



Oppfinnelsen angår generelt styring av valsestøpeprosesser, og særlig systemer som genererer nødvendige styringsvirkninger for å holde forskjeller mellom ønskete og virkelige prosessparameterverdier så nær null som mulig.

Hittil har det ikke vært noen totalt integrert automatisk pakke for nøyaktig kontinuerlig styring av metallsmeltes frysefront-plassering i inngangpartiet til støpevalser, tykkelsen på metallet som kommer ut av valsene ved å kompensere for valse-eksentrisitet og kombinasjon og utkobling av forskjellige automatiseringssystemer for å gi en slik integrert pakke.

For eksempel beskriver U.S. Patent 4 497 360 til Bercovici en fremgangsmåte for å optimalisere produktiviteten til en valsestøpemaskin ved å måle dreiemomentet som utøves på minst en av valsene, påkjenningen på valselagrene eller temperaturen på båndet som kommer ut av maskinen. Avvik fra en konstant regnet tidligere middelvei for en eller flere av de ovenfornevnte parametrene brukes så for å styre valsehastigheten. Hvis avviket overskrider et referanseavvik reduseres maskinens støpehastighet inntil avviket blir mindre enn referanseavviket. Støpehastighet økes deretter så lenge avviket holder seg lavere enn referanseavviket.

Publisert Europeisk Patentsøknåd 138 059 viser styring av størkningstid og metallfrysefrontplassering i inngangspartiet til valsene i en valsestøpemaskin ved å måle et valse-dreiemoment eller valsetrykk og så styre valsenes rotasjons-hastighet som en funksjon av dreiemoment eller trykk.

Frysefrontplassering og utgående båndtykkelse hører meget nært sammen. Dette kommer frem ved å betrakte tykkelsesmålelingen

$$h(t) = \frac{\Delta F(t)}{M} + \Delta S(t) \quad (1)$$

hvor h er båndutgangstykkelse, F er adskillelseskraft, M er valseverksmodul og S er det ubelastete valsemellomrommet ("t" brukes for å vise parametrenes tidsavhengige karakter). Ligning 1 sier ganske enkelt at utgående båndtykkelse er summen av ubelastet valsemellomrom pluss valseverkstrekket.

Adskillende kraft og valsemellomrom er negativt koblet. Hvis mellomrommet g mellom motstående valser minsker utføres der mer arbeid i valsing av metallet. Dette øker adskillelseskraften  $F$  og derved økes valseverkstrekket og dette kompenserer delvis for den originale reduksjonen i valsemellomrommet. Omvendt hvis valsemellomrommet skulle øke, trengs det mindre arbeid for å valse metallet og adskillelseskraften minsker noe som reduserer valseverkstrekket. Hvis støpeprosessen ikke ble styrt på noen måte ville bare en del av valsemellomromforstyrrelsene fremkomme som forstyrrelser i utgangstykkelsen.

Styring av frysefronten justerer overflatehastigheten kontinuerlig slik at frysefronten forblir på samme sted og arbeidsmengden som tilføres metallet forblir konstant. Valseverkstrekkuttrykket i ligning 1 kan således settes tilnærmet lik en konstant i en modifikasjon av ligning 1 som følger:

$$\Delta h(t) = K + \Delta S(t) \quad (2)$$

Hvis bare frysefrontstyring brukes vil alle valsemellomromvariasjonene ses i utgangstykkelse. På grunn av koblingen mellom frysefront og utgangstykkelse påvirkes utgangstykkelsen sterkere av valsemellomromforstyrrelse hvis frysefrontstyring brukes uten dynamisk styring av valsemellomrommet.

Derfor går en viktig utførelse av oppfinnelsen ut på å sørge for samtidig anordning eksentrisitetskompensasjon og frysefrontstyring for å unngå aksentuering av eksentrisitetsproblemet. Dette oppnås ved (1) å skille eksentrisitetsstyrrelser fra den totale frysefrontforstyrrelse, (2) bruke eksentrisitetsforstyrrelsene til å avlaste valsekraften dynamisk og (3) foreta frysefrontregulering ved bare å bruke den gjenstående frysefrontforstyrrelsesindikeringen (signal).

