

(19)



SUOMI - FINLAND

(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS

PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN

FINNISH PATENT AND REGISTRATION OFFICE

(10) **FI 945235 A7**

(12) **JULKISEKSI TULLUT PATENTTIHAKEMUS
PATENTANSÖKAN SOM BLIVIT OFFENTLIG
PATENT APPLICATION MADE AVAILABLE TO THE
PUBLIC**

(21) Patentihakemus - Patentansökan - Patent application **945235**

(51) Kansainvälinen patenttiluokitus - Internationell patentklassifikation -
International patent classification
H04J 1/02

(22) Tekemispäivä - Ingivningsdag - Filing date **03.02.1994**

(23) Saapumispäivä - Ankomstdag - Reception date **07.11.1994**

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig - Available to the public **07.11.1994**

(43) Julkaisupäivä - Publiceringsdag - Publication date **13.06.2019**

(86) Kansainvälinen hakemus - **03.02.1994** **PCT/US1994/001338**
Internationell ansökan - International
application

(32) (33) (31) Etuoikeus - Prioritet - Priority

08.03.1993 US 027981

(71) Hakija - Sökande - Applicant

1 • Motorola Inc., Delaware, 1303 East Algonquin Road, Schaumburg, IL 60196, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

(72) Keksijä - Uppfinnare - Inventor

1 • Harrison, Robert M., USA, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

(74) Asiamies - Ombud - Agent

Seppo Laine Oy, PL 339, 00181 Helsinki

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning - Title of the invention

Monikanavainen digitaalinen lähetin ja vastaanotin

Digital flerkanalssändare och -mottagare

Menetelmä ja välineet signaalien transmultiplexsoimiseksi
signaalipäätteiden ja radiotaajuuskanavien välillä

Keksinnön ala

5

Tämä keksintö liittyy viestintäjärjestelmiin ja erityisesti monikanavaiseen transmultiplexsointiin viestintäjärjestelmissä.

10 Keksinnön tausta

15 Digitaalinen signaalinkäsittely ja digitaaliset signaaliprosessorit (DSP, digital signal processor), joissa tämä käsittely tapahtuu, ovat tunnettuja. DSP:itä käytetään tyypillisesti aina kun täytyy kerätä ja/tai välittää merkittäviä määriä näyteparametreja. Tällaisessa ympäristössä DSP:itä käytetään ohjaamaan signaalin näytteitystä ja koodausta tallentamista tai määräpaikkaan lähettämistä varten. Vaikka tällaisten järjestelmien useimmat tunnetut
20 käyttötapaukset ovat viestintäjärjestelmien puheenkäsittelyn alueella, niin näiden tekniikkojen merkittäviä sovelluksia on olemassa muilla alueilla, kuten geologisessa tutkimuksessa ja muissa monidimensioisissa tietojenkeruutoiminnoissa.

25

DSP:iden käyttö signaalien keräämisessä ja siirrossa on usein rajoittunut yhden sisäänmenon signaaliin. Tällainen yhden sisäänmenon formaatti on tarkoituksenmukainen johtuen usean sisäänmenon datan koodauksen mutkikkuudesta
30 siirtokanavassa ja johtuen myös monikanavaisen signaalinkäsittelyn laskennallisesta mutkikkuudesta DSP:ssä.

Yhden siirtokanavan yhteydessä DSP:llä saadaan huomattava joustavuus kanavan rajoitukseen mukautumisessa. Ensimmäisellä
35 näytteitystaaajuudella kerätyt datanäytteet voidaan

rekonstruoida DSP:ssä toisella näytteitystaajuudella informaatiota menettämättä tunnetun näytteenottoteoreeman mukaan (katso Crochiere'in ja Rabinerin teos Multirate Digital Signal Processing, Prentice-Hall, Inc., 1983, ss. 20 - 21).

Suurennettaessa näytteitystaajuutta suurennettun näytteitystaajuuden arvot kehitetään menettelytavalla, jota yleisesti kutsutaan interpoloinniksi. Kun näytteitystaajuus n suurenee (n lähenee ääretöntä), kehittyy jatkuva signaali (analoginen alkuperäisen näytteitetyn signaalin suhteen).

Pienennettäessä näytteitystaajuutta menettelyä kutsutaan desimoinniksi. Ainoa rajoitus desimoinnilla on se, että näytteitystaajuutta ei voi pienentää pienemmäksi kuin kaksi kertaa suurin näytteitettävässä signaalissa esiintyvä taajuus Nyquistin tunnetun teoreeman mukaan.

Desimoinnin ja interpoloinnin lisäksi näytteitetyn signaalin kaistanleveys voidaan muuntaa taajuudeltaan ensimmäiseltä taajuudelta toiselle taajuudelle. Näytteitetty signaali voidaan taajuusmuuntaa esimerkiksi nolla-radiotaajuuden (zero-rf) kantataajuuskaistalta sopivalle taajuusalueelle lähetettäväksi siirtotien kautta määräpaikkaan (katso Crochiere ja Rabiner, ss. 48 - 56).

Koodatun näytevirran sisältävä kaistanleveys voidaan määräpaikassa jälleen taajuusmuuntaa kantataajuuskaistalle. Kantataajuuskaistalla näytteitetty informaatio voidaan saada takaisin suoraan tai näytteitetty signaali voidaan desimoida tai interpoloida takaisinsaantijärjestelmää varten tarkoituksenmukaisempaan muotoon.

Useista näytteityslähteistä tulevat datavirrat voidaan myös koodata DSP:ssä monikanavaisella koodausmenetelmällä,

muuntaa lähetyskaistalle ja lähettää määräpaikkaan dekodattavaksi. Tällainen monikanavainen koodausmenetelmä on kuvattu Crochiere ja Rabinerissa (luku 7), jossa on kuvattu K-kanavainen syntetisaattori (kooderi) ja K-kanavainen analysaattori (dekooderi).

Crochiere'in ja Rabinerin oppien mukaisessa järjestelmässä informaatio siirretään käyttäen kanavien pinoussovitelmaa, joka asettaa asianomaiset kanavat taajuusalueella hyvin lähelle toisiaan. Kuvaus koskee kahta kanavien pinoustyyppiä (pariton ja parillinen). Kummassakin tapauksessa kanavien pinous tuottaa tulokseksi enintään kahden kanavan luokkaa olevat kanavavälit.

Vaikka Crochiere'in ja Rabinerin oppien mukainen järjestelmä voi olla tehokas sellaisena kuin se on kuvattu, tällaisten järjestelmien kyky transkoodata spektriltään erilaisia signaaleja on rajoitettu. Tietojenvaihdon tärkeyden takia on olemassa tarve menetelmälle valittujen kanavien dekoddaamiseksi, jotka kanavat voivat olla suuresti erillään toisistaan lähetyskaistalla.

