
Octrooiraad



⑩ A Terinzagelegging ⑪ 8102635

Nederland

⑲ NL

- ⑤4 **Digitaal-digitaal-omzetter.**
- ⑤1 Int.Cl³: H03K 13/02.
- ⑦1 Aanvrager: Western Electric Company, Incorporated te New York.
- ⑦4 Gem.: Ir. H.M. Urbanus c.s.
Vereenigde Octrooibureaux
Nieuwe Parklaan 107
2587 BP 's-Gravenhage.

-
- ②1 Aanvraag Nr. 8102635.
- ②2 Ingediend 29 mei 1981.
- ③2 Voorrang vanaf 30 mei 1980.
- ③3 Land van voorrang: Ver. St. v. Am. (US).
- ③1 Nummer van de voorrangsaanvraag: 154843 .
- ⑥2 - -

-
- ④3 Ter inzage gelegd 16 december 1981.

De aan dit blad gehechte stukken zijn een afdruk van de oorspronkelijk ingediende beschrijving met conclusie(s) en eventuele tekening(en).

Titel : Digitaal-digitaal-omzetter.

De uitvinding heeft betrekking op een digitaal-digitaal-omzetter om een reeks ingangssteekproeven met een frequentie mf_0 om te zetten in een reeks uitgangssteekproeven met een frequentie f_0 , waarbij de waarde van elk van de uitgangssteekproeven een gewogen som van 2m van de ingangssteekproeven is, die in een accumulatieperiode vóór elke uitgangssteekproef optreden.

Op grond van rendement, gemakkelijke realisatie en ruisreductie is voorgesteld, dat een analoog-digitaal-omzetter een ingangstrap omvat, waarin het analoge signaal in een grof gekwantiseerde, digitaal representatie wordt omgezet bij een steekproefsnelheid, welke vele malen groter is dan de Nyquist-snelheid. Daarna wordt de digitale representatie "gedecimeerd" door groepen van hoogfrequente steekproeven te combineren tot overeenkomstige digitale waarden, die met de gewenste, geringere frequentie optreden. Dit uitgangssignaal kan dan direct worden gebruikt of worden gefilterd voordat het aan een verbruiksinrichting wordt toegevoerd. Een algemene omschrijving van een "oversampled" analoog-digitaal-codering en de kenmerken en voordelen daarvan, vindt men in een artikel van D. J. Goodman, getiteld "The Application of Delta Modulation to Analog-to-Digital PCM Encoding", in Bell System Technical Journal, Vol 48, februari 1969, pag. 321 - 343.

Bij het bovenbeschreven decimeringsproces moet zorg worden betracht om de ruis (vervorming), die tijdens de grove kwantisering wordt geïntroduceerd, te reduceren of te elimineren en "aliasing" te vermijden tengevolge waarvan ruis tijdens de daaropvolgende verwerking in het uiteindelijke digitale signaal wordt geïntroduceerd. Een wijze voor decimeringsfiltering bestaat uit een bepaalde, gewogen accumulatieprocedure, welke is omschreven op het Amerikaanse octrooischrift 4.032.914. In dit octrooischrift worden de m grof gekwantiseerde steekproefwaarden gedurende elk gewenst uitgangssteekproefinterval gecombineerd onder gebruik van driehoeks- of trapeziumweging. Hiermede wordt bedoeld, dat aan steekproefwaarden bij het begin en eind van het interval een bepaald lager gewicht wordt gegeven ten opzichte van de waarde bij het midden van het interval. Derhalve kan bij een driehoeksweging voor $m = 8$ steekproeven $X_0, X_1 \dots X_7$, een zodanige somming plaats vinden, dat het uitgangssignaal evenredig is met $0X_0 + 1X_1 + 2X_2 + 3X_3 + 4X_4 + 3X_5 + 2X_6 + 1X_7$. Bij een trapezium gewogen accumulatie kunnen dezelfde acht

steekproeven zodanig worden genomen, dat het uitgangssignaal varieert met $0X_0 + 1X_1 + 2X_2 + 3X_3 + 3X_4 + 3X_5 + 2X_6 + 1X_7$. Indien de coëfficiëntwaarden voor de twee bepaalde voorbeelden als functie van de tijd worden uitgezet, vormt de eerste een driehoek en de tweede een trapezium.

- 5 De zojuist beschreven methode, welke wordt gerealiseerd onder het gebruik van een paar in serie verbonden accumulatoren, heeft enig succes bij het reduceren van kwantiseringsruis, zoals gewenst is. Echter blijven de "aliasing"-effecten nog steeds in bepaalde mate bestaan en voldoet de frequentieresponsiekarakteristiek van de keten niet aan alle
10 eisen van het stelsel. Derhalve beoogt de uitvinding in ruime zin te voorzien in een verbeterde, digitaal-digitaal-omzetter of decimator met gewenste overdrachtskarakteristieken. Bepaalde oogmerken omvatten de reductie van "aliasing" en een vereenvoudiging van de ketenrealisatie, meer in het bijzonder onder gebruik van geïntegreerde-ketenvervaardigingsmethoden.
15

- Het probleem wordt volgens de uitvinding opgelost bij een digitaal-digitaal-omzetter, waarin de omzetter is voorzien van eerste en tweede lineaire accumulatoren, die in cascade zijn verbonden, waarbij het uitgangssignaal van de eerste accumulator de ongewogen som van m bepaalde steekproeven van de genoemde ingangssteekproeven voorstelt, en
20 het uitgangssignaal van de tweede accumulator een uniform verdeelde, gewogen som van de m bepaalde ingangssteekproeven voorstelt, waarbij het gewicht van de eerste van de m steekproeven m maal groter is dan het gewicht van de laatste van de genoemde steekproeven, een vermenigvuldiger om het uitgangssignaal van de eerste accumulator met een
25 schaafactor m te vermenigvuldigen, een aftrekinrichting voor het vormen van het verschil tussen het uitgangssignaal van de vermenigvuldiger en het uitgangssignaal van de tweede accumulator, een opzamelinrichting om het uitgangssignaal van de aftrekinrichting te vertragen, tot-
30 dat de volgende m ingangssteekproeven zijn geaccumuleerd, en een optel-inrichting om het uitgangssignaal van de opzamelinrichting bij het uitgangssignaal van de tweede accumulator op te tellen teneinde één van de uitgangssteekproeven te vormen.