Nårmere bestemt tilveiebringer foreliggende oppfinnelse en integrert fremgangsmåte for automatisk styring av den posisjon hvor smeltet metall størkner i inngangspartiet til roterende valser i et valsestøpeapparat, som nærmere angitt i de etterfølgende patentkrav.

En teknikk for eksentrisitetskompensasjon som kan brukes i

den foreliggende oppfinnelsen er beskrevet i U.S. Patent 4 222 254 til King et al.

En overvåkningsdatamaskin brukes for å summere referanser for primære aktuatorstyringer som direkte styrer valsestøpeprosessen som detaljbeskrevet i det etterfølgende.

I de vedlagte tegningene er:

Figur 1 en skjematisk representasjon av en av oppfinnelsens styringsfremgangsmåter hvor styring av frysefronten oppnås ved å måle strømmen til motoren som driver valsene i valsestøpeapparat men eksentrisitetskompensasjon anordnes ved å måle valsekraft,

Figur 2 er en skjematisk representasjon i likhet med den i figur 1 når unntas at valsekraften er det målet som gir styring av både frysefront og eksentrisitet og

Figur 3 er en skjematisk representasjon av en valsestøpeprosess hvori tykkelsen på utgangsmetallet brukes for å utvirke eksentrisitetskompensasjon og automatisk tykkelsesstyring mens motorstrømmåling gir frysefrontstyring og en parameter alternativ til motorstrømmen for frysefrontstyring ville involvere valsekraft på en måte som likner den beskrevet i figur 2.

Det vises til tegningene hvor figur 1 skjematisk viser en valsestøpemaskin 10. Detaljene for slike maskiner er velkjent slik at det antas unødvendig å gi detaljer for disse i tegningene. Valsene i en valsestøpemaskin drives av en likestrømsmotors anker (ikke vist) i støpeprosessen og støpemellomrommets størrelse mellom motstående valser innstilles ved hjelp av mekaniske aktuatorer som for eksempel jekker, skruer eller fluidopererbare sylindere. I figur 1 måles den elektriske strømmen 7 gjennom støpemotorens anker og denne måleverdien mates tilbake til en summeringskobling 14 som indikert ved hjelp av linje 12. Det vil bemerkes i figur 1 at to tilleggsvalseparametre er vist nemlig kraften 8 hvormed støpevalsene valser metall i fast form i mellomrommet mellom valsene og tykkelsen 9 på metallproduktet som kommer ut fra valsene. Bruken av disse parametrene detaljdiskuteres i det etterfølgende.

Koblingen 14 er i tillegg anordnet en strømreferanseverdi 13 med motsatt polaritet til den som representerer ankerstrømmen. Referanseverdien anordnes av en person som opererer støpemaskinen

og denne personen gir referansen til en digital datamaskin som diskuteres i detalj nedenfor som et instillingspunkt for styring av motorstømmen. En datamaskin brukes for å summere referansestrømverdi og målt strømverdi.

Kobling 14 har en utgang 15 som er en verdi som reflekterer en feilplassering av frysefronten. Denne feilverdien ledes til en styreanordning 16 som fortrinnsvis er en standard proporsjonal/integral/regulator (PI) som gir store raske korreksjoner (proporsjonalt) for store parameterfeil når disse måles og deretter driver gjenstående (integrale) feil til null. Kobling 14 summerer det vil si bestemmer enhver forskjell som kan forekomme mellom referanseverdi 13 og verdien av 7 som representerer motorstrømmen. Frysefrontstyringen 16 instrueres derved til å plassere metallsmeltens frysefront korrekt i støpevalsens inngangsparti ved å justere valsehastigheten. Den gjør dette ved å bruke en alorytme som gir en hastighetsreferanse ved 17. Referanse 17 bibeholder metallsmeltens frysefront i inngangspartiet til støpevalsene på riktig sted.