Keksinnön yhteenveto

Keksintö aikaansaa menetelmän ja välineet lukuisien signaalien transmultipleksoimiseksi lukuisien signaalipäätteiden ja lukuisien valittujen radiotaajuuskanavien välillä. Menetelmä käsittää vaiheen ja välineet mainittujen lukuisien signaalien taajuusmuuntamiseksi ja suodattamiseksi lukuisien ei-vierekkäisten kanavien ja kampasuotimessa olevan monivaiheisen, diskreetin Fourier-muunnoksen suorittavan suodinryhmän välillä. Menetelmä käsittää lisäksi vaiheen mainittujen lukuisien signaalien taajuusjakomultipleksoimiseksi mainittujen lukuisien signaalipäätte-

teiden ja monivaiheisen, diskreetin Fourier-muunnoksen suorittavassa suodinryhmässä olevan kampasuotimen välillä.

Lyhyt piirustusten kuvaus

5

Kuvio 1 on tämän keksinnön mukaisen vastaanottimen lohko-kaavio.

10

Kuvio 2 on tämän keksinnön mukaisen desimoivan kampasuotimen toiminnan puoligraafinen esitys.

15

Kuvio 3 on tämän keksinnön mukaisen, diskreetin Fourier-muunnoksen suorittavan suodinryhmän toiminnan puoligraafinen esitys.

20

Kuvio 4 on tämän keksinnön mukaisen signaalinkäsittelyn taajuu^{sa}alue-esitys.

Kuvio 5 on muunnostaulukko tämän keksinnön mukaisen, nopean Fourier-muunnoksen suorittavan monivaiheisen suotimen kanavaulostulojen sijainnin määrittämiseksi.

25

Kuvio 6 on tämän keksinnön mukaisen lähettimen lohkokaa-
vio.

30

Kuvio 7 on tämän keksinnön mukaisen lähetin-vastaanottimen lohkokaa-
vio.

Kuvio 8 on tämän keksinnön mukaisessa interpoloivassa kampasuotimessa suoritettavan signaalinkäsittelyn puoligraafinen esitys.

35

Kuvio 9 on tämän keksinnön mukainen vaihesiirtoja käyttävä desimoiva suodin.

Kuvio 10 on tämän keksinnön mukainen vaihesiirtoja käyttävä interpoloiva suodin.

Parhaana pidetyn suoritusmuodon yksityiskohtainen selitys

5

Ratkaisu transmultipleksionnin ongelmaan useiden näytevirtojen ja lähetyskaistan valittujen kanavien välillä on periaatteessa siinä, että käytetään desimoivaa kampasuodinta diskreetin Fourier-muunnoksen (DFT, discrete Fourier transform) suorittavan suodinryhmän yhteydessä. Monikanavaisen vastaanottimen tapauksessa kampasuodin desimoi valitut kanavat taajuusjakomultipleksimuotoon (FDM, frequency division multiplex), joka voidaan DFT-suodinryhmässä suoritettua lisädesimoinnin jälkeen hajottaa diskreeteiksi ulostuloiksi DFT-suodinryhmässä. Lähettimessä useat näytesisäänmenot voidaan vastaavasti yhdistää DFT-suodinryhmässä ja interpoloida lähetyskaistan valituille kanaville kampasuotimessa suoritettua lisäkasittelyllä.

20 Kuvio 1 on yleisesti tämän keksinnön yhden suoritusmuodon mukaisen monikanavaisen vastaanottimen (10) lohkokaavio. Tällaista vastaanotinta (10) voidaan käyttää vastaanotettaessa signaaleja solukkojärjestelmän liikenne- tai ohjauskanavilla (esim. Advance Mobile Phone Service (AMPS) -solukkojärjestelmässä tai Narrowband Advance Mobile Phone Service (NAMPS) -solukkojärjestelmässä, jotka ovat hankittavissa Motorola, Inc.:ltä).

30 AMPS- tai NAMPS-järjestelmien tukiasemissa käytettäväksi valitut radiotaajuuskanavat valitaan tyypillisesti jälleenkäyttökaavan mukaan. Tällainen jälleenkäyttökaava vähentää rinnakkaiskanavan ja viereisten kanavien häiriötä osoittamalla kanavaryhmät tukiasemille maantieteellisen ja taajuusalueisiin perustuvan kanavaerotuksen perusteella (esim. 21 tai 24 kanavaa). Tämän keksinnön mukainen vas-

35

taanotin (10) vastaanottaa valitun kanavaryhmän, missä kullakin on tietty kanavaerotus seuraavaksi lähimmästä kanavasta, ja dekodaa tällaiset kanavat tuottaen kanavaulostulon (17) valitun kanavaryhmän kullekin kanavalle.

5

Vastaanotin (10) käsittää antennin (18), esivalitsevan kaistanpäästösuotimen (KPS) (11), sekoittimet (18-19), VT-kaistanpäästösuotimen (KPS) (12), valettoistoja vaimentavan kaistanpäästösuotimen (KPS) (13), analogi-digitaalimuuntimen (AD-muuntimen) (14), kampasuotimen (15) ja monivaiheisen, diskreetin Fourier-muunnoksen suorittavan suodinryhmän (DFT-suodinryhmän) (16). Kaistanpäästösuotimien (11-13) kaistanleveydet valitaan valittujen lähtökanavien (17) lukumäärän funktiona (esim. jos lähtökanavien lukumäärä on 10 4, kanavan kaistanleveys on 20 kHz ja joka 15. kanava valitaan dekodattavaksi, niin KPS:ien päästökaista on 4 X 15 20 kHz X 15 = 1,2 MHz). Keksinnön ymmärtämisen helpottamiseksi lähtökanavien lukumäärän oletetaan olevan neljä. Lukijaa muistutetaan toisaalta siitä, että tietyissä käytännön rajoissa tämä keksintö voidaan laajentaa mille 20 tahansa kanavien lukumäärälle.

KPS:issa 11-13 suoritettun kaistanpäästösuodatuksen ja sekoittimissa 18 ja 19 suoritettun alassekoituksen jälkeen 25 vastaanotettu signaali näytteitetään AD-muuntimessa 14. AD-muuntimessa (14) käytettävän näytteitystaajuuden oletetaan Nyquistin teoreeman mukaan olevan vähintään kaksi kertaa vastaanotetun signaalin suurin taajuus.

30 AD-muuntimessa (14) suoritettun näytteityksen jälkeen näytteitetty signaali x tulee kampasuotimeen (15), jossa ei-halutut kanavat vaimennetaan kampasuodatuksella. Ei-haluttujen kanavien vaimentaminen vähentää laskutoimitusten monimutkaisuutta myöhemmissä vaiheissa.