- Volgens de uitvinding is een digitaal-digitaal-omzetter (decimeringsfilter) zodanig uitgevoerd, dat deze inrichting een reeks ingangssteekproeven met de frequentie mf_0 ontvangt en een overeenkomstige reeks uitgangssteekproeven met een frequentie f_0 opwekt onder gebruik
35

van overlappende driehoeksaccumulatie. Hiermede wordt bedoeld, dat voor het opwekken van een uitgangssteekproef voor elke groep van m ingangssteekproeven de $n = 2m$ steekproeven $X_0, X_1 \dots X_{n-2}, X_{n-1}$ zodanig wordt geaccumuleerd, dat aan de eerste steekproef X_0 geen gewicht wordt gegeven, aan de tweede en laatste steekproeven X_1 en X_{n-1} het minste gewicht wordt gegeven, aan de volgende meer naar binnengelegene steekproeven X_2 en X_{n-2} een groter gewicht wordt gegeven en aan de middelste steekproef X_m het meeste gewicht wordt gegeven. Van deze n steekproeven liggen m in het volgende interval en m in het voorafgaande interval. De overlappende driehoeksaccumulatie wordt verkregen door de ingangssteekproeven toe te voegen aan een paar in serie verbonden accumulatoren, waarvan de eerste elke groep van m steekproeven zonder weging sommeert en waarvan de tweede de steekproeven in de eerste accumulator zodanig sommeert, dat de eerste steekproef m maal het gewicht van de laatste ontvangt en tussengelegene steekproeven proportionele gewichten tussen deze twee extreme waarden ontvangen.

Het uitgangssignaal van de tweede accumulator wordt afgetrokken van een versie van het uitgangssignaal van de eerste accumulator, welke met een factor m in schaal is vergroot, en het verschil wordt met één interval van m steekproeven vertraagd. Het gewenste uitgangssignaal wordt verkregen door het uitgangssignaal van de tweede accumulator met het uitgangssignaal van de vertragsorganen te combineren. Door deze realisatie verkrijgt men de gewenste overdrachtskarakteristieken bij een constructie, die eenvoudig is en op een eenvoudige wijze in geïntegreerde-ketenvorm kan worden gerealiseerd.

De uitvinding zal onderstaand nader worden toegelicht onder verwijzing naar de tekening. Daarbij toont :

fig. 1 een blokschema van een bekende analoog-digitaal-codeerinrichting, waarbij gebruik wordt gemaakt van een decimator of digitaal-digitaal-code-omzetter van het type volgens de uitvinding;

fig. 2 een diagram ter toelichting van een normale driehoeksgewogen accumulatie, zoals deze tot dusverre bij de bekende decimatoren werd toegepast;

fig. 3 de overlappende driehoeksweging, die volgens de uitvinding wordt toegepast;

fig. 4 een andere weergave van een overlappende driehoeksaccumulatie;

fig. 5 en 6 een vergelijking van de overdrachtsfuncties van de bekende, normale driehoeksaccumulatie (fig. 5) en de overlappende driehoeksaccumulatie (fig. 6) volgens de uitvinding;

fig. 7 een blokschema van een digitaal-digitaal-omzetter of decimator volgens de uitvinding; en

fig. 8 - 12 grafisch gewogen sommen, welke door verschillende functionele gedeelten van de decimator volgens fig. 7 zijn berekend.

Een belangrijke toepassing van de uitvinding is in fig. 1 perspectivisch weergegeven, welke figuur een uitvoeringsvorm van een "oversampled" analoog-digitaal-spreekbandomzetter in blokschemavorm toont. Bij deze uitvoeringsvorm wordt een analoog ingangssignaal $I(t)$ met een frequentiegebied van 0 - 4 kHz toegevoerd aan een interpolatiemodulator 101, welke dient voor het opwekken van een reeks van uit negen bits bestaande uitgangswaarden bij een frequentie van 256×10^3 woorden per sec. (256 kw/s). De inwendige constructie van de modulator 101 kan gelijk zijn aan die van de codeerinrichting 19 in het bovengenoemde Amerikaanse octrooischrift 4.032.914, waarin een opgeslagen foutwaarde (voor een voorafgaande steekproef) grof wordt gekwantiseerd, van het ingangssignaal wordt afgetrokken en wordt geïntegreerd voor het vormen van de foutwaarde voor de volgende steekproef. Het uitgangssignaal van de interpolatiemodulator 101 wordt toegevoerd aan een decimator 102, welke onderwerp van de uitvinding vormt. Het doel van de decimatie bij deze uitvoeringsvorm is het verschaffen van uit vijftien bits bestaande uitgangswaarden bij een frequentie van 32 kw/s, hetgeen betekent, dat één uitgangssignaal voor elke acht ingangssteekproeven wordt geleverd. In dit geval is $m = 8$ en $n = 16$. Decimatie betekent niet eenvoudig het schrappen van zeven woorden en het gebruiken van elk achtste ingangswaard voor het vormen van elk uitgangswaard. In plaats daarvan wordt volgens de uitvinding nog steeds onder gebruik van de frequenties van het hier beschouwde voorbeeld elk uitgangswaard gevormd als een gewogen som van de voorafgaande zestien ingangswaarden.