Motorstrømverdien påvirkes av enhver forandring i frysefrontens plassering da slike forandringer vil påvirke belastningen som motoren kjenner og således strømmengden som motoren trekker. Hvis for eksempel frysefronten beveger seg innover i valsens inngangsparti vil valsene arbeide på forholdsvis bløtt metall slik at motoren trenger mindre strøm for å valse metallet til en valgt tykkelse. Det motsatte er følgelig tilfelle hvis frysing skjer for tidlig i inngangspartiet. En slik minskning eller økning i motorstrømmen føles av en passende strømfølerinnretning (ikke vist) som frembringer den ovenfor diskuterte verdi (signal) som mates tilbake til kobling 14. (Strømfølerinnretningen er en analog innretning og datamaskinen en digital innretning. På grunn av dette konverteres motorstrømverdien som mates tilbake til kobling 14 til en digital motorstrømsindikering. Dette vil, i tillegg, være tilfelle for andre parametre som måles og for styringsformål mates tilbake i den foreliggende oppfinnelsens prosesser. Alle prosesseringsoperasjonene i tegningene utføres av en digital datamaskin som ikke er avbildet i tegningene på annen måte.)

Frysefrontstyring har en tendens til å forstørre eksentrisitetsproblemet da styringen gir konstant valsekraft ( $F$ ) på metallet som vales uten avlastning av slik kraft. Som en konsekvens beveger den eller de eksentriske valsers større diameter seg inn i metallet i mellomrommet mellom valsene og etterlater derved forholdsvis dype bølgeformete inntrykninger i produktet som kommer ut av valsene.

Den foreliggende oppfinnelsen løser dette problemet ved å benytte mekaniske eller hydrauliske aktuatorer for mellomromstyring (ikke vist) på valsestøpere på en dynamisk måte og på en måte som kontinuerlig avlaster og øker valsekraft i direkte avvikende forhold til valseeksentrisitetene. Dette gjøres samtidig med, men uavhengig av, styring av metallfrysefronten.

Mer detaljert, så måler oppfinnelsen kontinuerlig valsekraft 8 (i figur 1) som er den kraften hvor metall i fast form adskiller støpemaskinens valser, og utvikler derfra en verdi som mates tilbake, som vist ved linje 18, til innretning 20 som kompenserer for eksentrisitet ved å justere valsemellomrommet synkront med målte kraftendring ( $\Delta F$ ). (Valsekraft måles ved hjelp av passende transduktor-eller last-celleinnretninger (ikke vist) plassert slik at de mottar lasten hvorved metall i fast form vales i valsemellomrommet.) Varierende krefter på grunn av valseeksentrisitet tas stikkprøver av et passende antall ganger i løpet av hver valsers hele omdreining for å indikere eksentrisitetens rotasjonelle plassering. Prøvetakingen finner sted innen datamaskinen og er ikke vist på annen måte i tegningene. Innretning 20 gir signal til valseposisjonsaktuatorene som styrer valsemellomrommets størrelse i henhold til valsens rotasjonelle posisjon, det vil si når den eksentriske valsens større diameter beveger seg inn i faststoffmetallproduktet i valsemellomrommet drives skruen eller sylindren slik at valsene beveges fra hverandre og mellomrommets størrelse derved økes. Når valsens større diameter roterer ut av faststoffmetallet og valsens mindre diameter beveger seg mot metallet beveger skruene eller sylindrene en valse, etter ordre fra 20, mot den andre slik at mellomrommets størrelse minsker. På denne måte kommer et faststoffmetallprodukt med konstant tykkelse ut av valsene noe som ønskes både av fremstiller og kunde. På denne

måten hindres frysefrontstyringen i å forsterke eksentrisitetens virkninger. Dette gjøres ved kontinuerlig å justere aktuatorene som styrer størrelsen av valsemellomrommet i samsvar med utgangen av 20.