Kampasuotimessa valitut kanavat taajuusmuunnetaan (desimoidaan) (15) ennalta määrättyihin paikkoihin taajuusalueessa (katso yllä mainittu Multirate Signal Processing, sivu 32), kuten kuviossa 2 on esitetty. Kuten esitetty, kanavat 0-3 muunnetaan kantataajuuskaistan tiettyyn paikkaan, jota toisinnot ympäröivät molemmin puolin. Kanavien kertaluku kampasuotimen (15) ulostulossa voidaan laskea tutkimalla desimoinnin vaikutusta kampasuodatettuun signaaliin seuraavasti:

$$Y(\omega') = \frac{1}{D} \sum_{q=0}^{D-1} X[\omega' - 2\pi q/D]$$

missä ω' on taajuus suhteessa desimoituun näytetaajuuteen ja D on desimointikerroin. Jos desimointitaajuudella ja (kamman) piikkien lukumäärällä kampasuotimessa ei ole yhteisiä tekijöitä, niin summassa tulee olemaan vain yksi vaimentamaton termi. Kun vaimentamattomia termejä on vain yksi, tätä termiä vastaavalla kanavalla on ainoastaan mitätön määrä valetoisenergiaa. Taajuuksien sijainti desimoinnin jälkeen voidaan määrittää soveltamalla yllä olevaa yhtälöä kuhunkin kiinnostavaan taajuuteen ja paneamalla merkille se ainoa taajuus, joka muodostaa valetois-ton halutulle taajuudelle.

Kuvio 2 on kampasuotimessa (15) suoritettun signaalinkäsittelyn puoligraafinen esitys. Kampasuotimessa (15, kuvio 2) tulonäytesekvenssi ($x(Ck+i)$) kommutoidaan desimoiviin suotimiin (H_1-H_C) myötäpäivään kiertävässä suunnassa ensimmäisellä näytetaajuudella (F_s). Toisaalta lähtösignaalit (z) kehitetään toisella näytetaajuudella, joka on yhtä kuin ensimmäinen näytetaajuus jaettuna desimointikertoimella (F_s/D). Tämän keksinnön mukaan desimointikerroin (D)

on yhtä kuin ennen desimointia ja desimoinnin jälkeen käytettävien näytetaajuuksien suhde.

Myös lähtösignaalit (z) kommutoidaan desimointikertoimella
 5 jaetulla ensimmäisellä näytetaajuudella. Kommutointi ei toisaalta aina noudata ykkösellä kasvavaa järjestystä. Kommutoidun ulostulon (z) uuden kommutoidun haaran numero ($y_1 - y_c$) määritetään aikaisemmin kommutoidun haaran numeron perusteella. Uuden kommutoidun haaran numero on tämän keksinnön mukaan vanha haaran numero plus desimointikerroin
 10 modulo haarojen lukumäärä.

Kuviossa 2 on esitetty myös graafinen esitys tulosaalilin
 (x) valittujen kanavien (0-3) desimoinnista desimoidulle
 15 signaalikaistanleveydelle ulostulossa (z). Kuten esitetty, kanavat 0-3 taajuusmuunnetaan valituilta taajuuksilta desimoidulle signaalikaistanleveydelle, jota ympäröivät taajuusmuunnettujen signaalien toisinnot.

20 Signaalinkäsittely desimoivassa kampsuotimessa esitetään yleisesti käyttämällä seuraavaa yhtälöä:

$$y_i(k) = f(x((Ck+i))),$$

25 jossa y_i on i :s kommutoitu suotimen ulostulo, k on näytteenottoväli, " f " esittää suodatustoimintoa, x on tulosaali, C on valittujen kanavien lukumäärä eli "piikkien" lukumäärä kammassa, $i=0 \dots C-1$ ja $k=0 \dots \infty$. Yhtälö voidaan edelleen kehittää seuraavanlaiseksi:

30

$$y_i(k) = \sum_{p=0}^{P-1} a_p(Ck+i-p)$$

jossa P on kertoimien lukumäärä kussakin kampasuotimessa ja a_p on kampasuotimen $p:s$ kerroin.

Kampasuotimen kussakin haarassa olevat desimoivat suotimet käyttävät eri desimointivaiheita. Tarkemmin sanoen kussakin suotimessa olevat desimaattorit näytteittävät eri ajanhetkinä. Haarassa i olevalla suotimella (näytteillä) on desimointivaihesiirto α ensimmäisen haaran suhteen, mitä voidaan kuvata lausekkeella $\alpha = \{iD/C\}$ (jossa $\{a\}$ on "suurin kokonaisluku, joka on pienempi tai yhtä suuri kuin a "). Desimointivaihesiirrot voidaan ymmärtää paremmin tyypillisen desimoivan suotimen (kuvio 9) yhteydessä. Tällainen suodin voidaan johtaa (yllä mainitun) Crochiere'in luvusta 3 peräisin olevilla menetelmillä. Crochiere'in luvussa 3 on myös suotimien toiminta on kuvattu yksityiskohtaisesti. Jotta saataisiin α näytteen desimointivaihesiirto, tulovalitsin käynnistetään yksinkertaisesti sen haaran kohdalla, joka on α haaraa ensimmäisestä haarasta myötöpäivään lukien.

Desimoivan kampasuotimen ulostulo, jota termi "z" esittää, määritellään seuraavasti:

$$z(Ck+i) = y_{iD\%C}^{(Dk+\{iD/C\})}$$

jossa $\%$ on modulojakolasku, $\{a\}$ on "suurin kokonaisluku, joka on pienempi tai yhtä suuri kuin a " ja D on desimointikerroin.

Kuviossa 3 on esitetty DFT-suodinryhmässä (16) tapahtuvan signaalinkäsittelyn puoligraafinen esitys. Kuten esitetty, joukon FDM-päästökaistoja sisältävä tulonäytesekvenssi kommutoidaan suodinryhmään (h_0-h_3) . Suotimien (h_0-h_3) ulostuloille suoritetaan sen jälkeen diskreetti Fourier-muunnos, mikä tuottaa tulokseksi riippumattomat kanava-

ulostulot (1-4). Signaalinkäsittely DFT-suodinryhmässä (16) voidaan esittää kussakin ulostulossa seuraavasti:

$$y_i(k) = f_i(x(Ck+i))$$

5

jossa $y_i(k)$ edustaa i :ttä kommutoitua suotimen ulostuloa (h_0-h_3), f_i esittää suodatusta i :nnessä suotimessa, x on DFT-suodinryhmän (16) sisäänmeno, $i=0\dots C-1$ ja $k=0\dots\infty$. Lauseke $y_i(k)$ voidaan edelleen kehittää seuraavanlaiseksi:

10

$$y_i(k) = \sum_{p=0}^{P-1} a_p^i(Ck+i-p)$$

15 jossa a_p^i on i :nnen monivaihesuotimen p :s kerroin. DFT-suodinryhmän (16) ulostulot ($z_i(k)$) esitetään sisäänmenojen avulla seuraavasti:

20

$$z_i(k) = \sum_{p=0}^{C-1} y_p(k) e^{-j2\pi p i / C}$$

25

Tarkastellaan esimerkkiä, jossa on suunniteltava viestintäjärjestelmä, jossa on neljä 20 kHz:n levyistä kanavaa ja jossa joka 15. kanavaa käytetään (300 kHz erotus "valit-
tujen" kanavien välillä). Kunkin 20 kHz:n kanavan (valitun ja valitsemattoman) välillä suojakaista erottaa kanavat 3 kHz:llä. Suojakaista aiheuttaa sen, että hyödyllinen kaistanleveys ulottuu +/- 7 kHz päähän kanavakeskuksen
molemmiin puolin.