Het uitgangssignaal van de decimator 102 wordt toegevoerd aan een laagdoorlaatfilter 103, dat normaliter is uitgevoerd als een digitaal filter van de vierde of hogere orde, in cascade met een digitaal hoogdoorlaatfilter 104, die beide woorden van zestien bits met Nyquistfrequentie van 8 kw/s verwerken. Door de decimator 102 in de A/D-codeerinrichting op te nemen, worden de bedrijfssnelheid en de energie-eisen

van de filters 103 en 104 op een gunstige wijze gereduceerd, waardoor een praktische realisatie onder gebruik van geïntegreerde-ketentechnologie mogelijk wordt gemaakt.

Bij de bekende decimatoreketen, weergegeven in fig. 1 van het
 5 bovengenoemde Amerikaanse octrooischrift 4.032.914, wordt een driehoeks-
 gewogen accumulatie gebruikt om elke uitgangssteekproef uit de vooraf-
 gaande m ingangssteekproeven te verkrijgen, waarbij de ingangsfrequen-
 tie mf_0 m maal groter is dan de uitgangsfrequentie f_0 , en waarbij is
 aangenomen, dat m even is. Fig. 2 toont een reeks van ingangssteekproe-
 10 ven $X_0, X_1, X_2, X_3, \dots$, waarbij elke steekproef elke $\frac{1}{mf_0}$ sec. op-
 treedt. en elke m -de steekproef, $X_m, X_{2m}, X_{3m}, \dots$, welke gearceerd
 zijn aangegeven, het eind van een accumulatie-interval van $\frac{1}{f_0}$ sec.
 vormt. De weegfactoren $A_0 - A_{m-1}$, welke worden gebruikt voor het wegen
 van overeenkomstige steekproeven $X_0 - X_{m-1}$ zijn in fig. 2 grafisch
 15 weergegeven en vormen een driehoeksconfiguratie, een en ander zodanig,
 dat de factor A_0 gelijk is aan 0, de factoren A_1 en A_{m-1} voor steek-
 proeven aan het begin en eind van elk interval het kleinst zijn en de
 factor $A_{\frac{m}{2}}$ in het midden van elk interval het grootst is, terwijl de
 20 tussengelegen factoren evenredig af- en toenemende waarden bezitten.
 De waarde van de uitgangssteekproef Y_0 is de gewogen som van de ingangs-
 steekproeven in het interval, een en ander zodanig, dat $Y_0 = \sum A_0 X_0 +$
 $A_1 X_1 \dots A_{m-1} X_{m-1}$. De volgende uitgangssteekproef Y_1 wordt op een
 soortgelijke wijze gewogen, zodat $Y_1 = \sum A_0 X_m + A_1 X_{m+1} \dots A_{m-1} X_{2m-1}$.
 25 Wanneer integrale waarden voor de weegcoëfficiënten worden gebruikt,
 zoals $A_0 = 0, A_1 = A_m = 1, A_2 = A_{m-1} = 2, A_3 = A_{m-2} = 3, \dots A_{\frac{m}{2}} = \frac{m}{2}$;
 wordt het decimatoruitgangssignaal Y_i ($i = 0, 1, 2, 3, \dots$) uitgedrukt
 door :

$$Y_i = \sum_{K=1}^{K=m/2} K X_{K+m(i)} + \sum_{K=\frac{m}{2}+1}^{K=m-1} (m-K) X_{K+m(i)} \quad (1)$$

30 De voordelen van een driehoeks-gewogen accumulatie van het zo-
 juist beschreven type, evenals andere details, welke betrekking hebben
 op de mathematische grondslag en realisatie daarvan, zijn besproken in
 een artikel van J. C. Candy en anderen, getiteld "Using Triangular
 Weighted Interpolation to Get 13-Bit PCM From A Sigma-Delta Modulator",

in IEEE Transactions on Communications, november 1976, pag. 1268-1275.

In de aanhef van bedoeld artikel is de uitdrukking "interpolatie" als synoniem met "accumulatie" gebruikt, waarbij er op gewezen wordt, dat de beide termen worden gebruikt voor het identificeren van een karakteristiek van omzetters van het type, zoals hier beschreven.

Ofschoon een driehoekig gewogen accumulatie bijna ideaal is voor het reduceren van de door de modulator 101 volgens fig. 1 opgewekte kwantiseringsruis, blijft het "aliasing"-probleem nog steeds bestaan. Zoals aangegeven in fig. 5 wordt de overdrachtskarakteristiek 501 voor driehoeksaccumulatie bij een ingangsfrequentie $f_1 = 256$ kHz en een uitgangsfrequentie $f_2 = 32$ kHz mathematisch uitgedrukt door :

$$\left| H(f) \right| = \left| \frac{\text{sinc}(f/2f_2)}{\text{sinc}(f/f_1)} \right|^2, \quad (2)$$

waarbij sinc als volgt wordt gedefinieerd : $\text{sinc} x = \frac{\sin \pi x}{\pi x}$,

en een damping van ongeveer 7dB bij $f = 32$ kHz vertoont. Wanneer van het uitgangssignaal van de decimator 102 daarna opnieuw steekproeven worden genomen bij 32 kHz in de filters 103 en 104, wordt eventuele ruis in de band om 32 kHz "omgevouwen" en treedt deze binnen de basisband op, waardoor vervorming optreedt. Dit probleem wordt volgens de uitvinding gereduceerd door gebruik te maken van overlappende driehoeksaccumulatie, welke hierna meer uitvoerig zal worden toegelicht. Voor dit type accumulatie wordt de overdrachtskarakteristiek 601 in fig. 6 mathematisch uitgedrukt als :

$$H(f) = \left| \frac{\text{sinc } f/f_2}{\text{sinc } f/f_1} \right|^2, \quad (3)$$

welke een zeer grote damping vertoont bij 32 kHz, waardoor weinig of geen "aliasing" na een daarop volgende steekproefhandeling optreedt.