Som nevnt tidligere er et eksentrisitetsstyringssystem som kan brukes ved 20 beskrevet i et U.S. Patent 4 222 254 til King et al.

I patentet til King et al. brukes Fouriertransformasjonsprosessering til å skille variasjoner i tykkelse og/eller hardhet for et materiale som går inn i et valseverk fra virkningene av valse-eksentrisitet for begge disse har innvirkning på tykkelsen ( $\Delta h$ ) på materialer som kommer ut av valseverket. Den patenterte framgangsmåten involverer trinnene og estimerer de sykliske virkninger av eksentrisitet og utgangstykkelsen mens den samtidig korrigerer for de ugunstige virkninger av variasjoner i inngående tykkelse og/eller hardhet.

I det foreliggende tilfelle, med utgangspunkt at støper 10 er i stabil driftstillstand, gjelder ligningen 1 ovenfor.  $\Delta S$  i ligninger 3 og 4 nedenfor representerer avvik i valsemellomrom som skyldes både mellomromsaktuatorbevegelse og eksentrisiteter. Dette kan uttrykkes som følger

$$\Delta S(t) = \Delta S_e(t) + \Delta S_a(t) \quad (3)$$

$$\Delta h(t) = \Delta S_e(t) + \Delta S_a(t) + \frac{\Delta F(t)}{M} \quad (4)$$

hvor  $S_e$  representerer eksentrisitet og  $S_a$  representerer aktuatorbevegelse.

Eksentrisitetskompensasjonen som kalkuleres ved 20 anvender en algorithme som produserer mellomromsaktuatorbevegelse som matematisk uttrykkes som følger

$$\Delta S_e = - \Delta S_a \quad (5)$$

og ved å bytte ut faktorene i ligning 5 med de i ligning 3 dannes følgende ligning

$$\Delta S = (-\Delta S_e + \Delta S_e = 0 \quad (6)$$

hvis nå ligning 6 kombineres med ligning 1 fremkommer

$$\Delta h = \frac{\Delta F}{M} \quad (7)$$

det vil si at enhver forandring i tykkelsen  $\Delta h$  for metallet som kommer ut av støper 10 reflekterer endringer som i valsekraft  $\Delta F$  dividert med støpehusets strekkmodul  $M$ .

Imidlertid er  $\Delta F$  null med den frysefrontstyringen som utvirkes ved 17 som beskrevet ovenfor. Der er heller ingen tykkelsesavvik ( $\Delta h$ ) i stabil tilstand fordi hvis  $\Delta F$  i ligning 7 erstattes med null så er tykkelsen ( $h$ ) konstant.

Ved forsøk på å integrere frysefrontstyring og eksentrisitets-kompensasjon ble det funnet at det var en faseforskyvning mellom eksentrisitetsforstyrrelse og kraftmåling. Denne faseforskyvning kan være så stor som 90 grader når motorstrømmen brukes for frysefrontstyring. Oppdagelsen av dette fenomenet og korrigeringen for det, som skal diskuteres nå, muliggjorde den vellykkete integreringen som beskrives her.

Som vist ved hjelp av boks 21 i tegningenes figur 1 kan et slikt forhold kompenseres for. En passende prosedyre innebærer en enkel passende forskyving av utgangsbufferen på datamaskinen som håndterer Fouriertransformasjonen. Dette vil kompensere for forsinkelsene som skjer i lastcelleutgangen og aktuatorresponsen slik at kommandosignalet som tilslutt brukes for å balansere ut eksentrisiteten innstilles korrekt.

I tegningenes figur 2 er det avbildet en prosedyre som benytter valsekraft istedet for motorstrøm for å styre metall-smeltens frysefrontplassering i valsenes inngangsparti. Valsekraften brukes også, som i prosessen ifølge figur 1, til å styre virkningene av valseeksentrisitet. De samme referansetallene brukes for like komponenter i de to figurene.

