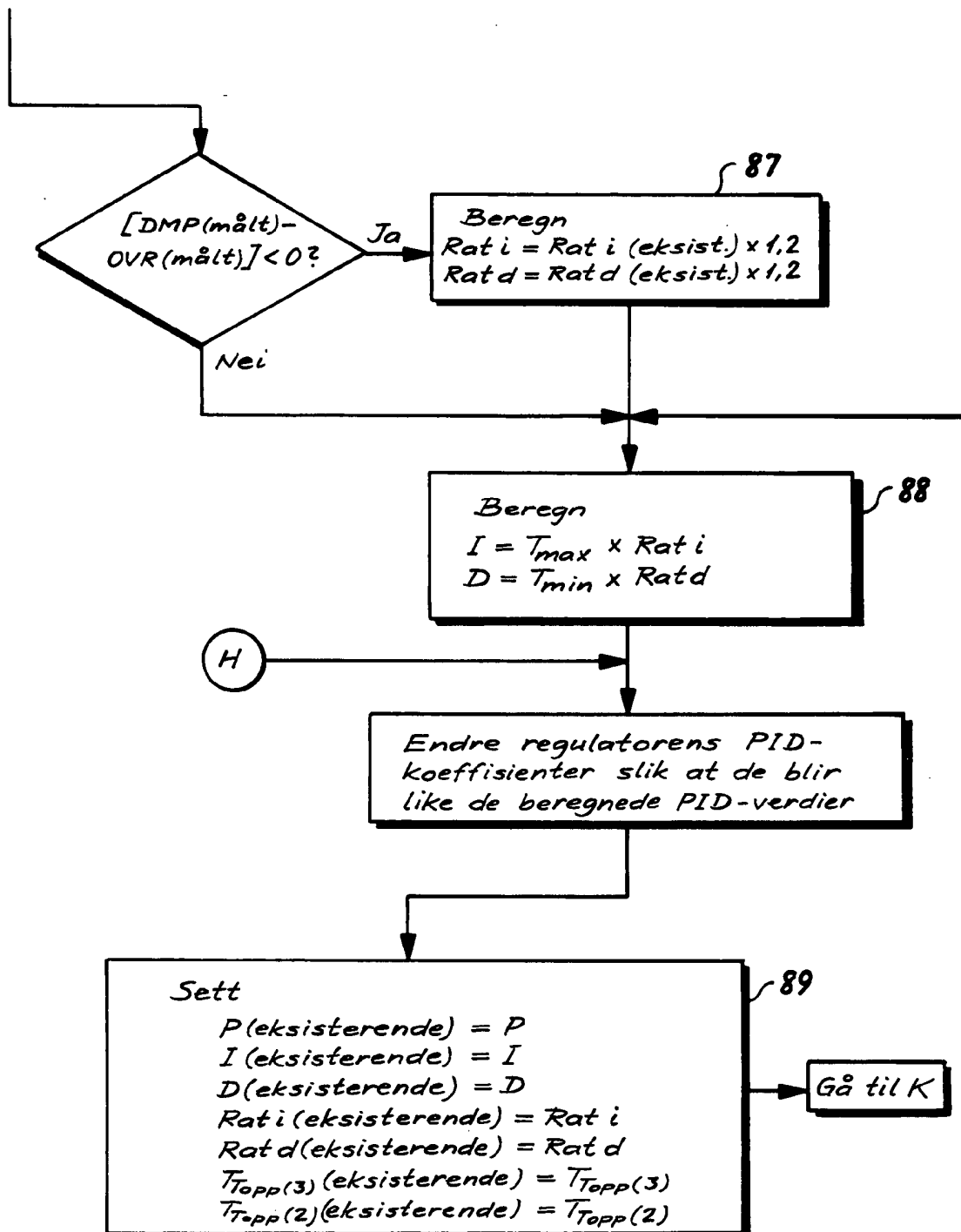


FIG. 8B

