



NORGE

(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **306317**

(13) B1

(51) Int Cl⁶ H 03 M 1/66, H 03 H 17/00

Patentstyret

(21) Søknadsnr	19970791	(86) Int. inng. dag og søknadsnummer	
(22) Inng. dag	20.02.1997	(85) Videreføringsdag	
(24) Løpedag	20.02.1997	(30) Prioritet	Ingen
(41) Alm. tilgj.	21.08.1998		
(45) Meddelt dato	18.10.1999		
(73) Patenthaver	Børge Strand, 3428 Sogn Studentby, 0858 Oslo, NO		
(72) Oppfinner	Innehaveren		
(74) Fullmektig	Onsagers Patentkontor - Defensor AS, 0103 Oslo		

(54) Benevnelse **Stabilisering av analogfilter og integrerende analogfilter**

(56) Anførte publikasjoner JP A 60-81314, US 5307064, US 5245344, US 5008674, US 5323158, US 4968989, US 5420585

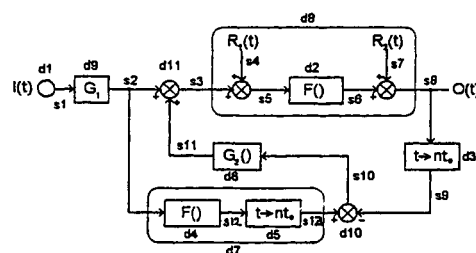
(57) Sammendrag

En fremgangsmåte til stabilisering av et analogfilter (d8) som genererer et ustabilisert utgangssignal (s8), realiseres et ideelt filter (d4) hvis filterfunksjonen svarer til analogfilterets (d8) ideelle filterfunksjon. Et feilsignal (s10) genereres ved å subtrahere utgangssignalet (s8) fra utgangssignal (s12) og addere feilsignalet (s10), eventuelt formatert til et kompensasjonssignal (s11) til analogfilterets inngangssignal (s1;s2) i motfase, slik at utgangssignalet (s8) konvergerer kontinuerlig mot en idealverdi.

Et integrerende analogfilter til utførelse av denne fremgangsmåten kan være realisert med en forsterkende integrator (d8) som svarer til det ustabile analogfilter og avgir utgangssignalet (s8) som tidsdiskretiseres i en tidsdiskretiseringsenhet (d3). En referansegenerator (d7) avgir et tidsdiskretisert referansesignal (s13) som representerer analogfilterets ideelle utgangssignal i motfase. Feilsignalet (s10) genereres som differansen mellom det tidsdiskretiserte utgangssignal (s9) og referansesignalet (s13). Kompensasjonen av analogfilteret skjer ved at feilsignalet (s10) igjen leveres til analogfilterets inngang. Tidsdiskretiseringen av analogfilterets utgangssignal (s8) skjer i en sampel og holdkrets (d3) som er forbundet med utgangen på analogfilteret (d8).

Ved omforming av digitalsignaler til analog signaler med bruk av fremgangsmåten og analogfilteret, differensieres digitalsignalet minst to ganger før omformingen til et analogsignal som integreres tilsvarende mange ganger. Dette realiseres i et digital/analogomformersystem hvor digitaldelen omfatter minst to differensiatorledd ($D_1, D_2, \dots, D_n$) forbundet i serie og analogdelen (A) omfatter tilsvarende mange integratorledd ($I_1, I_2, \dots, I_n$) i serie.

Anvendelse ved reproduksjon av digitalt lagret lyd og i prosesskontroll, herunder styring av mekaniske systemer.



Oppfinnelsen angår en fremgangsmåte til stabilisering av et analogfilter, spesielt ved omforming av digitalsignaler til analogsignaler, hvor et analogt inngangssignal filtreres gjennom analogfilteret for å generere et første utgangssignal.

- 5 Oppfinnelsen angår også et integratorledd i et integrerende analogfilter til utførelse av fremgangsmåten, hvor analogfilteret omfatter et integratorledd.

Videre er det beskrevet en anvendelse av oppfinnelsen for å stabilisere analogfiltere i digital til analogomformere.

- 10 Ved omforming av digitalsignaler til analogsignaler er det kjent å benytte en rekke forskjellige former for analogfiltre med tanke på å oppnå forskjellige lavpasseffekter. Slike filtre har imidlertid også en rekke uønskede effekter. Dette kan f.eks. være ikke-lineære faseforløp, at enkelte frekvenser gjengis med gal amplitude eller at utgangssignalet fra et digitalt kontrollsystem ikke er nøyaktig nok for det tiltenkte kontrollformål. Generelt er det en kjensgjerning at filtrering i kontinuerlig tid og amplitude påvirkes av ustabiliteter i analogfiltrene. Dette er et vanlig problem innen de forskjellige anvendelser som f.eks. digital lydreproduksjon eller numerisk styring av hydrauliske systemer.

- 20 De følgende publikasjoner er relevante for å gi et innblikk i teknikkens stand for det tekniske område oppfinnelsen angår.

US-patent 5,307,064 viser en digital til analogomformer med et første trinn hvor den ene av to D/A-omformere arbeider forsinket i forhold til den andre, og hvor i et etterfølgende trinn differansen mellom de to signalene integreres for å danne et analogsignal.

- 25 JP 60-31314 viser en kobling med svitsjing mellom flere kapasitanser i et integrerende filter.

US-patent 5,245,344 omtaler en D/A-omformer som omfatter en delta-sigma modulator og et fjerdeordens svitsjet integrerende filter etter DA-omforming.

- 30 US-patent 5,008,674 viser et transversalt filter hvor filterforsinkelsene er realisert før konverteringen til analogt signal, der fortrinnsvis svitsjede integrator-teknikker er benyttet.

US-patent 5,323,158 viser en D/A-omformer med flere svitsjede integratorledd.

5 US-patent 4,968,989 viser en utførelse av et svitsjet integrerende filter på utgangen av en D/A-omforming, med konsentrasjon på svitsjeutformingen til filteret.

US-patent 5,420,585 viser et analogfilter til en D/A-omformer som består av en seriefølge av integratorledd (n'te orden).

10 For å unngå de ovennevnte ulemper har det vært tatt i bruk forskjellige digitale løsninger. Disse kan eksempelvis bestå i å oversample signalet digitalt før omformingen fra digitalt til analogt format skjer. Dermed reduseres behovet for lavpassfiltrering, men fortsatt vil utgangssignalet ha høyfrekvenskomponenter på grunn av at selve omformingen skjer før en eventuell analogfiltrering.

15 Hensikten med oppfinnelsen er å unngå de ovennevnte og andre ulemper ved bruk av analogfiltre ved omforming av signaler fra digitalt til analogt format.

Spesielt er det en hensikt å kunne kombinere digitalfilterets stabilitet med analogfilterets oppløsning. Ytterligere er det en hensikt å kunne eliminere virkningen av analogfilterets ustabilitet og unøyaktighet samt å undertrykke digitalfilterets manglende evne til å arbeide kontinuerlig.