30

Tällaisessa järjestelmässä toimivan vastaanottimen täytyy näyttöittää signaali (analogi-digitaalimuuntimella (AD-

muuntimella)) suurimman taajuuden omaavan kanavan Nyquist-taajuudella. AD-muunnin ei toisaalta pysty realistisesti näytteittämään Nyquist-taajuudella, koska valetointoja vaimentavalla suotimella täytyy olla nollasta eriävä siirtymäkaista suodatetun alueen ja suodattamattoman alueen välillä. (Tyypillinen näytteitystaajuus, joka ottaa huomioon valetointoja vaimentavan suotimen rajataajuuden on 4 kertaa halutun signaalin kaistanleveys). Koska esimerkin järjestelmässä on neljä 20 kHz:n kanavaa, joita erottaa 300 kHz, niin 4-kertainen ylinäytteitys johtaa AD-taajuuteen $F_s = 4,8 \text{ MHz}$ ($4 \times 15 \times 4 \times 20 \text{ kHz}$).

Tyypillinen spektri, jolla haluttujen kanavien keskus sekoitetaan taajuudelle $F_s/4$, on esitetty kuviossa 4. Esitettyssä spektrissä kaistanleveyden keskus on 1,2 MHz, ja sen ylempi- ja alempi kaistaraja ovat vastaavasti 0,6 ja 1,8 MHz. Tällaisessa spektrissä kanavat 3-6 ovat dekodattavat kanavat (valitut kanavat). Muut kanavat (1-2 ja >7) ovat sellaisilla alueilla, joilla valetointot saattaisivat tehdä signaalin takaisinsaannin vaikeaksi.

Kampasuotimen/DFT-suodinryhmän yhdistelmän täytyy pystyä erottamaan ja alasmuuntamaan vähintään nämä neljä haluttujen kanavien positiivisten taajuuksien osuutta. Tämän tekemiseksi yhdistelmän täytyy pystyä erottamaan spektrit, jotka ovat 300 kHz ($F_s/16$) erillään (valittujen kanavien kanavaerotus). Näiden 300 kHz erillään olevien spektrien erottamiseksi DFT-suodinryhmän ja kampasuotimen erotuskyvyn täytyy olla $F_s/16$.

Kampasuotimen voidaan katsoa olevan liikanäytteitetty (up-sampled) alipäästösuodin. Sellaisena se voidaan konstruoida suunnittelemalla sellainen alipäästösuodin-prototyyppi, joka sopii yhteen kamman kunkin piikin halutun muodon kanssa. Esimerkin järjestelmässä näytteitystaajuus on 4,8

- MHz. Koska kiinnostavia kanavia on 4, AD-ylinäytteityssuhde (oversampling rate) on 4, liikanäytteityssuhde (upsample rate) (eli "piikkien" lukumäärä kampasuotimessa) on 4×4 eli 16. Liikanäytteityssuhteesta voidaan määrittää
- 5 kamman kunkin piikin kaistanleveys jakamalla kaistanleveys (F_s) liikanäytteityssuhteella (16), mikä tuottaa tulokseksi 300 kHz. Alipäästösuodin-prototyyppi mitoitetaan siksi 300 kHz:n näytteitystaajuudelle.
- 10 Kampasuotimen desimoointitaajuus valitaan arvolla 5. Tästä syystä kampasuodin pienentää kunkin piikin kaistanleveyttä 5:llä. Valetointojen välttämiseksi alipäästösuodin-prototyyppin täytyy rajoittaa yhdellä viidesosalla sisääntulon Nyquist-taajuudesta (30 kHz). Kiinnostava signaali ulottuu
- 15 7 kHz:iin, joten siirtymäkaista ei voi 7-30 kHz etäämmäksi. Normalisoitu siirtymäkaistanleveys on siksi $\Delta F = 23 \text{ kHz} / 300 \text{ kHz} = 0,0767$.
- 20 Kampasuotimen kertoimet saadaan edellä esitettyjen parametrien perusteella. Ensimmäisen suotimen kertaluku saadaan käyttämällä Kaiser-ikkunointimitoituksessa (Kaiser windowed design) vaadittavaa kertalukua. Kaiser-ikkunalla kertaluku on: $O = (\text{stop} - 7,95) / (14,36 / \Delta F) + 1$, jossa "stop" on loppukaistan (stop band) vaimennus dB:inä (50) ja ΔF on
- 25 normalisoitu siirtymäkaistanleveys (0,0767). Sijoittamalla saadaan suotimen kertaluvuksi $O = 39$. Kun alku-, loppu- ja siirtymäkaistat sekä suotimen kertaluku ovat annetut, niin voidaan käyttää mitä tahansa useista alipäästösuotimen suunnittelumenetelmistä.
- 30 Eräs suosituimmista suunnittelumenetelmistä on Remez'in vaihtomenetelmä, joka löytyy useista ohjelmistopaketeista (esim. Matlab Signal Processing Tool Box, jonka on tehnyt Math Works Inc., Natick, Massachusetts). Matlab-ohjelmis-

toa käytettäessä suodin suunnitellaan käyttäen syötteenä esimerkiksi lauseketta

```
"f=remez(39,[0 7/150 30/150 1],[1 1 0 0]);"
```

(katso Matlab-käsikirjasta parametrien syötön yksityiskohdat). Jos saatujen tulosten perusteella loppukaistan suorituservo on liian suuri (riittämätön), niin suotimen kertalukua voidaan suurentaa (tai pienentää), kunnes aikaansaadaan hyväksyttävä suodin.

- 10 Monivaiheisen suotimen mitoitus johdetaan myös alipäästösuodin-prototyypeistä, mutta se on jonkin verran työläämpää. Toisaalta monivaihesuotimen tapauksessa prototyyppinä käytettävä alipäästösuoitin suunnitellaan ja desimoidaan sen jälkeen FFT:ssä olevien pisteiden lukumäärällä erilaisten monivaihesuotimien muodostamiseksi kutakin kanavasisäänmenoa varten. FFT:ssä olevien pisteiden lukumäärä on sama kuin haarojen lukumäärä kampasuotimessa.