I figur 2 måles så en verdi som representerer kraften eller belastningen ved hvilken metall i fast form vales i øyeblikket kontinuerlig og den mates tilbake til en summeringskobling 24 vist ved linje 26. Kobling 24 mottar også en kraftreferanseverdi

23 fra driftspersonell for sammenligning med den virkelige målte kraft. Kobling 24 sammenligner referanseverdien med kraftverdien 8 for å gi en kraftfeil 25 som brukes av styreanordning 16 som i figur 1, for å holde frysefronten på riktig sted i valsenes inngangsparti. I dette tilfelle bruker styreanordningen alorytmen for valsekraft i motsetning til motorstrøm. Referansekraftverdien og målt kraftverdi har motsatt polaritet, som i figur 1, slik at enhver forskjell mellom de to noteres kontinuerlig og styreanordningen får automatisk passende signal for å endre støpevalsenes rotasjonshastighet.

Den samme kraftverdien som sendes kobling 24 sendes også til innretning 20 for å kompensere for valseeksentrisitet på en allerede beskrevet måte. Således utvirkes nøyaktig plassering av frysefronten i prosessen ifølge figur 2 uten at eksentrisitetsvirkningen økes og støpeprosessens eksentrisitetskomponent blir kompensert for slik at tykkelsen på produktet som kommer ut av støpemaskinen 10 er konstant.

Tegningenes figur 3 viser en prosess hvor tykkelsen på produktet som kommer ut av støpeprosessen 10 er den parameter som måles og deretter brukes til å utvirke eksentrisitetskompensasjon og den brukes også til å styre nominell båndtykkelse mens motorstrøm brukes separat og samtidig for å plassere metalllets frysefront i valsenes inngangsparti.

I prosessen ifølge figur 3 måles tykkelsen 9 på produktet som forlater støpeprosessen 10 ved hjelp av passende tykkelsesindikeringsinnretning som for eksempel et røntgenmåleutstyr eller et betamåleutstyr (som bruker en radioaktiv kilde). Derfra bestemmes en verdi som representerer produktets tykkelse. Denne verdien mates tilbake til innretning 20 som vist ved linje 28 for eksentrisitetskompensasjon som forklart ovenfor i forbindelse med figur 1 og 2. Verdien sendes også til en summeringskobling 30. Kobling 30 mottar også en tykkelsesreferanse 31 fra (igjen) driftspersonell som i sin tur gir en tykkelsesfeil 32 når den målte tykkelsen er forskjellig fra referansetykkelsen.

En standard proposjonal/integralstyringsanordning 33 brukes fortrinnsvis for å motta tykkelsesfeilen fra 30 og gir derved mellomromsreferanse 34 for dynamisk styring av støpevalsenes mellomromsinnstillingsaktuatorer. Valsenes relative stillinger

innstilles derved for å gi et valsemellomrom som automatisk etablerer den nominelle produkttykkelsen (automatisk tykkelsesstyring) som innstilles ved hjelp av mellomromsreferanse 34. Siden kombinasjonen av frysefrontstyring og eksentrisitetskompensasjon er beskrevet her som tilstrekkelig for å redusere tykkelsesvariasjoner ( $\Delta h$ ) til i alt vesentlig null er automatisk tykkelsesstyrings vesentligste bidrag nå å etablere den korrekte nominelle tykkelsen for det leverte produktet. Nominell styring ivaretar de tykkelsesvariasjoner som ikke skyldes støpevalsenes eksentrisiteter.

Utgangen fra styreanordning 33 kombineres imidlertid først ved en kobling 35 med utgangen fra eksentrisitetsstyringen og fasekompensasjonsstyringen 20 og 21. På denne måten sikrer en total mellomromsposisjonsreferanse 36 nøyaktig kompensasjon for valseeksentrisitet på den måten som er beskrevet tidligere.