20 Endelig er det en hensikt med oppfinnelsen er å kunne benytte ustabile analogfiltre med forskjellige ønskede egenskaper uten at analogfiltrenes ustabilitet svekker den totale ytelse til systemet som analogfiltrene inngår i.

25 De ovennevnte hensikter og andre fordeler oppnås i henhold til oppfinnelsen med en fremgangsmåte som er kjennetegnet ved å realisere et ideelt filter, å generere et annet utgangssignal fra det ideelle filter, å generere et feilsignal ved å subtrahere det første utgangssignal fra det annet utgangssignal, og å addere feilsignalet i form av et kompensasjonssignal til analogfilterets inngangssignal i motfase, slik at utgangssignalet fra analogfilteret konvergerer kontinuerlig mot en idealverdi.

30 For utførelse av fremgangsmåten er det ifølge oppfinnelsen frembragt et integrerende analogfilter som omfatter et integratorledd, i form av en forsterkende integrator med gitt tidskonstant, hvor integratorleddet forsterker

- et analogt inngangssignal mottatt på en første inngang og et tilbakekoblet signal mottatt på en annen inngang, og som avgir et analogt utgangssignal til en tidsdiskretiseringsenhet forbundet med integratorens utgang, idet filteret er kjennetegnet ved at tidsdiskretiseringsenheten utgjør to sampel- og hold-
- 5 kretser som henholdsvis vekselvis sampler og holder det analoge utgangssignal korrigert med feilsignalet, at tidsdiskretiseringsenhetens utgang innbefatter en velger som vekselvis velger utgangene på hver sampel- og holdkrets for derfra å avgi et tidsdiskretisert samplet signal, slik at den ene sampel- og holdkrets sampler, mens den annen sampel- og holdkrets holder,
- 10 at velgeren er forbundet med en inngang på en adderer som over en annen inngang mottar et analogt referansesignal som representerer analogfilterets ideelle utgangssignal i motfase og derav genererer et feilsignal som differansen mellom det samplede signal fra den valgte sampel- og holdkrets og referansesignalet, at addererens utgang som avgir det genererte feilsignal, er
- 15 forbundet med den annen inngang på integratoren og dermed danner det nevnte tilbakekoblede signal, og at det av integratoren avgitte utgangssignal omskriver det tidsdiskretiserte, samplede signal avgitt av sampel- og holdkretsene og konvergerer kontinuerlig mot en idealverdi.
- Spesielt er det angitt en anvendelse av fremgangsmåten i følge oppfinnelsen
- 20 for å stabilisere analogfiltere i digital til analogomformere.
- Oppfinnelsen skal nå forklares nærmere i tilknytning til utførelseseksempler og med henvisning til den ledsagende tegning, hvor
- fig 1 viser et generelt analogfilter i henhold til oppfinnelsen,
- fig. 2 viser analogfilteret på fig. 1 implementert som en interpolerende
- 25 digital/analogomformer,
- fig. 3 viser en praktisk implementering av filteret på fig. 1 i form av et integrerende analogfilter,
- fig. 4 viser filteret på fig. 2 implementert som en seriekobling av flere analogfiltre, og
- 30 fig. 5 viser blokkskjemaet for en digital/analogomformer hvor fremgangsmåtene og filteret i henhold til oppfinnelsen kommer til anvendelse.

På tegningen angir henvisningstall med bokstaven d som prefiks signal-behandelnde komponenter, i en passiv komponent og s et signal, idet samme henvisningstall på samtlige figurer betegner den samme komponent eller det samme signal.

- 5 Generelt består fremgangsmåten i henhold til oppfinnelsen til stabilisering av et analogfilter i å skaffe et referansesignal som utgangssignal fra et analogfilter som er en ideell representasjon av det eventuelt ustabile, benyttede analogfilter. Inngangssignalet til analogfilteret går igjennom begge filtre, mens utgangssignalet fra det eventuelt ustabile analogfilter subtraheres fra
- 10 utgangssignalet fra det ideelle analogfilter på et naturlig tidspunkt $t = n \cdot t_0$. Resultatet av denne subtraksjon er en firkantpuls som i det følgende skal betegnes som feilsignalet. Dette feilsignalet adderes så til inngangssignalet til det eventuelt ustabile analoge filter. Dermed oppnås det at det eventuelt ustabile analogfilter på et naturlig tidspunkt får feilen i sitt eget
- 15 utgangssignal addert i motfase til sitt eget inngangssignal i neste tidsperiode. Følgelig vil utgangen fra analogfilteret hele tiden konvergere mot en idealverdi.

- Foretrukket kan det ideelle filter realiseres som en digital filterfunksjon som på naturlige tidspunkter $t = n \cdot t_0$ har en numerisk verdi som omformet til
- 20 spenningsverdier eller eventuelt strømverdier, blir lik eller approksimerer en ideell verdi for eventuelt ustabile filtre og gitt ved de samme naturlige tidspunkter. I praksis kan da fremgangsmåten i henhold til oppfinnelsen til stabilisering av et analogfilter beskrives som følger. Et digitalt inngangssignal til en digital/analogomformer filtreres med en funksjon som er lik den
- 25 inverse filterfunksjon til analogfilteret. Deretter omformes det digitalfiltrerte signal til et signal på analogt format, slik at det svarer til inngangssignalet til analogfilteret i en generell beskrivelse av nevnte fremgangsmåte. Dette analoge inngangssignal føres deretter gjennom ett eller flere analogfiltre. Filtringen kan repeteres, og benyttes det flere analogfiltre, kan de ha
- 30 forskjellige filterfunksjoner. For hvert av analogfiltrene beregnes dets ideelle signalutgangsnivå som en numerisk funksjon av naturlig tid på analogfilterets inngang. For hvert av disse tidspunktene $t = n \cdot t_0$ genereres også en tidsdiskret utgave av analogfilterets utgangssignal. Denne holdes i sin tur konstant over tidsperioden t_0 . Dette signalet som er en firkantpuls med reelle verdier
- 35 omskrevet av det analoge utgangssignal subtraheres fra den matematisk korrekte representasjon av analogfilterets utgangssignal beregnet for (og

omformet på) de samme tidspunkter t . Resultatet av denne subtraksjonen vil også være en firkantpuls med reelle verdier og legges så til det eventuelt ustabile analogfilterets inngangssignal som et feilsignal som inneholder analogfilterets feil ved foregående naturlige tidspunkt $t - t_0$, men i motfase.