- 20 Edellä mitoitettua kampasuodinta käytettäessä monivaiheisen DFT-suodinryhmän tulonäytetaajuus (F_{comb}) olisi $F_{\text{comb}} = F_s/5 = 960 \text{ kHz}$. Tämä taajuus on (edellä olevalle) kampasuotimelle määritetty lähtönäytetaajuus. Haluttu signaali ulottuu tässäkin 7 kHz:iin, mikä määrää suotimen raja-
 25 taajuuden. Loppukaista ei saa alkaa kunkin kanavan Nyquist-taajuutta (10 kHz) kauempaa, joten siirtymäkaista on 3 kHz. Kaiser-ikkunointimitoitusta käytettäessä suotimen kertaluku on: $0 = (\text{stop} - 7,95) / (14,36 / \Delta F) + 1 = 938$. On tarkoituksenmukaista, että monivaihesuotimet mitoitetaan samantaisiksi, mikä edellyttää, että suotimen kertaluvun on oltava FFT-pisteiden lukumäärän monikerta. Tässä tarkoituksessa kertaluvuksi asetetaan $(59 \times 16) - 1 = 943$. (Huomaa että kertaluvun 943 suotimessa on 944 kerrointa). Remez-
 30 aliohjelmakutsun muoto Matlabissä on lauseke

```
"f=remez(943,[0 7/480 10/480 1],[1 1 0 0]);"
```

Kukin 16 erilaisesta monivaihesuotimesta (FFT:n 16 sisäänmenoa vastaten) saadaan desimoimalla prototyyppinä käytettävä alipäästösuodin ja pitämällä muistissa kunkin desimoitun vaiheen kertoimet. Esimerkkiohjelma Matlab-ohjelmistolla on seuraavanlainen:

```

5      N=59
      M=16
      rho=zeros(N,M);
10     for i=0:M
          k=1:N
              rho(k,i+1)=f(k*m-i)
          end
      end
15     end

```

missä N on kunkin monivaihesuotimen kertaluku, M on pisteiden lukumäärä FFT:ssä, rho on monivaiheisen suotimen kerroinmatriisi, i on kukin suotimen kerroin desimoituna M:llä eri vaiheessa kullakin suotimella.

20 Kanavien paikkoja (sisäänmeno vastaan ulostulo) evaluoitaessa käytetään (yllä olevaa) lauseketta $Y(\omega')$. Kampasuodin järjestee tulospektrin uudelleen siten, että FFT:n ulostulojen järjestys ja kanavien järjestys eivät yleensä ole

25 samat. Kampadesimoointiyhtälöä soveltamalla voidaan määrittää, että kanavat 3 - 6 vastaavat kuviossa 5 lueteltuja FFT-ulostuloja. (Huomaa että ensimmäisen FFT-ulostulon numeroksi on merkitty 0 ja viimeisen numeroksi 15.) Koska vain 4 näistä 16 FFT-ulostulosta on hyödyllisiä kanavia,

30 niin vain 4 tarvitsee laskea. Kuvion 5 taulukko koskee alassekoitinta, joka aikaansaa nämä neljä kanavaa.

Vaikka esitetyt esimerkit antavat käsityksen tämän keksinnön mukaisen vastaanottimen suunnittelusta, niin alan asiantuntijoille lienee selvää, että tällaista menettely-

35

- tapaa voidaan helposti soveltaa monivaiheista suodinryhmää ja kampasuodinta käyttävän lähettimen konstruoimiseen. Kuvio 6 on yleisesti tämän keksinnön mukainen lähetin (20). Lähetin (20) käsittää DFT-suodinryhmä-syntetisaattorin (21), interpoloivan kampasuotimen (22), digitaali-analogimuuntimen (23), rekonstruointi-kaistanpäästösuotimen (24), sekoittimet (25 ja 27), VT-kaistanpäästösuotimen (26) ja lähetyssuotimen (28).
- 10 Tällainen lähetin (20) vastaanottaa tulonapoihin (29) joukon signaaleja ja taajuusmuuntaa kuvion 3 oikealla puolella esitetyt tulosignaalit (Y_1 - Y_4) kuvion 3 vasemmal-
- 15 la puolella olevassa taajuusaluegraafissa esitettyihin päästökaistan kohtiin monivaiheisessa suodinryhmä-syntetisaattorissa (21). (Parhaana pidetyssä suoritusmuodossa monivaiheinen suodinryhmä-syntetisaattori (21) toteutetaan käyttäen käänteistä nopeata Fourier-muunnosta FFT:n sijasta.) Kuvion 3 päästökaistan signaaleihin sisältyvät muunnettujen signaalien toisinnot (ei esitetty kuviossa 3).
- 20 Muunnettujen signaalien toisinnot vaimennetaan interpoloivassa kampasuotimessa (22) ennen taajuusmuunnosta lähetyspektrin valituille taajuuksille. Tällainen menettely voidaan esittää kuvion 8 puoligraafisella esitystavalla.
- 25 Kuviossa 8 signaalit (0-3) ja toisinnot (0-3) (z) monivaiheisesta suodinryhmä-syntetisaattorista (21) kommutoidaan suotimille (H_1 - H_C), joissa toisintoja (0-3) vaimennetaan ja halutut kanavat taajuusmuunnetaan.
- 30 Interpoloivat suotimet interpoloivassa kammassa käyttävät eri interpolointivaiheita. Niillä on samat haarojen numeroiden mukaiset vaihesiirrot (α) kuin edellä tarkastelluilla desimoivilla suotimilla, kuten lauseke $\alpha=\{iD/C\}$ esittää (missä $\{a\}$ on "suurin kokonaisluku, joka on pienempi tai yhtä suuri kuin a "). Interpoloinnin vaihesiirrot
- 25

voidaan paremmin ymmärtää tyypillisen interpoloivan suotimen yhteydessä (kuvio 10). Monivaiheiset interpoloivat suotimet on kuvattu Crochiere'in luvussa 3. Jotta saataisiin α näytteen interpolointivaihesiirto, lähtövalitsin yksinkertaisesti käynnistetään sen haaran kohdalla, joka on α haaraa ensimmäisestä haarasta myötäpäivään lukien.

Interpoloivassa kampasuotimessa suoritettavan signaalinkäsittelyn yleisellä muodolla olisi seuraavanlainen muoto:

10

$$y_{iU\%C}(n) = \begin{cases} x(Ck+i); n=Uk+\{iU/C\} \\ 0; \text{muulloin} \end{cases}$$

jossa $i=0\dots C-1$, $k=0\dots\infty$, $j=0\dots C-1$, $n=0\dots\infty$, x on kampasuotimen ulostulo, y on kamman i :nnen haaran sisäänmeno, U on kamman interpolointinopeus, C on kanavien lukumäärä eli kamman "piikkien" lukumäärä, n on aikaindeksi kampasuotimen minkä tahansa haaran ulostulossa, mikä myös ilmaisee kuinka monta kertaa lähtövalitsin on mennyt kamman kaikkien haarojen ohi, $\%$ on modulojakolasku, $\{b\}$ on "suurin kokonaisluku, joka on pienempi tai yhtä suuri kuin b ", ja k ilmaisee kuinka monta kertaa tulovalitsin on pannut näytteen kamman kuhunkin haaraan.

15

20

25

Yhtälöstä voidaan ratkaista kampasuotimen ulostulo z seuraavasti:

$$z(Cn+j)=f(y_j(n))$$

jossa f on suodatus. Yhtälö voidaan edelleen kehittää seuraavanlaiseksi:

30

$$x(Cn+j) = \sum_{m=0}^{N-1} a_m y_j(n-m)$$

jossa a_m on kampasuotimen m:s kerroin ja N on kunkin kampasuotimen kertoimien lukumäärä.