I mellomtiden vises motorstrøm 7 målt i figur 3 og dennes verdi mates tilbake til kobling 14 (som i figur 1) for å gi frysefrontplasseringsstyring samtidig som men uavhengig av automatisk tykkelsestyring (AGC) og eksentrisitetskompensasjon. (I figur 3 har komponentene og verdiene som er felles med de i figur 1 de samme henvisningstall.) På lignende måte kan prosessene ifølge figur 3 bruke valsekraftmåling istedenfor motorstrøm for å gi frysefrontstyring samtidig og i kombinasjon med automatisk tykkelsestyring og eksentrisitetskompensasjon. Siden eksentrisitetskompensasjon (1) er adskilt fra frysefrontstyring og virker slik at den avlaster den ellers konstante valsekraften som ordinært anordnes ved hjelp av frysefrontstyring økes ikke bare virkningene av eksentrisitet men de fjernes faktisk fra valseprosessen slik at et metallprodukt kommer ut fra 10 som er fritt for eksentrisitetsvirkningene. I tillegg sikrer den automatiske tykkelsestyringsfunksjonen riktig nominell tykkelse på produkter som kommer ut fra 10.

Selv om oppfinnelsen er beskrevet som foretrukne utførelser er de vedheftete krav ment å omfatte alle utførelser som kommer innen oppfinnelsens ånd.

## P a t e n t k r a v :

1. Integrert fremgangsmåte for automatisk styring av (a) den posisjon hvor smeltet metall størkner i inngangspartiet til roterende valser i et valsestøpeapparat (10), (b) tykkelsen (9) av metall i fast form som kommer ut av støpeapparatet, og (c) kompensering (20) for valseeksentrisitet, omfattende følgende trinn:

rotering av valsene,

tilføring av smeltet metall til valsenes inngangsparti,

størkning av metallet i inngangspartiet og føring av samme gjennom en mellom valsene dannet spalte,

k a r a k t e r i s e r t v e d

måling av en støpeparameter (7, 8) og fra denne utledning av en tidsbasert verdi som indikerer den virkelige posisjon av metallstørkningen i valsenes inngangsparti,

fremskaffing av en referanseverdi (13, 23) for parameteren (7, 8),

innhenting av en verdi (15, 25) som er representativ for en eventuell forskjell som opptrer mellom referanse- og størkningsposisjonsverdiene og anvendelse av samme for korrekt posisjonering av størkningen,

estimering ut fra en tidsbasert støpeparameter (8, 9) av frekvensen til valsenes eksentrisitet, og derfra utlede en frekvensbasert eksentrisitetsverdi, og

anvendelse av den frekvensbaserte eksentrisitetsverdi for syklisk endring av størrelsen av spalten mellom valsene for å utlikne virkningene av eksentrisiteten på tykkelsen (9) av det faste metall som kommer ut fra valsene uten innvirkning på evnen til å styre størkneposisjonen i valse-inngangspartiet.

2. Fremgangsmåte ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at parameteren som brukes for å bestemme størkningens posisjon er strømmen (7) i en motor som driver støpevalsene.

3. Fremgangsmåte ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at frekvenskomponenten som representerer eksentrisitet

fås (20) fra en måling av kraften (8) som det faste metallet adskiller støpevalsene med.

4. Fremgangsmåte ifølge krav 3, k a r a k t e r i s e r t v e d at den kraft (8) ved hvilken det faste metallet adskiller valsene er den parameter som indikerer størkningsposisjonen og som fremskaffer (20) den frekvenskomponent som representerer valseeksentrisitet.