De fig. 3 en 4 tonen grafisch een overlappende driehoeksaccumulatie volgens de uitvinding, waarbij een schaal wordt gebruikt, die een eenvoudige vergelijking met fig. 2 mogelijk maakt. De ingangssteekproeven $X_0, X_1, X_2, \dots$ zijn dezelfde, en treden bij intervallen van $1/mf_0$ sec. op, terwijl de uitgangspulsen $X_0, X_1, X_2, \dots$ elke $1/f_0$ sec. optreden. Er worden evenwel tweemaal zoveel ingangssteekproeven gebruikt voor het verschaffen van de geaccumuleerde waarde, waarmee elke uitgangswaarde evenredig is en elk van de ingangssteekproeven draagt bij tot twee uitgangssteekproeven. Meer in het bijzonder wordt de eerste

uitgangssteekproef Y_0 gevormd onder gebruik van de sommatie :

$$Y_0 = A_0 X_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + \dots + A_{(2m-1)} X_{(2m-1)} \quad (4)$$

De volgende uitgangssteekproef Y_1 wordt gevormd door de sommatie:

$$Y_1 = A_0 X_m + A_1 X_{m+1} + A_2 X_{m+2} + \dots + A_{(2m-1)} X_{(3m-1)} \quad (5)$$

5 Derhalve gebruikt elke uitgangssteekproef ingangssignalen uit twee steekproefintervallen en wordt elke ingangssteekproef tweemaal gebruikt. Voor integrale coëfficiëntwaarden zijn $A_0 - A_{n-1}$ als volgt :

$$\begin{aligned} A_0 &= 0 \\ A_1 &= A_{n-1} = 1 \\ A_2 &= A_{n-2} = 2 \\ 10 \quad A_3 &= A_{n-3} = 3 \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \\ 15 \quad A_m &= m. \end{aligned} \quad (6)$$

Er wordt opnieuw op gewezen, dat $n = 2m$.

Ook fig. 4 toont de overlappende driehoeksweging, zoals deze volgens de uitvinding wordt toegepast. De weegcoëfficiënten $A_0, A_1, \dots, A_m, \dots, A_{2m-1}$ vormen een reeks driehoeken 401 - 404, die elkaar zodanig overlappen, dat elke ingangssteekproef als een deel van twee accumulaties voor
20 het vormen van twee uitgangssteekproeven zal worden gebruikt.

De algemene uitdrukking voor de uitgangssteekproeven Y_i ($i = 0, 1, 2, \dots$) van een decimator onder gebruik van overlappende driehoeks-accumulatie met de bovenstaande coëfficiënten is de volgende :

$$25 \quad Y_i = \sum_{K=mi}^{m(i+1)-1} (K-mi) X_K + \sum_{K=m(i+1)}^{m(i+2)-1} [m(i+2)-K] X_K \quad (7)$$

Voor een ingangssteekproeffrequentie mf_0 van 256 kHz, waarbij $m=8$, is de z-transformatie van de decimator :

$$H(z) = \frac{1}{64} \left[\frac{1-z^{-8}}{1-z^{-1}} \right]^2 \quad (8)$$

en is de overeenkomstige frequentieresponsie :

$$30 \quad H_D(f/f_0) = \left| \frac{\text{sinc}(8 f/f_0)}{\text{sinc}(f/f_0)} \right|^2 \quad (9)$$

Wanneer de decimator in cascade wordt verbonden met de modulator met een overdrachtsfunctie :

$$H_m(f/f_0) = \left[\text{sinc}(f/f_0) \right] \quad (10)$$

wordt de totale overdrachtsfunctie :

$$H_m(f/f_0) \cdot H_D(f/f_0) = \left| \frac{\text{sinc}^2(8 \cdot f/f_0)}{\text{sinc}(f/f_0)} \right| \quad (11)$$

Bij een hernieuwde steekproefwerking bij 28 en 36 kHz, leidt vergelijking (11) tot een totale responsie van respectievelijk -34,1 en -38,3 dB, waardoor een adequate beveiliging tegen aliasing wordt verzekerd.

Voor ingangssteekproeven met een frequentie mf_0 en een gewenste uitgangsfrequentie f_0 , vindt men in fig. 7 een blokschema van een decimator, welke dient voor het accumuleren van $2m$ ingangssteekproeven onder gebruik van een overlappende driehoeksweging volgens de uitvinding. Bij de keten volgens fig. 7 wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van parallelle rekenkunde en de keten omvat vier optelinrichtingen 701 - 704, vier registers 711 - 714, die elk één steekproefwoord vasthouden, en een met m vermenigvuldigende keten 715, welke eenvoudig kan bestaan uit een schuifketen, wanneer m een macht van 2 is (bijvoorbeeld een verschuiving van drie bits voor $m = 8$). De optelinrichting 701, tezamen met het register 711 en de optelinrichting 702 met het register 712 vervullen elk een accumulerings- en dumpfunctie. De registers 711 en 712 worden bij mf_0 geklokt en vrijgegeven bij f_0 kHz en wel onder bestuur van een niet-afgebeelde klokbron. De registers 713 en 714 worden geklokt bij f_0 kHz op hetzelfde moment, dat de registers 711 en 712 worden vrijgegeven. Het register 713 levert een vertraging, gelijk aan het interval $1/f_0$ tussen de uitgangspulsen en het register 714 werkt eenvoudig als een uitgangsvasthoudregister.