5 On myös selvää, että vastaanotin (10) ja lähetin (20)
voidaan yhdistää kuviossa 7 yleisesti esitetyn lähetin-
vastaanottimen (30) muodostamiseksi. Tällainen lähetin-
vastaanotin (30) vaihtaa signaaleja signaalipäätteiden (17
ja 29) ja valittujen lähetysspektrin kanavien välillä
10 edellä kuvattuja monivaihesuotimen ja kampasuotimen sovi-
telmia käyttäen.

Patenttivaatimukset:

1. Menetelmä lukuisien signaalien transmultipleksoimiseksi lukuisien signaalipääätteiden ja lukuisien valittujen radiotaajuuskanavien välillä, t u n n e t t u siitä, että menetelmä käsittää seuraavat vaiheet: taajuusmuunnetaan ja suodatetaan kampasuotimessa mainitut lukuisat signaalit mainittujen lukuisien valittujen kanavien ja diskreetin Fourier-muunnoksen suorittavan suodinryhmän välillä; ja taajuusjakotransmultipleksoidaan mainitut lukuisat signaalit mainittujen lukuisien signaalipääätteiden ja diskreetin Fourier-muunnoksen suorittavassa suodinryhmässä olevan kampasuotimen välillä.
2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että se lisäksi käsittää vaiheen, jossa lukuisat signaalit koodataan mainittujen lukuisien signaalipääätteiden välillä mainituille lukuisille valituille kanaville käyttäen diskreetin Fourier-muunnoksen suorittavana suodinryhmänä monivaiheista, diskreetin Fourier-muunnoksen suorittavaa suodinryhmää ja kampasuotimena interpoloivaa kampasuodinta.
3. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että se lisäksi käsittää vaiheen, jossa lukuisat lähtösignaalit dekodataan mainittujen lukuisien valittujen kanavien ja mainittujen lukuisien signaalipääätteiden välillä käyttäen diskreetin Fourier-muunnoksen suorittavana suodinryhmänä monivaiheista, diskreetin Fourier-muunnoksen suorittavaa suodinryhmää ja kampasuotimena interpoloivaa kampasuodinta.

4. Laite lukuisien signaalien transmultipleksoimiseksi lukuisien signaalipäätteiden ja lukuisien valittujen viestintätaajuuskanavien välillä, t u n n e t t u siitä, että laite käsittää: välineet mainittujen lukuisien signaalien kampsuodattamiseksi ja taajuusmuuntamiseksi mainittujen lukuisien valittujen kanavien ja diskreetin Fourier-muunnoksen suorittavan suodinryhmän välillä; sekä välineet mainittujen lukuisien signaalien taajuusjakotransmultipleksoimiseksi mainittujen lukuisien signaalipäätteiden ja diskreetin Fourier-muunnoksen suorittavassa suodinryhmässä olevan kampsuotimen välillä.

5. Patenttivaatimuksen 4 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että se lisäksi käsittää välineet lukuisien signaalien koodaamiseksi mainittujen lukuisien signaalipäätteiden välillä mainituille lukuisille valituille kanaville käyttäen diskreetin Fourier-muunnoksen suorittavana suodinryhmänä monivaiheista, diskreetin Fourier-muunnoksen suorittavaa suodinryhmää ja kampsuotimena interpoloivaa kampsuodinta.

6. Patenttivaatimuksen 4 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että se lisäksi käsittää välineet lukuisien lähtösignaalien dekodeamiseksi mainittujen lukuisien valittujen kanavien ja mainittujen lukuisien signaalipäätteiden välillä käyttäen diskreetin Fourier-muunnoksen suorittavana suodinryhmänä monivaiheista, diskreetin Fourier-muunnoksen suorittavaa suodinryhmää ja kampsuotimena interpoloivaa kampsuodinta.

7. Menetelmä tulonäytesekvenssin kampsuodattamiseksi ja desimoimiseksi, joka tulonäytesekvenssi käsittää useita diskreettejä informaatiokanavia, t u n n e t t u siitä, että menetelmä käsittää seuraavat vaiheet: kommutoidaan tulonäytesekvenssi ensimmäisellä näytetaajuudella lukui-

siin desimoiviin suotimiin, joiden lukumäärä on sama kuin mainittujen useiden diskreettien informaatiokanavien lukumäärä; desimoidaan kommutoitu signaali tietyn desimointikertoimen mukaan kussakin desimoivassa suotimessa; ja kommutoidaan suotimien ulostulo toisella näytetaajuudella, joka on yhtä kuin ensimmäinen näytetaajuus jaettuna desimointikertoimella, missä kommutoidun haaran numero on yhtä kuin vanha haaran numero plus desimointikerroin modulod diskreettien informaatiokanavien lukumäärä.

10

8. Laite tulonäytesekvenssin kampasuodattamiseksi ja desimoimiseksi, joka tulonäytesekvenssi käsittää useita diskreettejä informaatiokanavia, t u n n e t t u siitä, että laite käsittää: välineet tulonäytesekvenssin kommutoimiseksi ensimmäisellä näytetaajuudella lukuisiin desimoiviin suotimiin, joiden lukumäärä on sama kuin mainittujen useiden diskreettien informaatiokanavien lukumäärä; välineet kommutoidun signaalin desimoimiseksi tietyn desimointikertoimen mukaan kussakin desimoivassa suotimessa; sekä välineet mainittujen, olennaisesti identtisten suotimien ulostulon kommutoimiseksi toisella näytetaajuudella, joka on yhtä kuin ensimmäinen näytetaajuus jaettuna desimointikertoimella, uuden kommutoidun haaran numeron ollessa yhtä suuri edellinen haaran numero plus desimointikerroin modulod diskreettien informaatiokanavien lukumäärä.