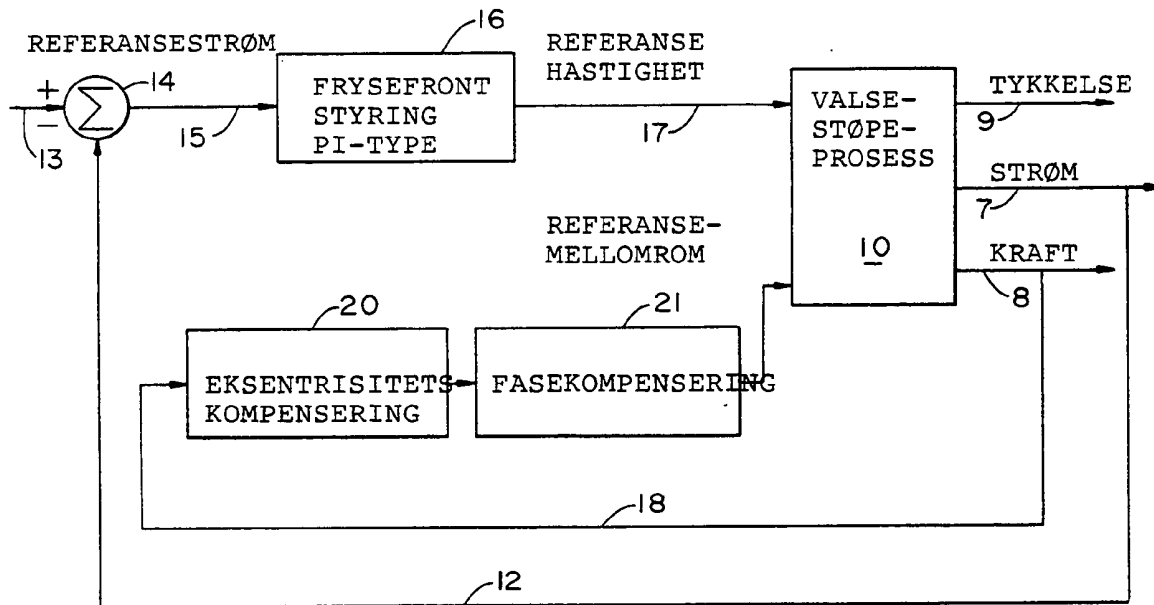


FIG. 1

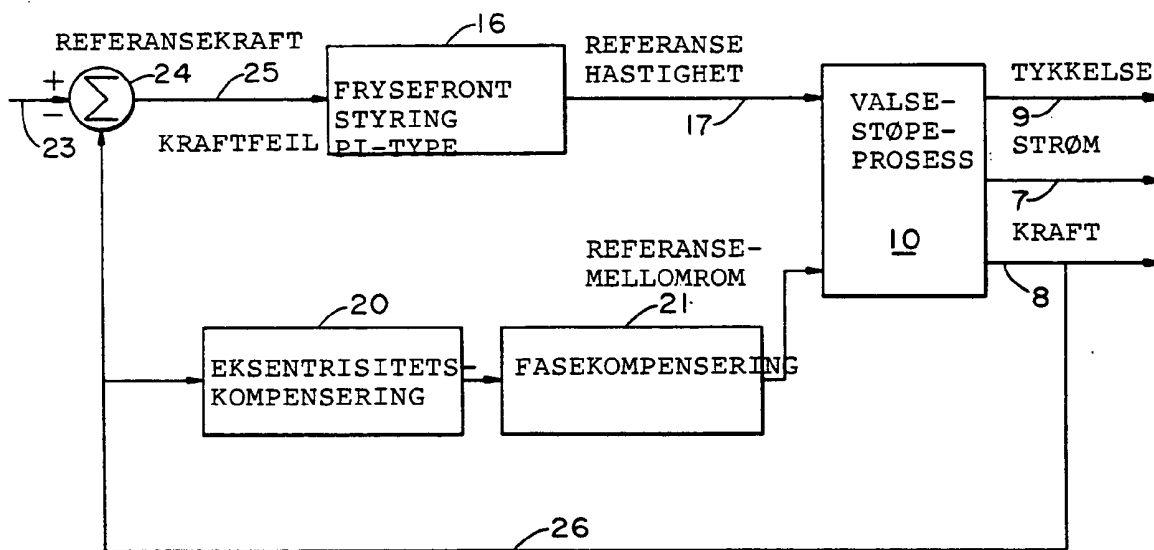