De werking van de decimator volgens fig. 7 blijkt uit de uitdrukkingen voor signalen in de punten A, B, C en D in fig. 7 op het moment, dat het kloksignaal met een frequentie f_0 wordt toegevoerd, n.l. :

$$A_i = \sum_{K=mi}^{K=m(i+1)-1} X_K \quad (12)$$

$$B_i = \sum_{K=mi}^{m(i+1)-1} [m(i+1)-K] X_K \quad (13)$$

$$C_i = mA_i - B_i = \sum_{K=mi}^{m(i+1)-1} (K-mi) X_K \quad (14)$$

en

$$D_i = C_i + B_{i+1} \quad (15)$$

$$= \sum_{K=mi}^{m(i+1)-1} (K-mi) X_K + \sum_{K=m(i+1)}^{m(i+2)-1} [m(i+2)-K] X_K.$$

5 D_i is het gewenste uitgangssignaal, zoals uit vergelijking (7) blijkt.

De werking van de decimator volgens fig. 7 kan verder worden toegelicht onder verwijzing naar de werking van de functionele delen daarvan in samenhang met de diagrammen volgens fig. 8 - 12. De optel-
inrichting 701 vormt tezamen met het register 711 een "niet-gewogen"
10 accumulator. Het register wordt aan het begin van elk m-steekproefinter-
val vrij gegeven door een puls op de lijn 720 met de frequentie f_0 . Elke
keer, dat een klokpuls met de frequentie mf_0 op de lijn 721 optreedt,
wordt een ingangssteekproef bij de huidige inhoud van het register 711
opgeteld en wordt de som in het register ingelezen en opgeslagen. Deze
15 procedure wordt voor elk van de m ingangssteekproeven, die tussen elk
tweetal uitgangssteekproeven optreden, herhaald. Alle steekproefwaarden
worden gelijkkelijk behandeld, meer in het bijzonder vermenigvuldigd
met een gewichtsfactor gelijk aan de eenheid, als aangegeven in fig. 8.

Door het uitgangssignaal van de eerste accumulator (op de lijn
20 730) toe te voeren aan een tweede accumulator (bestaande uit een optel-
inrichting 702 en register 712) wordt de op de ingangssteekproeven uit-
gevoerde accumulatie niet-uniform gewogen. Het register 712 wordt aan
het begin van elk m-steekproefinterval door een puls op de lijn 722
bij de frequentie f_0 vrij gegeven. Elke keer, dat een klokpuls met de
25 frequentie mf_0 op de lijn 723 optreedt, wordt de inhoud van het regis-
ter 712 bij het uitgangssignaal van de eerste accumulator opgeteld en
worden de resultaten in het register ingelezen en opgeslagen. De accu-
mulatie wordt m maal herhaald bij het optreden van elke ingangssteek-

proef. Derhalve ontvangt de eerste steekproef in elk interval m maal het gewicht van de laatste steekproef in het interval en worden tussengelegen steekproeven op uniforme wijze verdeeld of proportioneel gewogen. De weegprogressie van de steekproeven in elk interval van $m, m-1, m-2 \dots 1$ is weergegeven in fig. 9.

De waarde van het uitgangssignaal uit de eerste accumulator (uit de optelinrichting 701 op de lijn 730 afgenomen) wordt door de vermenigvuldigketen 715 " m " maal vergroot. Dit kan geschieden door een eenvoudige verschuiving van de multibitwaarde op de lijn 730 wanneer m een macht van 2 is. Het uitgangssignaal van de vermenigvuldigketen 715, aangegeven in fig. 10, komt overeen met dat, weergegeven in fig. 8, doch " m " maal groter.

Het uitgangssignaal van de tweede accumulator (uit de optelinrichting 702 op de lijn 731 afgenomen) wordt onder gebruik van de aftrekinrichting 703 van het uitgangssignaal van de vermenigvuldigketen 715 afgetrokken. Het resultaat, aangegeven in fig. 11, is een niet-lineaire accumulatie, waarbij de laatste steekproef $m-1$ maal het gewicht van de tweede steekproef heeft en tussengelegen steekproeven proportioneel zijn, variërende van 1, 2, 3 ... $m-1$. De eerste steekproef in het interval heeft een gewicht nul.

Het uitgangssignaal van de aftrekinrichting 703 wordt tijdens het interval $1/f_0$ tussen opeenvolgende uitgangssteekproeven vastgehouden of vertraagd door het register 713, dat klokpulsen op de lijn 724 met een frequentie f_0 ontvangt. Deze vertraging heeft het effect van het "bevriezen" van het uitgangssignaal van de aftrekinrichting (fig. 11), zodat wanneer het uitgangssignaal van het register 713 in de optelinrichting 704 met het uitgangssignaal van de tweede accumulator op de lijn 731 wordt gecombineerd, het eerste m steekproeven in het eerste interval en het laatste m steekproeven in het volgende interval omvat. Zoals aangegeven in fig. 12, wordt de totale accumulatie driehoekig gewogen, waarbij steekproeven aan het begin en eind van de accumulatieperiode het minste gewicht ontvangen en steekproeven bij het midden van de periode het grootste gewicht ontvangen. De steekproeven, die tussen de extreme waarden zijn gelegen, worden uniform verdeeld of proportioneel gewogen, zoals gewenst is.

Het uitgangssignaal van de optelinrichting 704 kan direkt worden gebruikt of tussen elke twee uitgangssteekproeven in het register

714 worden vastgehouden, welk register klokpulsen op de lijn 725 met de uitgangsfrequentie f_0 ontvangt. Het uitgangssignaal van de decimator op de lijn 740 kan ook, indien gewenst, op schaal worden gereduceerd teneinde het uitgangssignaal ten aanzien van het ingangsniveau te normaliseren. Indien de waarde van m een macht van 2 is, zal de som van de weegcoëfficiënten eveneens een macht van 2 zijn en kan een eenvoudige verschuiving worden toegepast voor de schaalwijziging. Zo zijn bijvoorbeeld, indien $m = 8$ de coëfficiënten :

	$A_0 = 0$	$A_4 = A_{12} = 4$
10	$A_1 = A_{15} = 1$	$A_5 = A_{11} = 5$
	$A_2 = A_{14} = 2$	$A_6 = A_{10} = 6$
	$A_3 = A_{13} = 3$	$A_7 = A_9 = 7$
		$A_8 = 8$

De som van de coëfficiënten is 64 en een verschuiving van 5-bit posities zal het uitgangssignaal van de accumulator ten aanzien van het ingangssignaal normaliseren.