- 5 For ytterligere å forklare fremgangsmåten til stabilisering av et analogfilter skal det vises til fig. 1. Signalkilden $d1$ avgir et inngangssignal $s1$ som her er en funksjon $I/(t)$ av sann tid. Inngangssignalet $s1$ kan formateres i en formateringsenhet $d9$ ved hjelp av en funksjon G_1 , eksempelvis en multiplikasjon med konstant, slik at det fås et formatert inngangssignal $s2$ som gis til
- 10 en inngang på addereren $d11$. Addereren $d11$ avgir et utgangssignal $s3$ som er summen av inngangssignalet $s2$ og et kompensasjonssignal $s11$ som skal omtales nærmere i det følgende. Signalet $s3$ leveres til inngangen på det eventuelt ustabile analogfilteret $d8$, idet $d2$ representerer et ideelt analogfilter hvor inngangssignalet og utgangssignalet er funksjoner av sann tid og den
- 15 ideelle filterfunksjon er gitt uspesifisert ved funksjonen $F()$. Ustabiliteten til analogfilteret $d8$ fremkommer ved tilfeldige signaler $s4$ og $s7$ som på fig. 1 er vist addert henholdsvis til inngangssignalet $s3$, slik at det som inngangssignal til det ideelle filter $d2$ fås et signal $s5$, og som et annet tilfeldig signal $s7$ som adderes til utgangssignalet $s6$ fra det ideelle filteret $d2$. De tilfeldige signaler
- 20 $s4$ og $s7$ er begge funksjoner av sann tid, henholdsvis $R_1(t)$ og $R_2(t)$. Utgangssignalet $s8$ fra analogfilteret $d8$ er generelt betegnet som et utgangssignal som også er en funksjon $O(t)$ av sann tid. Funksjonene $R_1(t)$ og $R_2(t)$ er således tilfeldige funksjoner som beskriver feilen til analogfilteret $d8$ og avhenger av typen av analogfilter som benyttes, slik at de ikke er eksplisitt
- 25 gitt. Inngangssignalet $s2$, dvs. det formaterte inngangssignal, føres til en inngang på referansesignalgeneratoren $d7$ og behandles der først i et ideelt filter $d4$, også med filterfunksjonen $f()$, idet utgangssignalet $s12$ fra $d4$ gis til inngangen på en tidsdiskretiseringsenhet $d5$ som konverterer signalet $s12$ til et signal $s13$ som er en funksjon av naturlig tid $t = n \cdot t_0$ og med reell
- 30 amplitude. Funksjonen til tidsdiskretiseringsleddet $d5$ er slik at dets utgangssignal $s12$ holdes konstant over perioden t_0 . Deretter stiger utgangssignalet $s13$ momentant til inngangsverdien (signalet $s12$) på tidsdiskretiseringsenheten $d5$ ved neste naturlige tidspunkt $t + t_0$. Det ideelle filter $d7$ gir matematisk korrekte utgangsverdier $s13$ ved naturlige tidspunkter $t = n \cdot t_0$. Utgangssignalet $s8$ fra det mulige ustabile filter $d8$ føres samtidig til et tidsdiskretiseringsledd $d3$ hvor det omformes til et diskret utgangssignal $s9$ som er en
- 35

funksjon av naturlig tid $t = n \cdot t_0$ og med reell amplitude. Tilsvarende gjøres, som nevnt, også i tidsdiskretiseringsenheten d5. Det tidsdiskretiserte utgangssignal s9 fra tidsdiskretiseringsenheten d3 som forsinkes med inntil en periode t_0 , omskrives således av utgangssignalet s8 og føres til en adderer d10 som genererer et feilsignal s10 ved å addere det tidsdiskretiserte signal s9 til det tidsdiskretiserte signal s13. Det diskrete referansesignal s13 skal være tilpasset det tidsdiskrete utgangssignal s9 og ikke nødvendigvis det analoge utgangssignal s8. Dersom tidsdiskretiseringsenheten d3 forsinkes signalet s9, må også referansesignalet s13 forsinkes. Det skal bemerkes at det tidsdiskretiserte signal s9 vil ha motsatt fortegn av det tidsdiskretiserte signal s13, slik at feilsignalet s10 i realiteten er differansen mellom signalene s13 og s9. Feilsignalet s10 kan nå behandles med en funksjon G_2 i enheten d6, som foretrukket kan være en forsterker. Det kan nevnes at den interne forsterkning i filtrene d2 og d4 vil påvirke verdiene til funksjonene G_1 og G_2 , men den rekkefølge G_1 og G_2 kommer i, er for så vidt likegyldig.

Feilsignalet s10 forsterkes med andre ord foretrukket i komponenten d6, og det fås et formatert feilsignal som utgjør kompensasjonssignalet s11. Dette formaterte feilsignal eller kompensasjonssignalet s11 adderes til det formaterte inngangssignal s2 i addereren d11 slik at inngangssignalet s3 til det eventuelt ustabile filter d8 fås.

Slik fremgangsmåten er realisert på fig. 1, vil feilen til analogfilteret på et naturlig tidspunkt t holdes konstant og føres tilbake til filterets inngang som en konstant over hele den påfølgende periode t_0 frem til det naturlige tidspunkt $t + t_0$.

Det skal forstås at addererne d10 og d11 vil addere eller subtrahere alt ettersom henholdsvis referansesignalet s9 og kompensasjonssignalet s11 er i motfase eller i fase. Ved et integrerende analogfilter implementert på vanlig måte, nemlig i form av en operasjonsforsterker med en kondensator i tilbakekoblingen, fås et fortegnsskifte i utgangssignalet fra analogfilteret, slik at addisjonen i addererne d10, d11 kan skje direkte. Fig. 2 viser filteret på fig. 1 implementert som en interpolerende digital/analogomformer. Her kan analogfilteret d8 eksempelvis være et ustabil analogfilter med de ønskede egenskaper eller representere et unøyaktig mekanisk system. I det siste tilfelle vil filterfunksjonen $F(\cdot)$ representere tilstandsfunksjonen i det mekaniske system. Følgelig må altså referansesignalet s13 forholde seg til

denne representasjonen. Signalkilden d1 (SRC) er i likhet med signalkilden d1 på fig. 1 en ordinær digital/analogomformer, mens d2 er det ideelle analogfilter med filterfunksjonen $F(\cdot)$ uspesifisert.