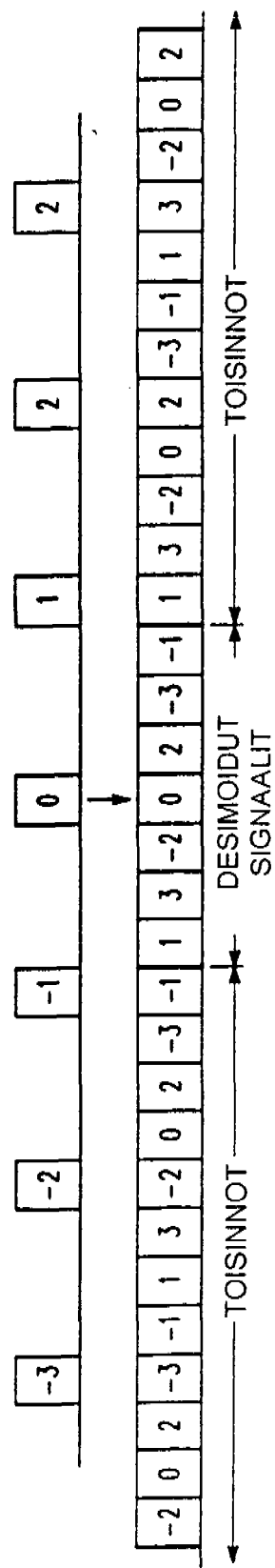
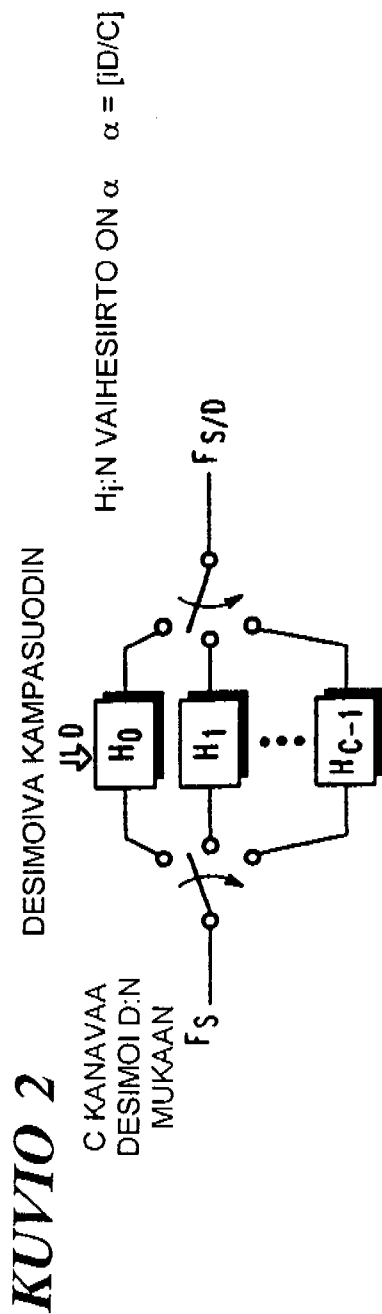
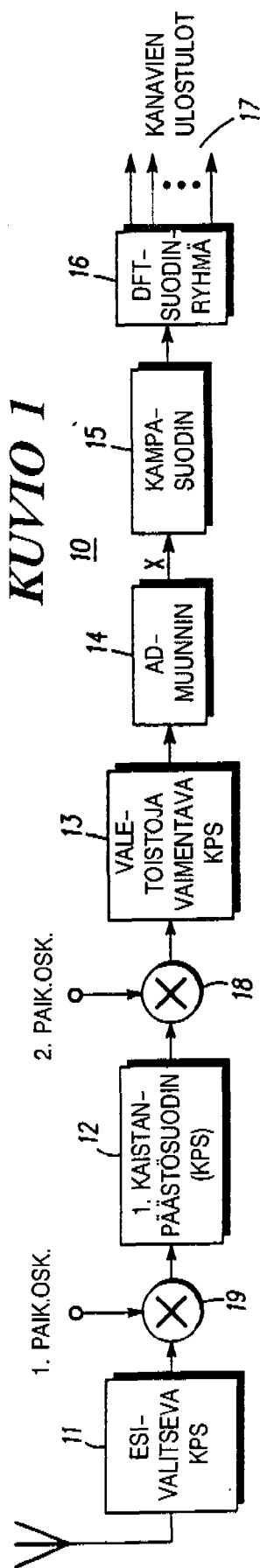
25

9. Menetelmä tulonäytesekvenssin kampasuodattamiseksi ja interpoloimiseksi, joka tulonäytesekvenssi käsittää useita diskreettejä informaatiokanavia, t u n n e t t u siitä, että menetelmä käsittää seuraavat vaiheet: kommutoidaan tulonäytesekvenssi ensimmäisellä näytetaajuudella lukuisiin interpoloiiviin suotimiin, joiden lukumäärä on sama kuin mainittujen useiden diskreettien informaatiokanavien lukumäärä, uuden kommutoidun haaran numeron ollessa yhtä

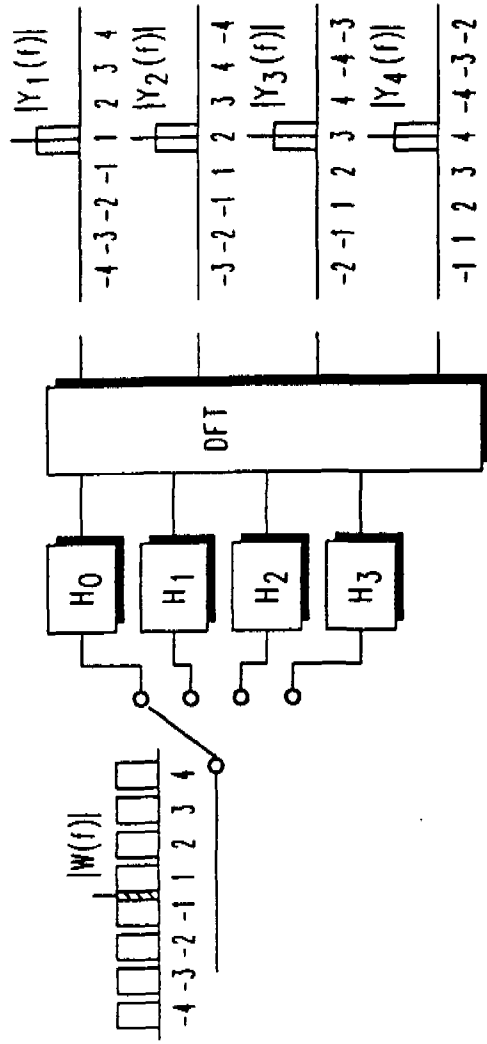
35

suuri kuin edellinen haaran numero plus interpolointikerroin modulo diskreettien informaatiokanavien lukumäärä; interpoloidaan kommutoitu signaali interpolointikertoimen mukaan kussakin interpoloivassa suotimessa; ja kommutoidaan mainittujen, olennaisesti identtisten suotimien ulostulo toisella näytetaajuudella, joka on yhtä kuin ensimmäinen näytetaajuus kerrottuna interpolointikertoimella.

10. Laite tulonäytesekvenssin kampasuodattamiseksi ja interpoloimiseksi, joka tulonäytesekvenssi käsittää useita diskreettejä informaatiokanavia, t u n n e t t u siitä, että laite käsittää: välineet tulonäytesekvenssin kommutoimiseksi ensimmäisellä näytetaajuudella lukuisiin interpoloiiviin suotimiin, joiden lukumäärä on sama kuin mainittujen useiden diskreettien informaatiokanavien lukumäärä, uuden kommutoidun haaran numeron ollessa yhtä suuri kuin edellinen haaran numero plus interpolointikerroin modulo diskreettien informaatiokanavien lukumäärä; välineet kommutoidun signaalin interpoloimiseksi interpolointikertoimen mukaan kussakin interpoloivassa suotimessa; sekä välineet mainittujen suotimien ulostulon kommutoimiseksi toisella näytetaajuudella, joka on yhtä kuin ensimmäinen näytetaajuus kerrottuna interpolointikertoimella.