FIG. 2

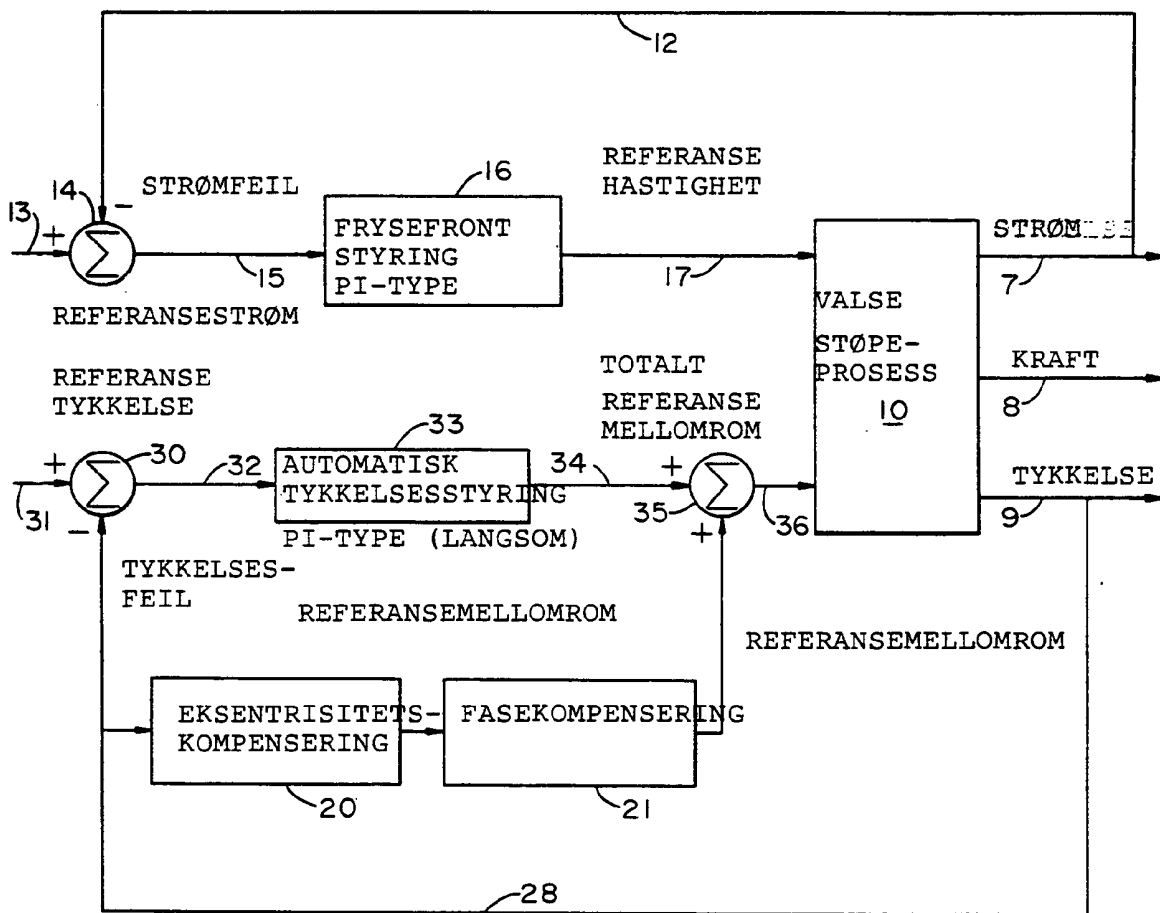


FIG. 3