Signalkilden d1 (SRC) og en referansekilde d7 er her realisert som vanlige digital/analogomformere. Det ideelle analogfilter d2 har igjen den ideelle funksjon $F(\cdot)$, mens d3 tidsdiskretiserer utgangssignalet s8 fra analogfilteret d8. Den forsterkende enhet benyttes som i utførelsen på fig. 1, til å formatere feilsignalet s10 med en funksjon G_2 til et kompensasjonssignal s11. På fig. 2 er komponenten d9 som eksempelvis realiserer en forsterkning med funksjonen G_1 utelatt, da en eventuell formatering eller forsterkning av inngangssignalet s1 implisitt kan gjøres under digital/analogomforming i digital/analogomformer d1 (multipliserende D/A-omformer). Signalet s2 blir da et formatert kildesignal eller inngangssignal til analogfilteret d8. I addereren d11 adderes kompensasjonssignalet s11 til signalet s2 og det summerte signal s3 er dermed det kompenserte inngangssignal til det eventuelt ustabile analogfilter d8. Det ustabile analogfilter d8 er sammensatt på tilsvarende måte som på fig. 2, nemlig ved det ideelle filter d2 og to i analogfilteret d8 forekommende tilfeldige funksjoner $R_1(t)$ og $R_2(t)$ som genererer respektive tilfeldige feilsignaler s4 og s7. Utgangssignalet s8 fra analogfilteret d8 tidsdiskretiseres i tidsdiskretiseringsenheten d3, og det fås derfra et diskretisert referansesignal s9 som holdes konstant over perioden t_0 og omskrives av utgangssignalet s8. Ved hjelp av en algoritme beregnes det hvilken ideell eller tilnærmet ideell numerisk verdi signalet s8 ville hatt dersom analogfilteret d8 var ideelt og hadde samme tidsdiskretisering. Dette beregnede ideelle og tidsdiskretiserte signal s10 utgjør et ideelt referansesignal som adderes til det tidsdiskretiserte referansesignal s9 i addereren d10. I praksis skjer det her en subtraksjon på grunn av fortegnsskifte i referansesignalet s9, og den differanse som fås, utgjør feilsignalet s10. I komponenten d6 multipliseres så feilsignalet med en funksjon G_2 som er større enn null. Det forsterkede eller formaterte feilsignal, det vil si kompensasjonssignalet s11, adderes så i addereren d11 igjen til det kompenserte inngangssignal s2, slik at addereren d11 på sin utgang genererer det formaterte inngangssignal s3 til analogfilteret d8. På denne måte adderes det eventuelt ustabile analogfilters feil på et naturlig tidspunkt t i motfase til dets inngangssignal under hele påfølgende periode t_0 frem til tidspunktet $t + t_0$.

Fig. 3 viser en praktisk realisering av analogfilteret til utførelse av fremgangsmåten som et integrerende analogfilter med et integratorledd. På fig. 3 er signalkilden d1 (SRC) og referansegeneratoren d7 (REF) som på fig. 2 vanlige digital/analogomformere. Motstandene d6 og d9 utgjør sammen med kondensatoren i1 forsterkende enheter som svarer til en spenningsintegrator. Tidsdiskretiseringen skjer i tidsdiskretiseringsenheten d3 som omfatter to operasjonsforsterkere d12, d13 forbundet med respektive brytere i2 og i3 som mottar utgangssignalet s8 og fra integratoren d8 utfører en sampling av dette ved henholdsvis operasjonsforsterkeren d12 eller d13. Operasjonsforsterkerne d12, d13 utganger er ført til en velger i4 som velger den av operasjonsforsterkeren d12, d13 som gjennom en hel periode t_0 holder det sist oppdaterte og samplede inngangssignal som i praksis ville svare til signalet s8 på fig. 1 og 2. Fra velgeren i4 fås med andre ord et tidsdiskretisert referansesignal s9 som gis til addereren d10 og der adderes til utgangssignalet s12 fra referansegeneratoren d7. Tidsdiskretiseringen skjer på den måte at velgeren i4 mottar utgangssignalet s8 fra integratoren d8, mens operasjonsforsterkeren d12 over den sluttede bryter i2 lader opp kondensatoren i5 inntil neste naturlige tidspunkt $t + t_0$. Da velger velgeren i4 utgangssignalet fra d12, mens bryteren i2 samtidig åpnes. I denne påfølgende periode to er bryteren i3 sluttet og kondensatoren i6 lades opp. Følgelig realiseres tidsdiskretiseringsenheten d3 av to sampel- og holdesystemer, hvorav det ene sampler, mens det andre holder. Integratoren d8 som vist på fig. 3, det vil si det integrerende analogfilteret, er kjent for at inngangssignalet fasevendes. Følgelig fasevender også signalkilden d1 og kildesignalet s1 er derfor i motfase til inngangssignalet på signalkilden d1. Kildesignalet eller inngangssignalet s1 integreres med en tidskonstant som er bestemt av motstandene d9 og d6 og får til dette addert feilsignalet s10 med en tidskonstant som er bestemt av addereren d10 som mottar referansesignalet s9 fra tidsdiskretiseringsenheten d3, og motstanden d6. Det ideelle, tidsdiskretiserte referansesignal s13 genereres tilsvarende som på fig. 2 av referansegeneratoren d7 (REF) og adderes til referansesignalet s9 i addereren d10 for å generere utgangssignalet s10. Addereren d10 kan her være realisert som en variabel motstand, slik at forholdet mellom forsterkningen av det tidsdiskretiserte utgangssignal, dvs. referansesignalet s9 og det ideelle referansesignal s13 kan kalibreres. Feilsignalet s10 har allerede motfase fordi integratoren som svarer til det ideelle filter d2 i det eventuelt ustabile analoge filter d8 som her realisert, fasevender som ovenfor omtalt, og det gjør også referansegeneratoren d7.

Kort sagt utgjør det eventuelt ustabile analoge filter d8 på fig. 3 en strømin-
tegrator, mens både inngangssignalet s1 og feilsignalet s10 er spenninger.
Vektingen av inngangssignalet s1 og feilsignalet s10 bestemmes av motstan-
dene d6, d9 slik at utgangssignalet s8 blir summen av de vektete tidsinte-
graler til inngangssignalet s1 og feilsignalet s10. Da integratorleddet d8 selv
5 fasevender, er det ikke nødvendig med en eksplesitt fasevending av feilsig-
nalet s10 for å generere kompensasjonssignalet s11. Derimot må det ideelle
referansesignal s12 ha motsatt fase av utgangssignalet s8, slik at det vektete
gjennomsnitt av referansesignalet s9 som genereres i addereren eller den
10 variable motstand d10 og referansesignalet s13 tilnærmet blir lik en spenning
på 0 volt.

Ved fremgangsmåten til stabilisering av et analogfilter d8 kan analogfilteret
d8 fordelaktig være en seriekobling av flere analogfiltre $d8_1 \dots d8_n$, slik at det
for hver av disse analogfiltre $d8_1 \dots d8_n$ beregnes et ideelt utgangssignal
15 $s12_1 \dots s12_n$, eventuelt tids..... som $s13_1, \dots s13_n$. De enkelte seriekoblede
filtre $d8_1 \dots d8_n$ kan da ha forskjellige filterfunksjoner. En slik seriekobling av
flere analogfiltre kan f.eks. være basert på å koble sammen uavhengig
stabiliserte integratorer. Også andre sammenkoblinger kan benyttes. Feilsig-
nalet $s10_k$ fra et analogfilter $d8_k$ i seriekoblingen kan da adderes til inn-
20 gangssignalet s2 til et eller flere av de øvrige filtre $d8 \dots d8_{k-1}; d8_{k+1} \dots d8_{k+1}$
i seriekoblingen. Dette er vist på fig. 4 som gjengir en sammenkobling av tre
analogfiltre, og hvor feilsignalet s10 fra et av analogfiltrene inngår i kom-
pensasjonssignalet s11 til de øvrige analogfiltrene. I praksis bygger utførel-
sen vist på fig. 4 på implementeringen på fig. 2, og bortsett fra seriekoblin-
25 gen, skjer signalbehandlingen med de samme signaler og de samme kompo-
nenter som på fig. 2. Da hvert av analogfiltrene $d8_1, d8_2, d8_3$ på fig. 4 kan
ha innbyrdes forskjellige filterfunksjoner, vil tilsvarende de ideelle referan-
sesignaler $s12; s13$ fra referansegeneratorene $d7_1, d7_2, d7_3$ også være
forskjellige.