CONCLUSIES :

1. Digitaal-digitaal-omzetter om een reeks van ingangssteekproeven met een frequentie mf_0 om te zetten in een reeks uitgangssteekproeven met de frequentie f_0 , waarbij de waarde van elk van de uitgangssteekproeven een gewogen som van $2m$ van de ingangssteekproeven is, die
5 in een accumulatieperiode vóór elke uitgangssteekproef optreedt, gekenmerkt door eerste en tweede lineaire accumulatoren (711, 712), die in cascade zijn verbonden, waarbij het uitgangssignaal van de eerste accumulator (711) de niet-gewogen som van m bepaalde steekproeven van de ingangssteekproeven voorstelt, en het uitgangssignaal van de tweede accumulator (712) een uniform verdeelde, gewogen som van de m bepaalde ingangssteekproeven voorstelt, waarbij het gewicht van de eerste steekproef van de m steekproeven m maal groter is dan het gewicht van de laatste steekproef van de genoemde steekproeven, een vermenigvuldiger (715) om het uitgangssignaal (730) van de eerste accumulator met een schaalfactor m
15 te vermenigvuldigen, een aftrekinrichting (703) voor het vormen van het verschil tussen het uitgangssignaal van de vermenigvuldiger (740) en het uitgangssignaal van de tweede accumulator (731), een opzamelinrichting (713) om het uitgangssignaal van de aftrekinrichting te vertragen tot dat de volgende m ingangssteekproeven zijn geaccumuleerd, en een optelinrichting (704) om het uitgangssignaal van de opzamelinrichting (731)
20 bij het uitgangssignaal van de tweede accumulator (731) op te tellen voor het vormen van één van de uitgangssteekproeven.
2. Omzetter volgens conclusie 1 met het kenmerk, dat de eerste en tweede accumulatoren elk zijn voorzien van een optelketen (701; 702)
25 met een eerste ingang voor het ontvangen van de ingangssteekproeven, een tweede ingang en een uitgang, en organen (721, 720; 722, 723) voor het periodiek toevoeren van het uitgangssignaal van de optelinrichting aan de tweede ingang en het accumuleren van het volgende uitgangssignaal van de optelketen.
- 30 3. Omzetter volgens conclusie 2 met het kenmerk, dat elk van de eerste en tweede accumulatoren (711, 712) is voorzien van een register (711; 712) voor het periodiek accumuleren van het uitgangssignaal van de optelinrichting voor hercombinatie met de ingangssteekproeven.
4. Werkwijze voor digitaal-digitaal-omzetting met het kenmerk,
35 dat de gewogen sommen van groepen ingangssteekproeven, die met de fre-

quentie mf_0 optreden, worden geaccumuleerd met de frequentie f_0 , waarbij elk van de groepen $2m$ van de steekproeven $X_0, X_1, X_2 \dots X_{2m-1}$ omvat, en de steekproeven respectievelijk worden gewogen met de factoren $A_0, A_1, A_2 \dots A_{2m-1}$, waarbij

5

$$\begin{aligned} A_0 &= 0 \\ A_1 &= A_{2m-1} = 1 \\ A_2 &= A_{2m-2} = 2 \\ A_3 &= A_{2m-3} = 3 \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \end{aligned}$$

10

$$A_m = m$$

waarbij eerste de gewogen som van subgroepen van m steekproeven wordt gevormd, waarbij de laatste steekproef in deze subgroep $(m-1)$ maal het gewicht van de eerste steekproef in de subgroep ontvangt en waarbij tussengelegen steekproeven proportioneel worden gewogen, in de tweede plaats de gewogen som van subgroepen van m steekproeven wordt gevormd, waarbij de eerste steekproef in de subgroep m maal het gewicht van de laatste steekproef in de subgroep ontvangt en waarbij tussengelegen steekproeven proportioneel worden gewogen, de gewogen som van de eerste vormstap wordt vertraagd over een interval, dat nodig is om een volgende subgroep van de steekproeven te verwerken, en de gewogen som van de tweede vormstap met het uitgangssignaal van de vertragingstap wordt gecombineerd.