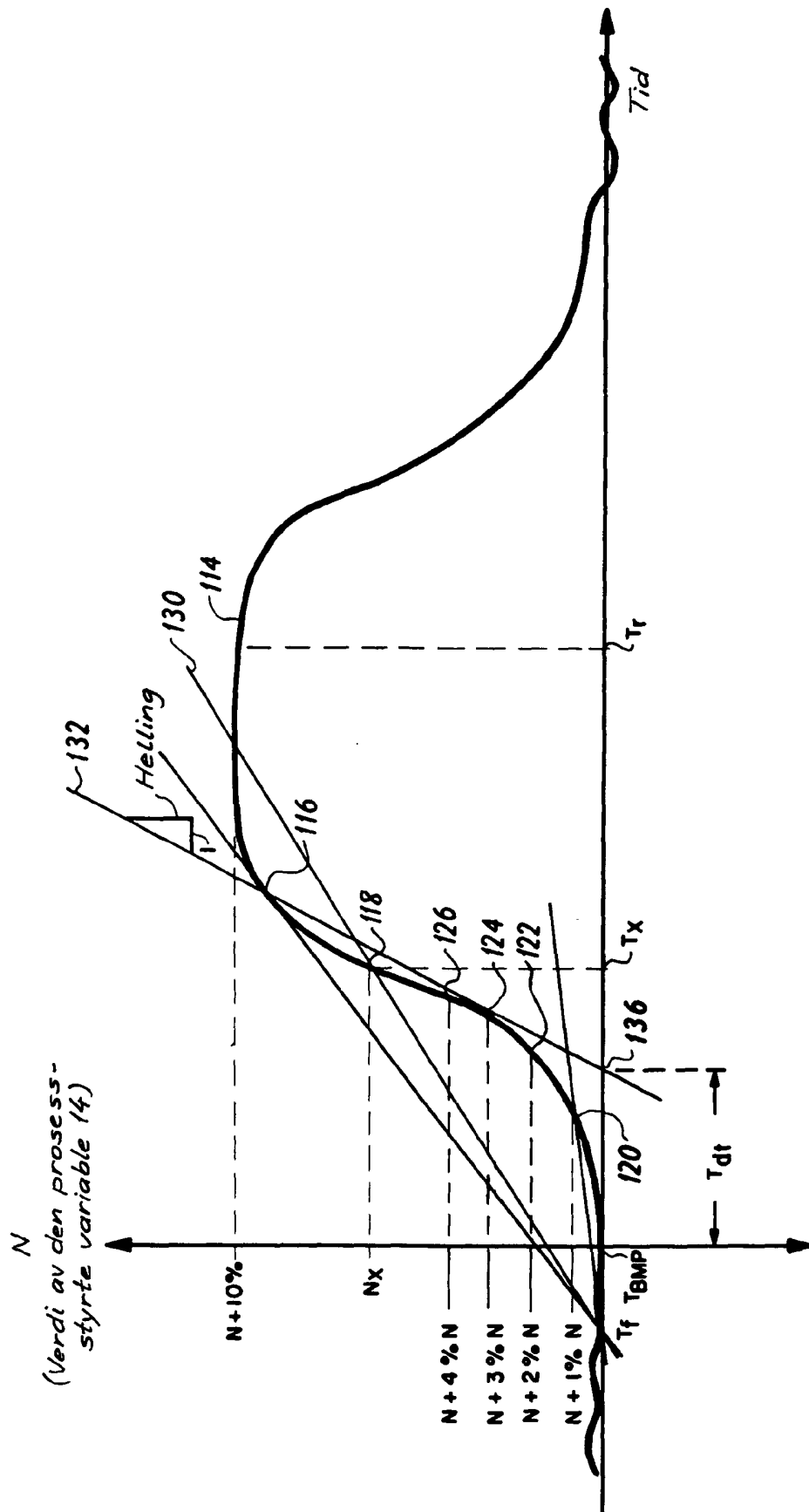


FIG. 9

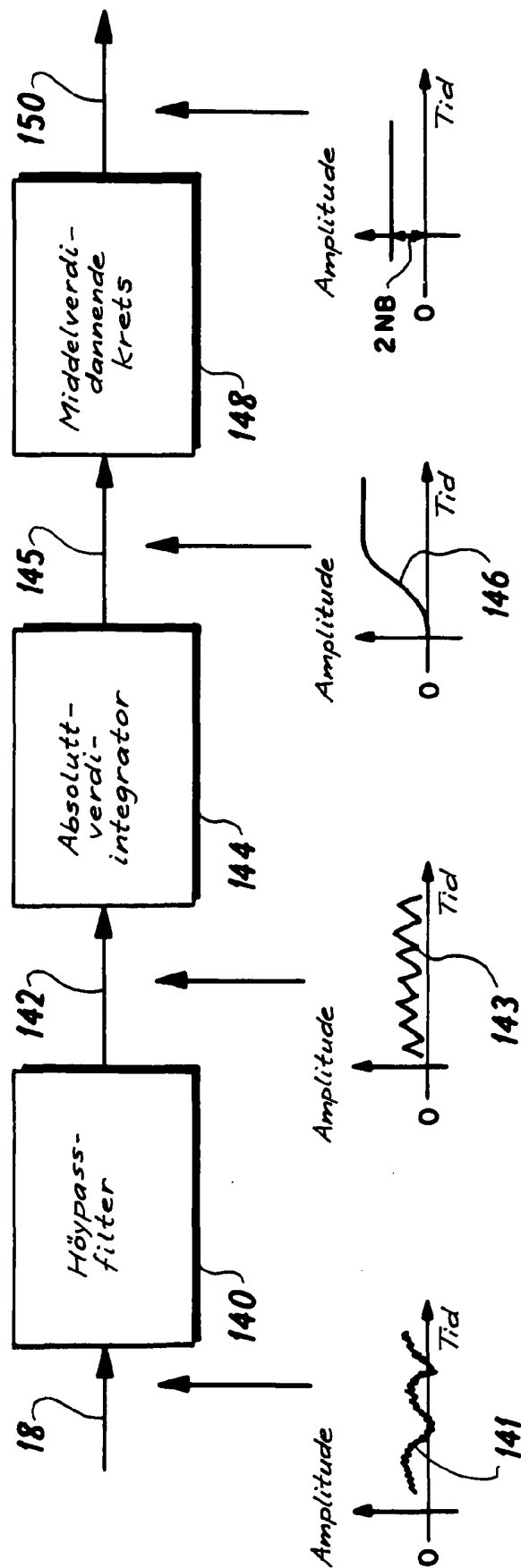