Referansesignalene $s12; s13$ kan i tillegg bidra til filtreringen i et eller flere
av de øvrige filtre. Det er med andre ord mulig å benytte en seriekobling av
flere analogfiltre med separat stabilisering, men slik at feilsignalene fra et
eller flere av analogfiltrene kan deles av flere av de andre analogfiltrene.
F.eks. kan ved sammenkobling av to integrerende analogfiltre feilsignalet fra
35 den første integrator med passende forsterkning adderes til feilsignalet i den
andre integrator for å forbedre systemets ytelse. Generelt kan dette være av

betydning når man ønsker å benytte et system av seriekoblede analogfiltre med forskjellige filterfunksjoner, og hvor stabiliseringen av hvert enkelt analogfilter separat kan resultere i varierende konvergenshastigheter fra filter til filter. Det er da tenkelig at dette kan virke destabiliserende eller føre til

5 oscillasjoner i et enkelt filterledd, og en fordeling av kompensasjonssignale-
ne fra hvert enkelt av filtrene i seriekoblingen til hvert av de øvrige filtre i seriekoblingen kan bidra til en utjevning av konvergenshastighet og mulige tendenser til oscillasjon.

Ved en fremgangsmåte i henhold til oppfinnelsen for omforming av digital-
10 signaler til analogsignaler er analogfilteret stabilisert som angitt ovenfor, og det benyttes i analogfilteret integratorledd som ovenfor omtalt. Digital/-analogomformingene skjer da ved at digitalsignalet differensieres minst to ganger før omformingene til en analogsignal som integreres tilsvarende mange ganger. Digitalsignalet differensieres numerisk slik at verdien av den

15 deriverte av differensialsignalet på et gitt tidspunkt t blir lik differansen mellom to umiddelbart forutgående digitalsignaler, idet forskjellen i tidsintervallene mellom påfølgende digitalsignaler kompenseres. Digitalsignalene kan fordelaktig modifiseres og oversamples slik at ekstremverdier av digitalsignalet genereres minst to ganger før digitalsignalet differensieres.

20 En slik fremgangsmåte til digital/analogomforming kan realiseres i et digital/analogomformersystem som vist på fig. 5, Digital/analogomformersystemet omfatter her en digitaldel D med to differensiatorledd D_1 , D_2 forbundet i serie og en analogdel A som tilsvarende omfatter 2 integratorer I_1 , I_2 forbundet i serie, idet integratorene I_1 ; I_2 svarer til integrerende

25 analoge filtre d_{81} ; d_{82} , jf. fig. 2 og 4. Integratorene I_1 ; I_2 har hver 2 innganger. Integratoren I_1 og I_2 er forbundet med digitaldelen D over, multibits digital/analogomformere C1, C2, C3 og mottar henholdsvis et analogt utgangssignal s_{21} ; s_{22} , på den første inngang, idet inngangssignalet s_{21} til integratoren I_2 svarer til utgangssignalet s_{81} fra integratoren I_1 .

30 Utgangssignalet s_{81} (s_{22}) fra den første integratoren I_1 utgjør et lineært interpolert signal. Utgangssignalet s_{82} fra integratoren I_2 utgjør et parabolisk interpolert signal. Digital/analog-omformerne C1, C2, C3 er konvensjonelle multibits omformere som gir ut en trappetrinnspuls. Integratorene I_1 , I_2 mottar henholdsvis et referansesignal s_{131} ; s_{132} fra tidsforsinkelsene T_1 ; T_2 i

35 digitaldelen på sine andre innganger. Tidsforsinkelsen av referansesignalet s_{131} , s_{132} skjer dermed før digitalsignalene omformes til spennings- eller

strømpulser og vil kunne endre seg avhengig av hvordan selve tidsstyringen i det analoge system gjennomføres. De multibits digital/analog-omformere C_1, C_2, C_3 kan også invertere avhengig av hvilke signaler som må fasevendes for å passe til analogkretsene som er benyttet i integratorene I_1, I_2 .

- 5 Ved fremgangsmåten til stabilisering av et analogfilter eller fremgangsmåten til digital/analogomforming i henhold til den foreliggende oppfinnelse kan signal/støyforholdet bedres ved å benytte variabel forsterkning. I praksis betyr dette at dersom et digitalt generert signal skal benyttes som inngang til en analog krets og dette digitalsignal har lav amplitude, kan det multipliseres eller divideres digitalt i analogkretsen. En algoritme detekterer da om analogkretsens utgangssignal ligger under en bestemt terskelverdi. I så fall multipliseres det med en konstant, gjerne ved skifte av bit. I tillegg benyttes et signal som styrer en variabel forsterkning, konvertering fra strøm til spenning osv. på analogsiden. Det er da viktig at henholdsvis digitalproduktet og analogproduktet ikke forandrer seg når det veksles mellom forskjellige forsterkninger. Årsaken til at dette er ønskelig ved digital/analogomforming er at basisomformerne som kan være R-2R-nettverk eller lignende ofte har en feil tilsvarende en halv minst signifikant bit (LSB). Dette gjør at signalstøyforholdet forverres drastisk når amplituden reduseres. Ved bruk av en digital/analogomformer og en forsterker med variabel forsterkning vil det dermed være mulig å få ut flere signalnivåer enn digital/analogomformerens alene kan gi.

- Når signalene har lav amplitude er det også mulig å bedre oppløsningen ved å splitte opp omformingen av de forskjellige bitene. Eksempelvis kan et 20 bits signal hvis signaler omkring ± 1 LSB er svært støybefengt, omformes i to separate omformere, en omformer for de øverste 10 bit og en for de laveste 10 bit og deretter å vektles eksternt utgangssignalene fra disse omformere forskjellig. I hver av omformerne skiftes bitene opp slik at de laveste bit får verdien "0". Er omformerne spenningsomformere, kan det mellom dem være anordnet en variabel motstand og en spenningsfølger på dennes utgang slik at det fås en analogkompensasjon for bitskiftet.