FIG. 1

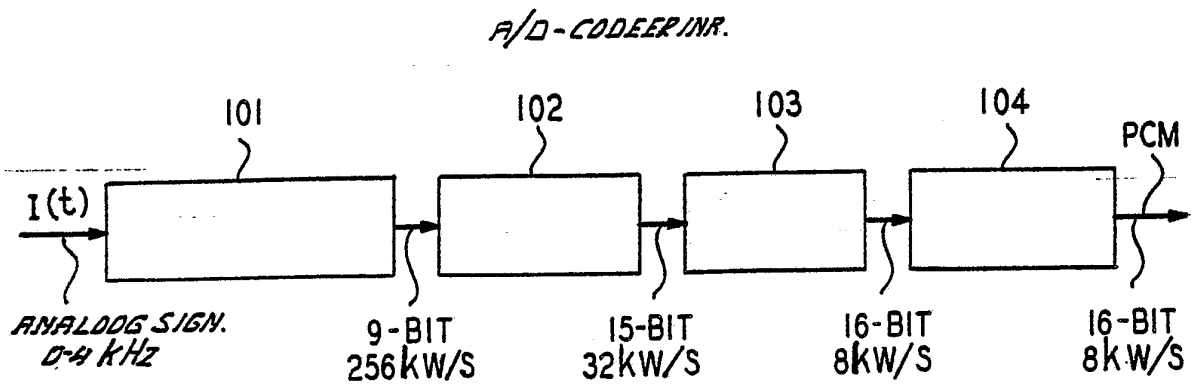


FIG. 7

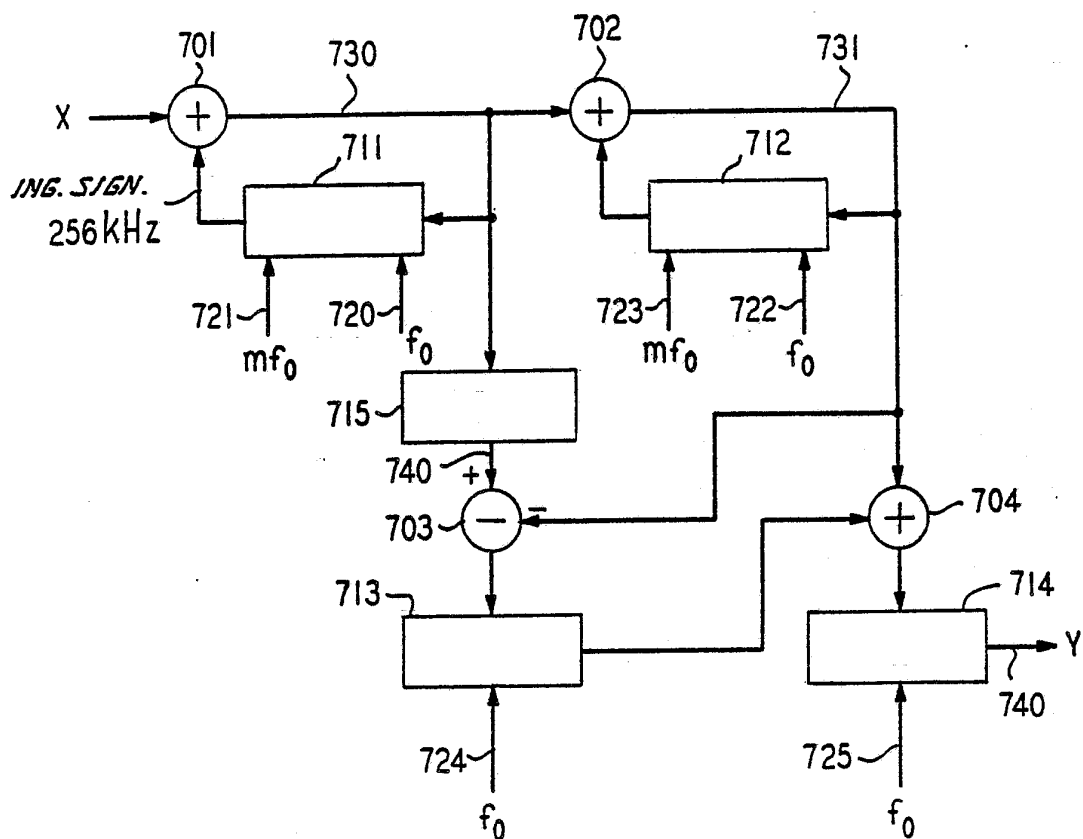


FIG. 4

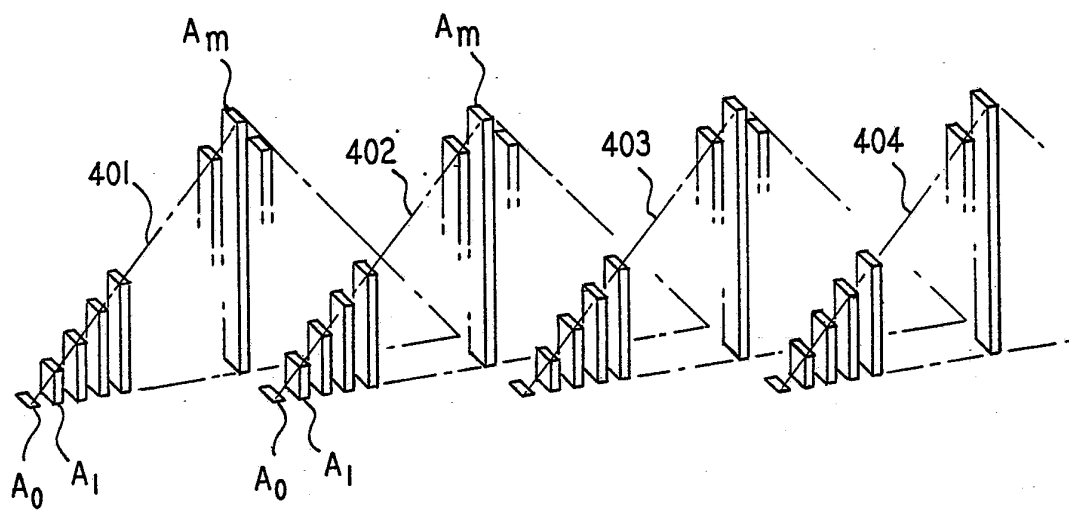


FIG. 5

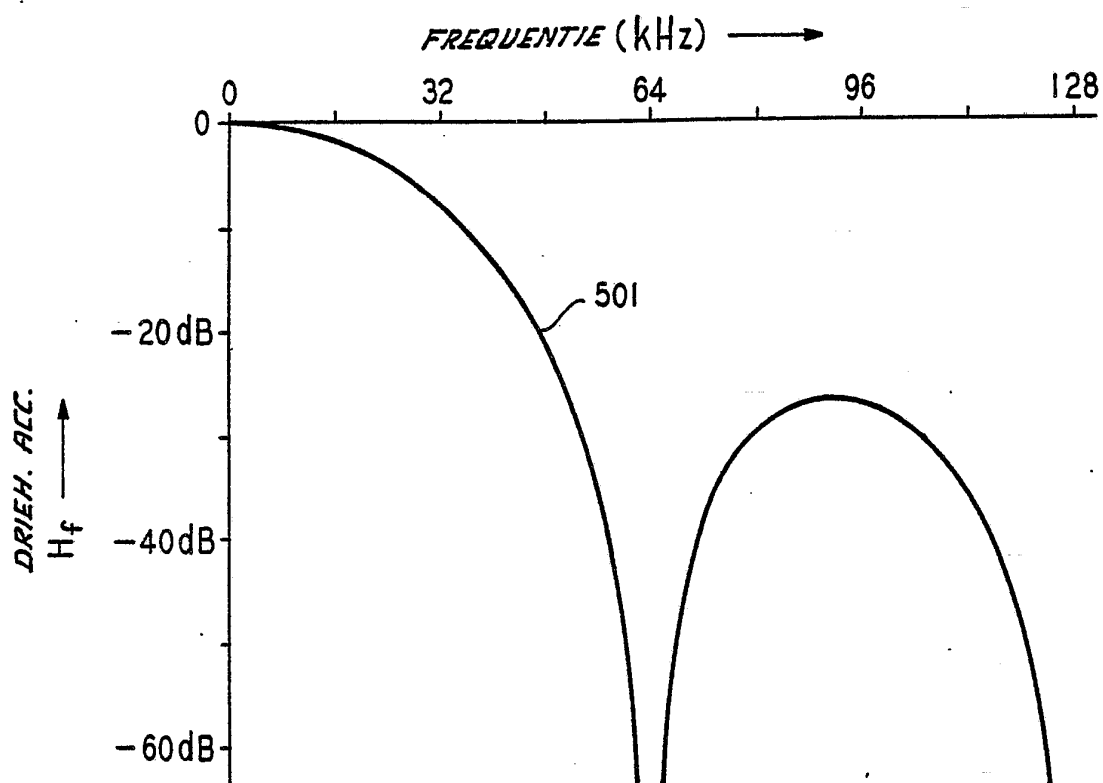


FIG. 6

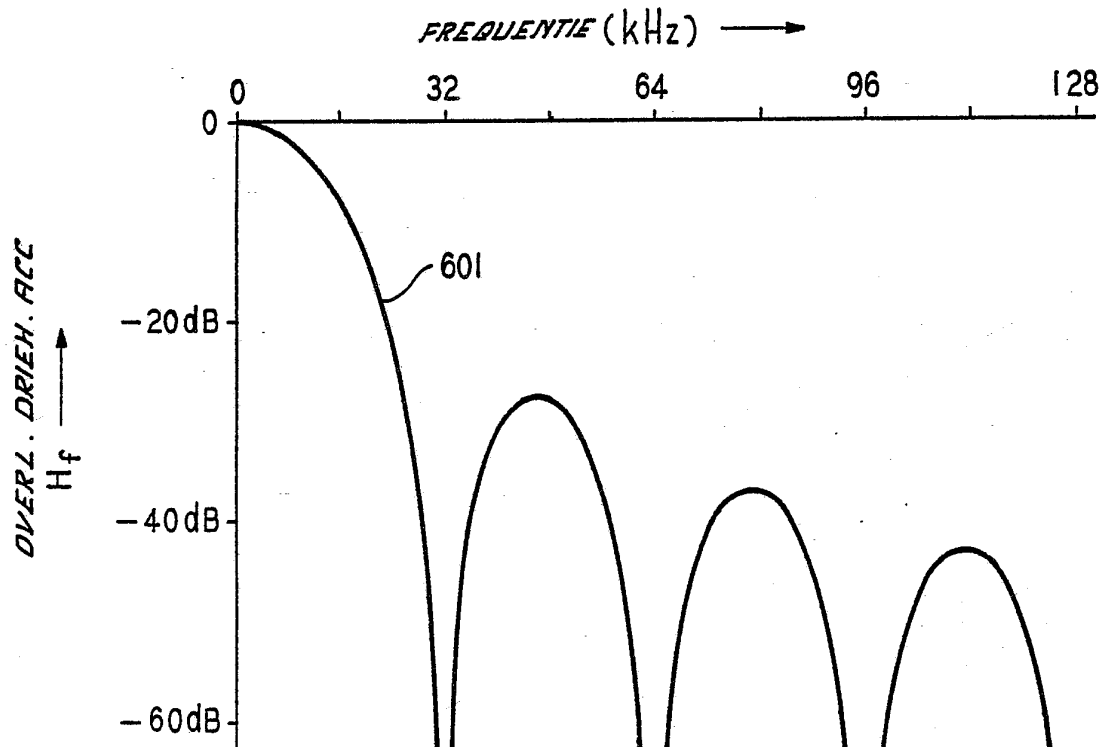