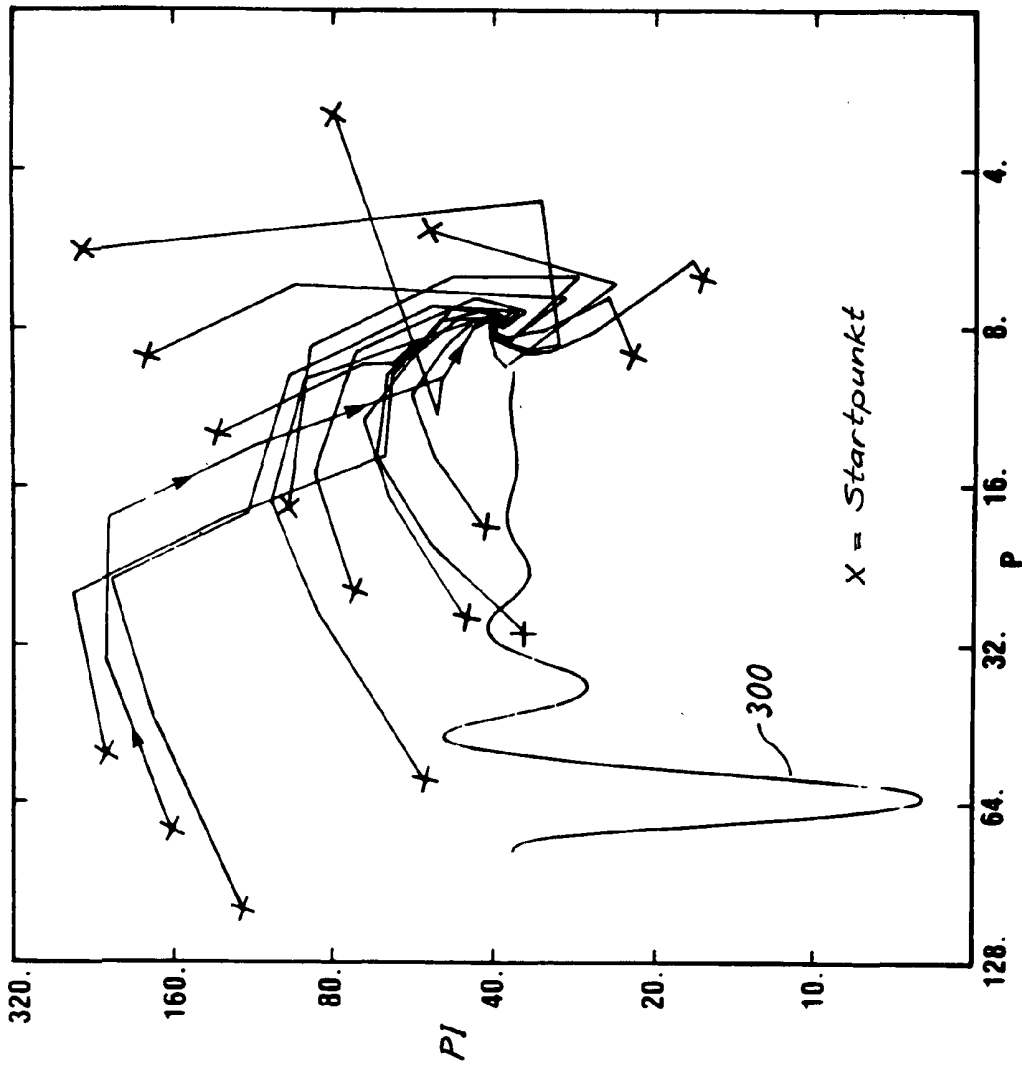