- Endelig kan det ved fremgangsmåten til stabilisering av et analogfilter benyttes et ytterligere filter på feilsignalet s_{10} før det eventuelt formateres og føres til inngangen på analogfilteret. Dette avhenger av hvilken funksjon analogfilteret skal implementere. Det er tenkelig at funksjonen som anvendes

på feilsignalet s_{10} for å generere kompensasjonssignalet s_{11} , må være slik at utgangssignalet s_8 blir summen av integralet av feilsignalet s_{10} og filterfunksjonen anvendt på inngangssignalet s_2 . Dette er sannsynlig fordi feilsignalet er en likestrømsverdi over en tidsperiode t_0 og tidsintegralet av denne verdi skal over tidsperioden t_0 endre utgangssignalet med samme verdi som feilen hadde ved begynnelsen av tidsperioden t_0 (første ordens konvergens). Hvis filteret som ønskes stabilisert, har en annen filterfunksjon enn et tidsintegral, kan det være nødvendig å filtrere feilsignalet før det dukker opp på analogfilterets inngang. Denne ekstra filterfunksjon som kan anvendes på feilsignalene kan f.eks. spesifikt være en integralfunksjon dividert med funksjonen til det kompenserte analogfilter. Fasevending er da ikke tatt i betraktning.

Spesielt kan fremgangsmåtene i henhold til oppfinnelsen anvendes ved reproduksjon av en digitalt lagret lydkilde. Det er da å vise fordelaktig å benytte to integrerende analogfiltre som stabiliseres separat. To integratorer koblet i serie som mottar et digitalt to ganger differensiert signal kan betraktes som et konvolusjonsfilter med kontinuerlig oppløsning anvendt på det digitale inngangssignal som er omformet i opprinnelig og ikke dobbelt differensiert format. Når det endelige utgangssignal $0(t)$ fremkommer som ved en dobbeltintegrasjon av en firkantpuls i en digital/analogomformer, blir den førstederiverte av utgangssignalet $0(t)$ av t kontinuerlig og utgangssignalet følgelig også selv kontinuerlig uten plutselige sprang i amplitude eller amplitudens forandringsrate.

Fremgangsmåten til stabilisering i henhold til oppfinnelsen kan også benyttes til styring av et mekanisk system. Analogfilteret kan da betraktes som en sensor som måler tilstanden til det mekaniske system og ikke som systemet selv. Det forutsettes da at responsen har en invers funksjon og lav hysteres.

Generelt kan fremgangsmåten til stabilisering og analogfilteret i henhold til den foreliggende oppfinnelse benyttes i prosesskontroll, særlig av prosesser som i en eller annen form opptrer som et integral og derfor er blitt betraktet som ustabile.

PATENTKRAV

1. Fremgangsmåte til stabilisering av et analogfilter (d8), spesielt ved omforming av digitalsignaler til analogsignaler, hvor et analogt inngangssignal (s1;s2;s3) filtreres gjennom analogfilteret for å generere et første
5 utgangssignal (s8;s9),
karakterisert ved å realisere et ideelt filter (d4), å generere et annet utgangssignal (s12;s13) fra det ideelle filter (d4), å generere et feil-signal (s10) ved å subtrahere det første utgangssignal (s8;s9) fra det annet utgangssignal (s12;s13), og å addere feilsignalet (s10) i form av et kompensasjonssignal (s11) til analogfilterets inngangssignal (s1;s2) i motfase, slik at
10 utgangssignalet (s8) fra analogfilteret (d8) konvergerer kontinuerlig mot en idealverdi.
2. Fremgangsmåte i henhold til krav 1,
karakterisert ved at det ideelle filter (d4) realiseres med en digital
15 filterfunksjon som ved et naturlig tidspunkt antar en digitalverdi som etter omforming til en analogverdi, er lik eller tilnærmet lik verdien av et ideelt stabilt analogfilter (d2) på samme tidspunkt.
3. Fremgangsmåte i henhold til krav 2,
karakterisert ved at et digitalt inngangssignal digitalfiltreres med
20 en filterfunksjon som er lik den inverse av analogfilterets filterfunksjon, at det filtrerte digitale inngangssignal omformes tidsdiskretisert til et analogsignal (s2), at analogsignalet benyttes som inngangssignal (s2;s3) til analogfilteret (d8), at det for analogfilteret (d8) beregnes et ideelt utgangssignal (s12;s13) som en numerisk funksjon av naturlig tid ved analogfilterets
25 inngang, at det samtidig genereres et signal i form av en tidsdiskret representasjon (s9) av analogfilterets (d8) utgangssignal (s8), idet dette tidsdiskrete signal (s9) holdes konstant i et gitt tidsrom, at feilsignalet (s10) genereres ved å subtrahere det tidsdiskrete signal (s9) fra det ideelle utgangssignal (s13), og at feilsignalet (s10) i form av et kompensasjonssignal (s11)
30 adderes til analogfilterets inngangssignal (s2).
4. Fremgangsmåte i henhold til krav 3,
karakterisert ved at det benyttes et analogfilter (d8) i form av en seriekobling av flere analoge filtere (d8₁...d8_n) og at det for hver av disse

analogfiltre beregnes et ideelt utgangssignal ($s_{12_1}, \dots, s_{12_n}; s_{13_1}, \dots, s_{13_n}$), idet de seriekoblede analogfiltre kan ha forskjellige filterfunksjoner.

5. Fremgangsmåte i henhold til krav 4,
karakterisert ved at feilsignalet (s_{10_k}) fra et analogfilter (d_{8_k}) i
5 seriekoblingen adderes til inngangssignalet (s_2) til et eller flere av de øvrige
filtre ($d_{8_1} \dots d_{8_{k-1}}; d_{8_{k+1}} \dots d_{8_{k+n}}$) i seriekoblingen.
6. Fremgangsmåte i henhold til krav 3 eller 4,
karakterisert ved at den analoge filtrering gjentas mer enn en
gang.
- 10 7. Integrerende analogfilter til utførelse av fremgangsmåten i henhold til
et av kravene 1-6, hvor analogfilteret omfatter et integratorledd, i form av en
forsterkende integrator (d_8) med gitt tidskonstant, hvor integratorleddet
forsterker et analogt inngangssignal (s_1) mottatt på en første inngang og et
tilbakekoblet signal (s_{10}) mottatt på en annen inngang, og som avgir et
15 analogt utgangssignal (s_8) til en tidsdiskretiseringsenhet (d_3) forbundet med
integratorens (d_8) utgang,
karakterisert ved at tidsdiskretiseringsenheten (d_3) utgjør to
sammel- og holdkretser som henholdsvis vekselvis sampler og holder det
analoge utgangssignal korrigert med feilsignalet (s_{10}), at tidsdiskretiserings-
20 enhetens (d_3) utgang innbefatter en velger (i_4) som vekselvis velger
utgangene på hver sampl- og holdkrets for derfra å avgi et tidsdiskretisert
samplet signal (s_9), slik at den ene sampl- og holdkrets sampler, mens den
annen sampl- og holdkrets holder, at velgeren (i_4) er forbundet med en
inngang på en adderer (d_{10}) som over en annen inngang mottar et analogt
25 referansesignal (s_{12}) som representerer analogfilterets ideelle utgangssignal
(s_6) i motfase og derav genererer et feilsignal (s_{10}) som differansen mellom
det samlede signal (s_9) fra den valgte sampl- og holdkrets og referansesig-
nalet (s_{12}), at addererens (d_{10}) utgang som avgir det genererte feilsignal
(s_{10}), er forbundet med den annen inngang på integratoren (d_8) og dermed
30 danner det nevnte tilbakekoblede signal, og at det av integratoren (d_8) avgitte
utgangssignal (s_8) omskriver det tidsdiskretiserte, samlede signal (s_9) avgitt
av sampl- og holdkretsene og konvergerer kontinuerlig mot en idealverdi.
8. Integrerende analogfilter i henhold til krav 7,
karakterisert ved at integratoren (d_8) er strømforsterkende