FIG. 8

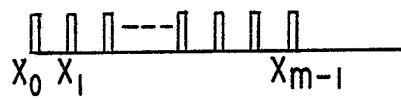


FIG. 9

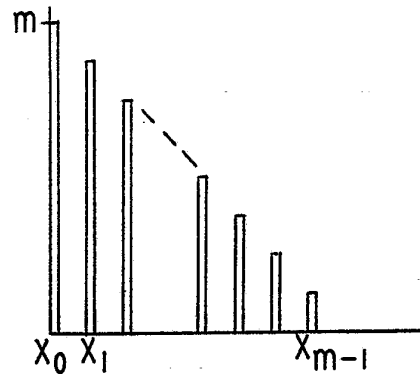


FIG. 10

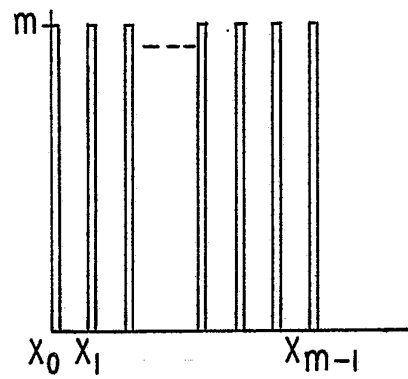


FIG. 11

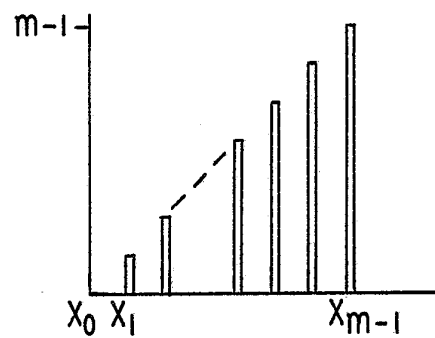


FIG. 12