FIG. 10



Konvergens-
opptegning
for
forsinkelses-
dominant
prosess
Ingen derivert

Sprangbelastning
DMP=0,3, OVR=0,3
DFCT=0
P=7,75
I=5,1
D=0
max=-1,76

FIG.11

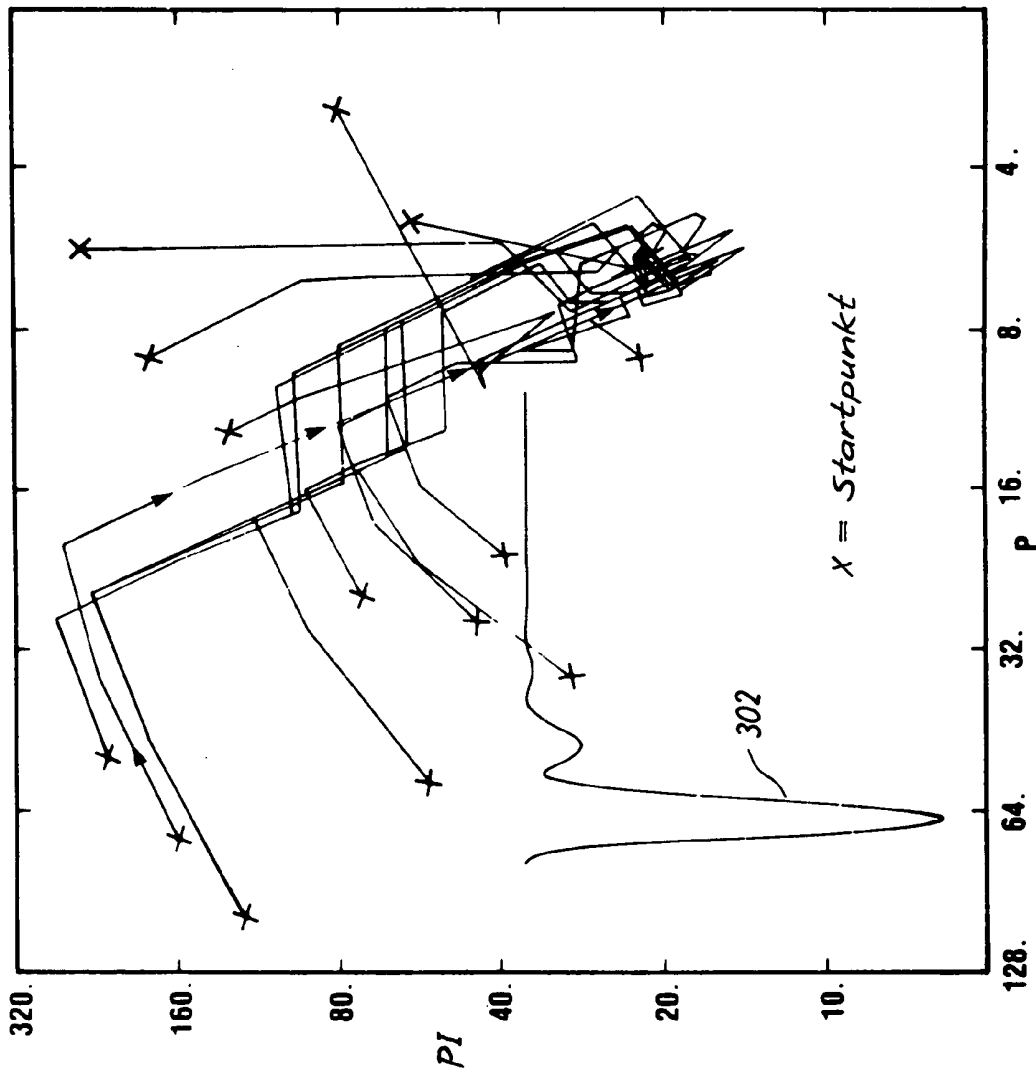


FIG.12

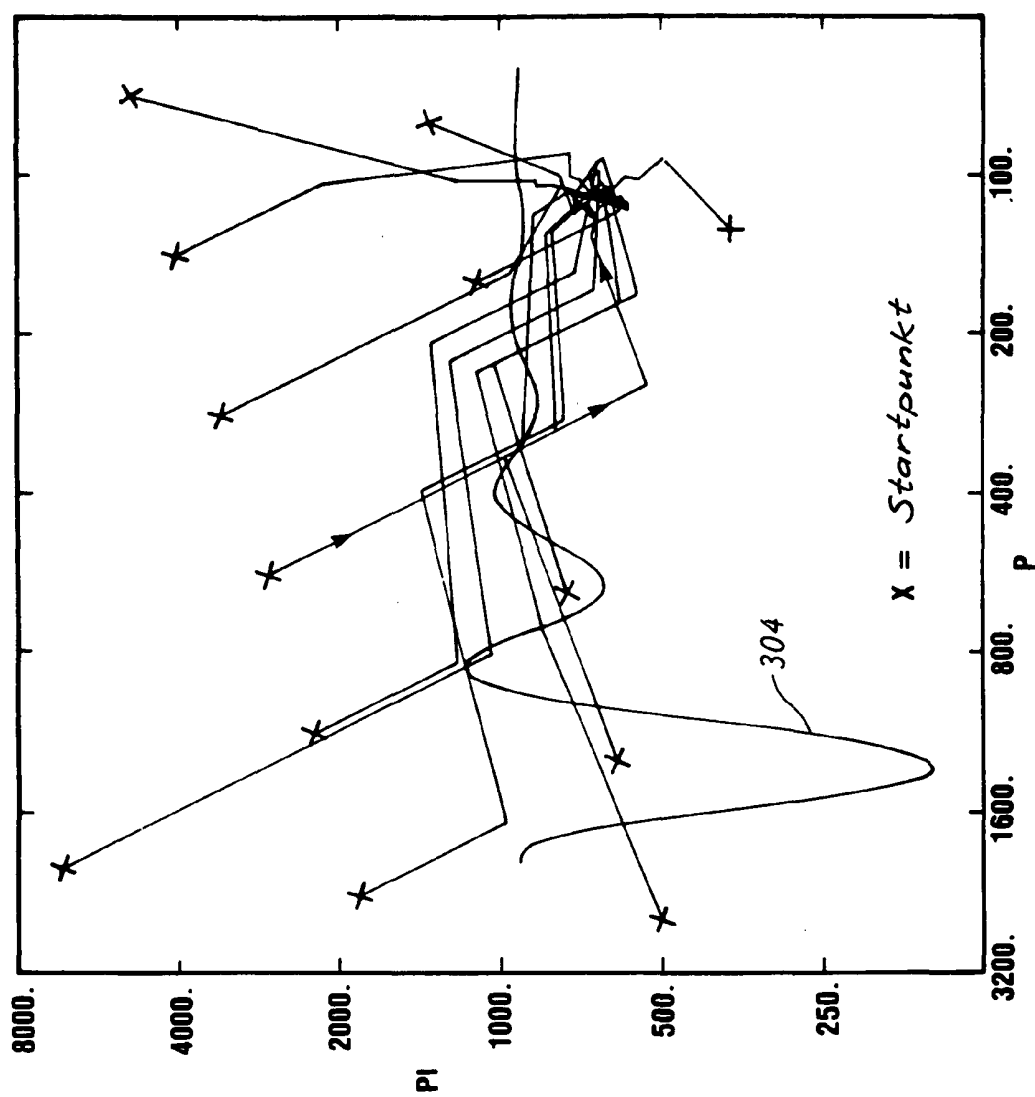
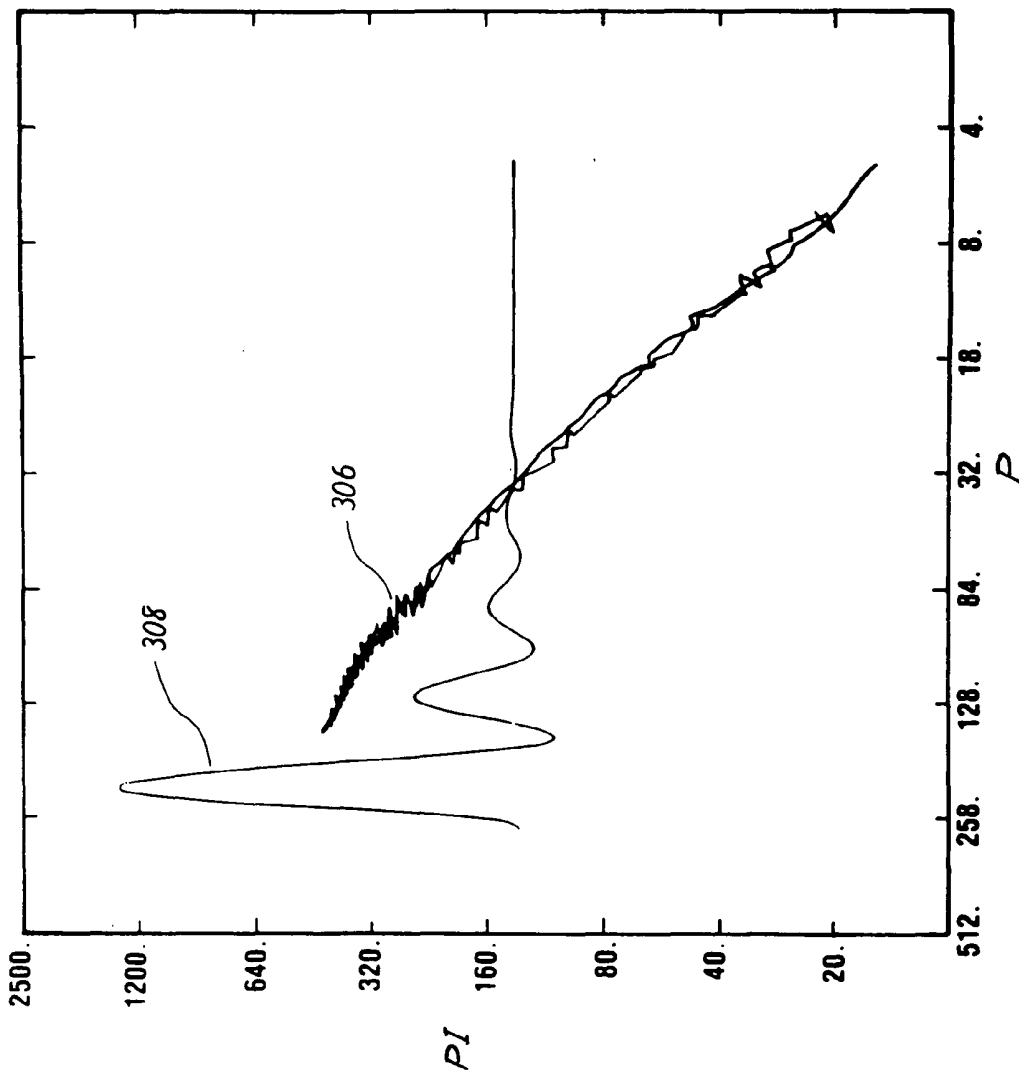


FIG.13



Proessen
varierer

DMP = 0,3
OVR = 0,1

P = 146
I = 2,8
D = 0,63
 $\tau = 0,43$
 $\tau_{dt} = 2,0$
max = 4,53

$\tau_{1-4} = 0,5$
Fordeling = -5,0

FIG. 14