integrator, idet det analoge inngangssignal (s_1) integreres med en tidskonstant bestemt av en første motstand (d_9) og en kondensator (i_1) og feilsignalet (s_{10}) integreres med en tidskonstant bestemt av en annen motstand (d_6) og kondensatoren (i_1).

- 5 9. Integrerende analogfilter i følge krav 7 eller 8,
k a r a k t e r i s e r t v e d at addereren (d_{10}) er utført som en variabel
motstand, slik at forholdet mellom forsterkningen av det tidsdiskretiserte
utgangssignal (s_9) og referansesignalet (s_{12}) kan kalibreres.
- 10 10. Anvendelse av fremgangsmåten i følge et av kravene 1 - 6 for å
stabilisere analogfiltere i digital til analogomformere.

Figure 1

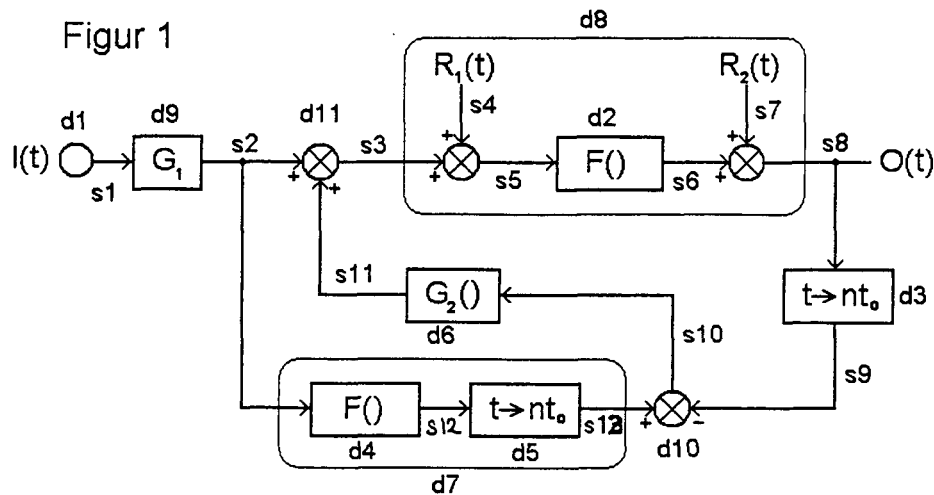


Figure 2

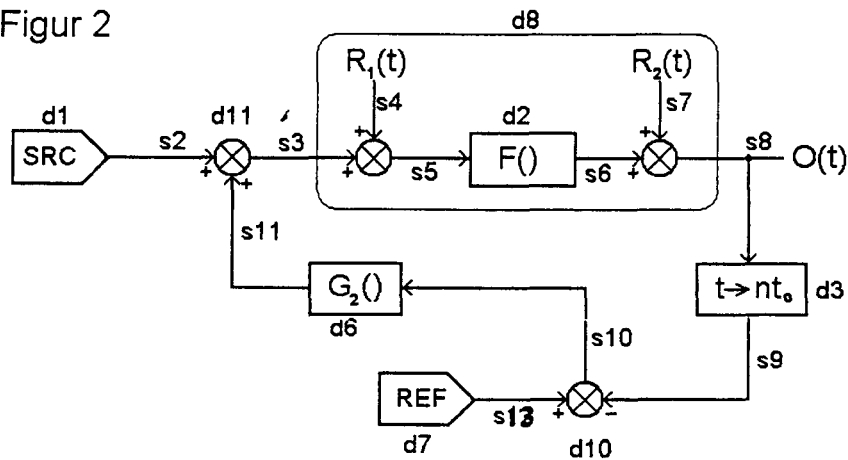
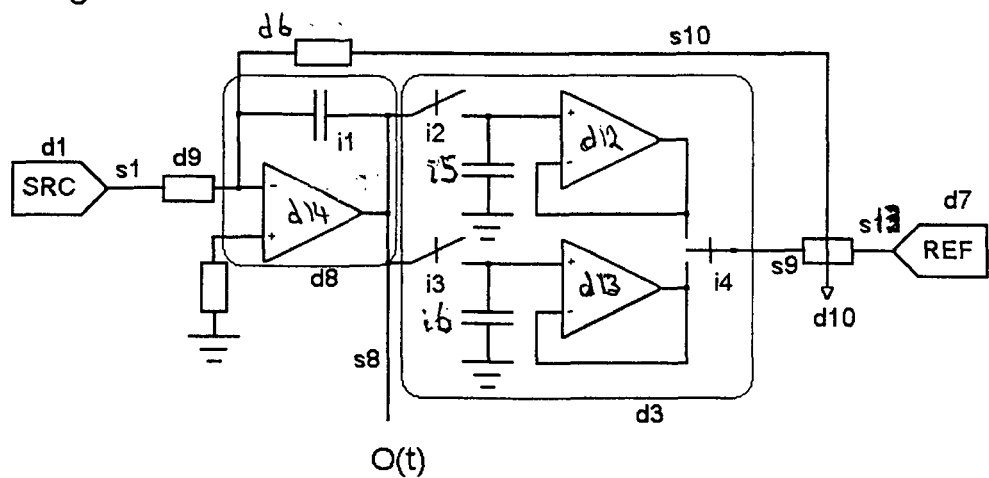
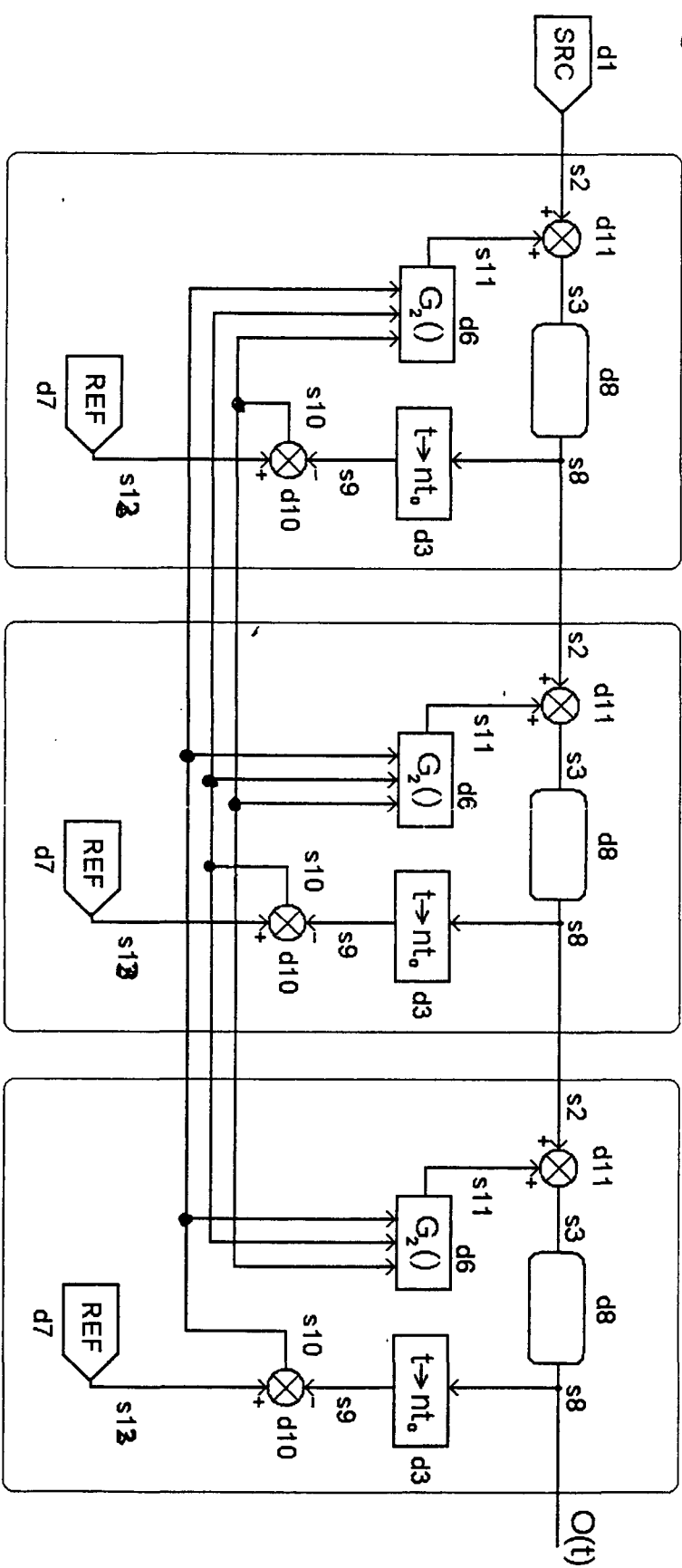