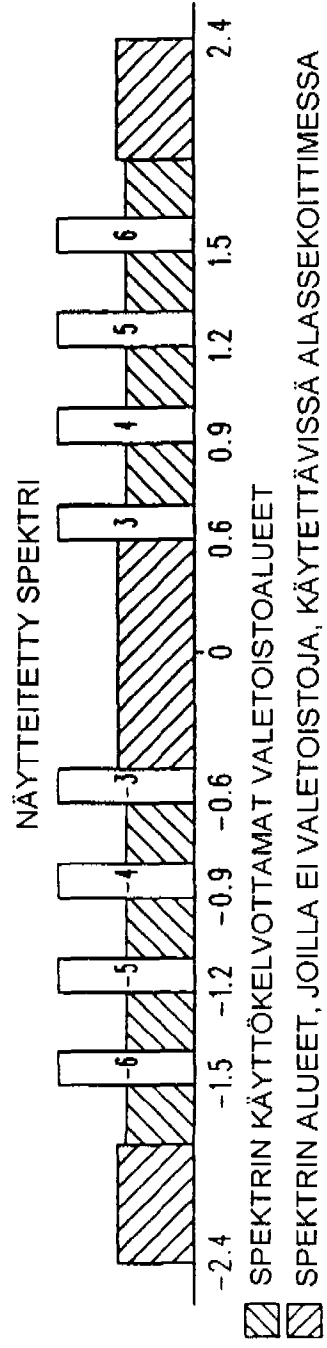
KUVIO 3



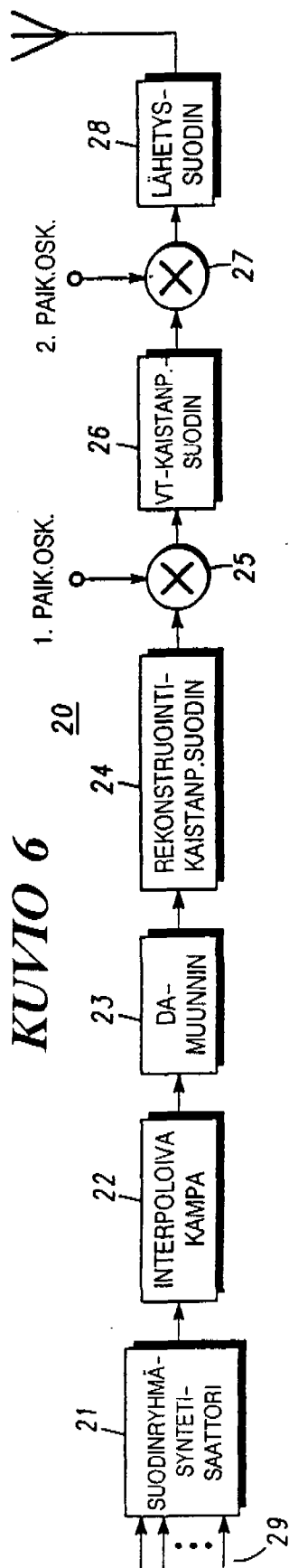
KUVIO 5

VALITTU KANAVA	3	4	5	6
FFT-LÄHTÖ N:O	6	1	12	7

KUVIO 4

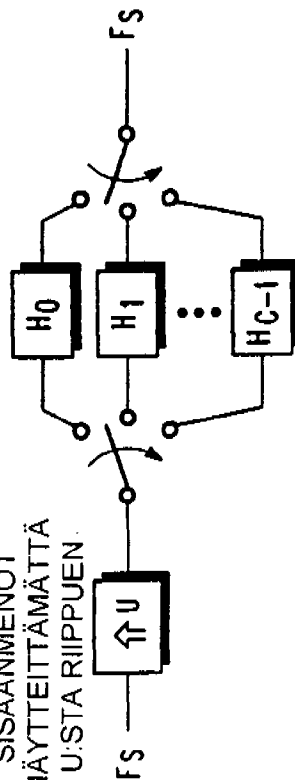


KUVIO 6

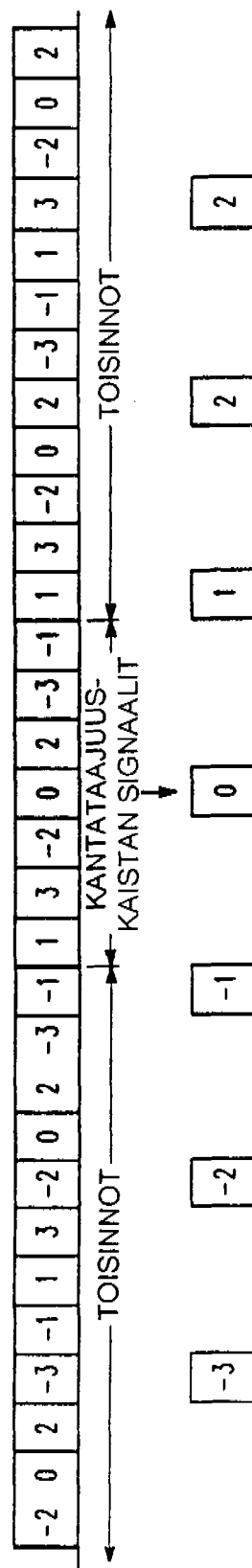


INTERPOLOIVA KAMPASUODIN

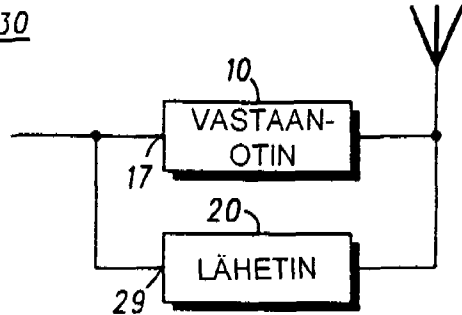
C KANAVAA
SISÄÄNMIENOT
NÄYTTÄITÄMÄTTÄ
U:STA RIIPPUEN



KUVIO 8



30

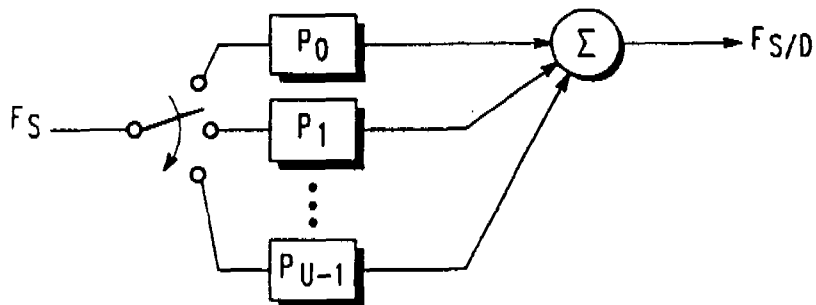


KUVIO 7

KUVIO 9

VAIHESIIRTOJA KÄYTTÄVÄ DESIMOIVA SUODIN

VAIHESIIRRON α SAAMISEKSI TULOVALITSIN KÄYNNISTETÄÄN
ALKAEN HAARAN α SISÄÄNMENOSTA



KUVIO 10

VAIHESIIRTOJA KÄYTTÄVÄ INTERPOLOIVA SUODIN

VAIHESIIRRON α SAAMISEKSI LÄHTÖVALITSIN KÄYNNISTETÄÄN
ALKAEN HAARAN α ULOSTULOSTA