Figure 3



Figur 4



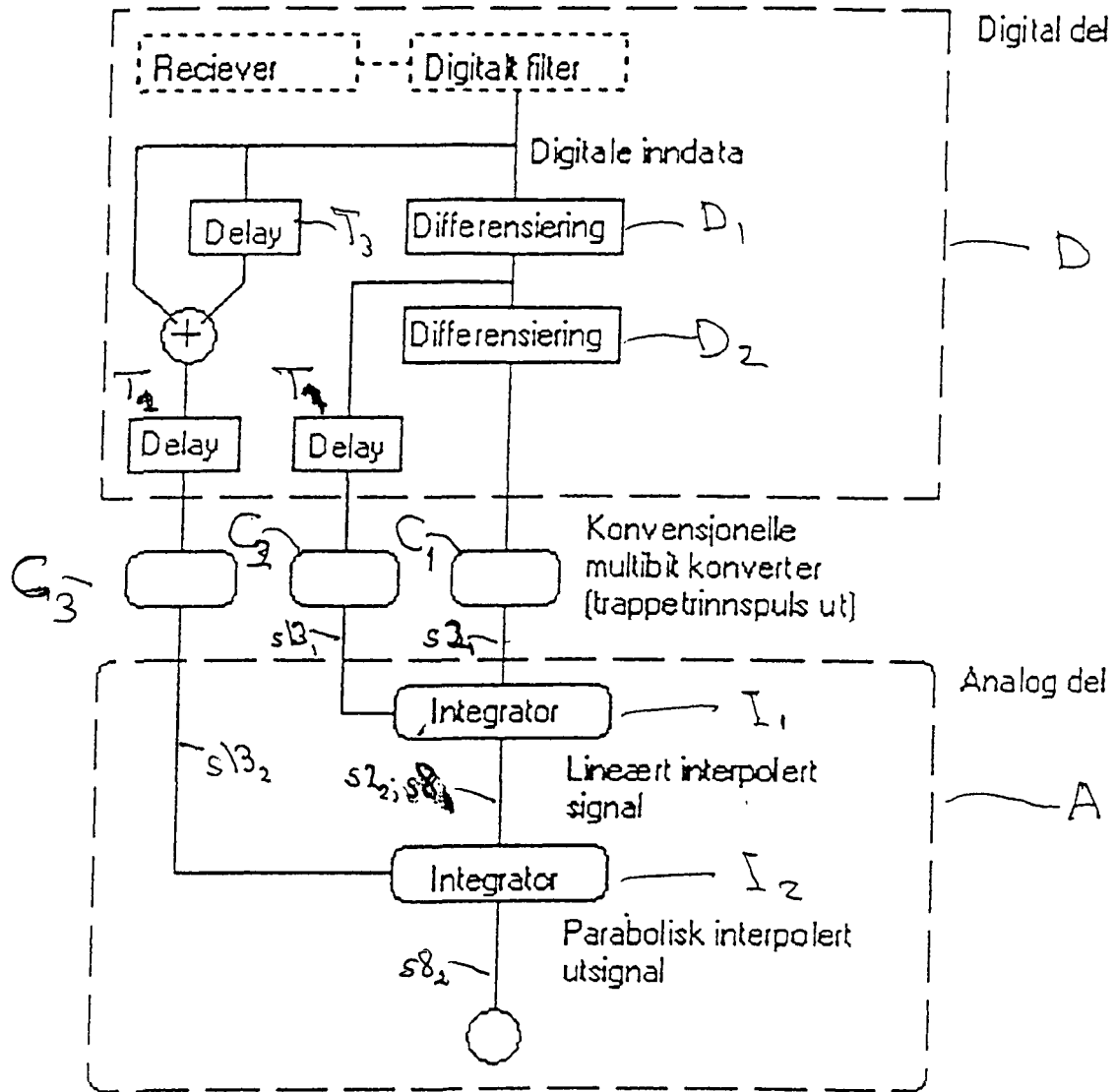


Fig. 5