

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 23.02.01.

30 Priorité : 24.02.00 DE 10008699.

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 31.08.01 Bulletin 01/35.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été
établi à la date de publication de la demande.*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

71 Demandeur(s) : DAIMLERCHRYSLER AG Aktiengesellschaft — DE.

72 Inventeur(s) : BOHN KONRAD, LUY JOHANN FRIEDRICH et MULLER THOMAS.

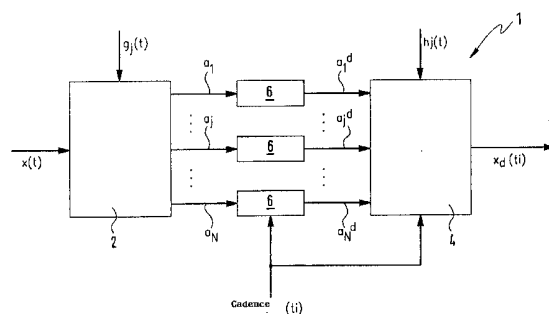
73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : CABINET BEAU DE LOMENIE.

54 PROCEDE ET DISPOSITIF POUR LA CONVERSION ANALOGIQUE/NUMERIQUE D'UN SIGNAL.

57 Ce dispositif (1) pour réaliser la conversion analogique/ numérique d'un signal analogique ($x(t)$) comprend un module d'entrée (2) pour transformer le signal dans le domaine analogique et un module (6) pour numériser des coefficients (a_j) de la transformation ainsi qu'un module de sortie (4) pour amener par transformation inverse le signal $x_d(t)$ dans le domaine numérique.

Application notamment aux convertisseurs analogique/ numérique utilisés dans la technique de la télévision pour les signaux son et image.



L'invention concerne un procédé et un dispositif pour réaliser la conversion analogique/numérique d'un signal.

De tels dispositifs ou montages de conversion analogique/numérique (désignés ci-après également sous la désignation conversion A/D) sont utilisés pour le traitement numérique de signaux, par exemple dans le domaine de la technique de la télévision, de la radiodiffusion ou d'un récepteur, sous la forme de ce qu'on appelle des convertisseurs ou transformateurs analogique/numérique pour les signaux image et son. Des signaux analogiques sont convertis pour le traitement en des signaux numériques.

Les possibilités du traitement numérique de signaux augmentent sous l'effet de l'accroissement permanent des possibilités offertes par les plaquettes de mémoire ainsi que de l'augmentation de la puissance de processeurs à grande vitesse. Les capacités potentielles de convertisseurs analogique/numérique concernant la résolution et la largeur de bande augmentent nettement plus lentement que celles de tels composants utilisés dans le traitement numérique de signaux. Les capacités potentielles de convertisseurs analogique/numérique sont limitées au produit de la résolution par la largeur de bande, qui est constant (voir R.H. Walden, "Performance Trends for ADC", IEEE Communication Magazine, Février 1999, pp. 96-101). C'est pourquoi pour augmenter les capacités potentielles, et notamment pour obtenir une largeur de bande aussi élevée que possible, on utilise plusieurs convertisseurs analogique/numérique classiques ayant des instants d'exploration échelonnés dans le temps (également connus sous la désignation "time interleaving", c'est-à-dire imbrication dans le temps). Un inconvénient réside dans le fait que sous l'effet d'erreurs de zéro et d'erreurs d'amplification (également connues sous l'expression

"offset and gain error", c'est-à-dire erreur de décalage et de gain), il apparaît aux instants d'échantillonnage, en raison du montage en parallèle des convertisseurs analogique/numérique, des sauts ou variations brusques, qui
5 sont caractérisés par des raies parasites discrètes dans le spectre des signaux utiles.

C'est pourquoi l'invention a pour but d'indiquer un procédé et un dispositif pour la conversion analogique/numérique d'un signal analogique, à l'aide desquels on
10 puisse obtenir des capacités potentielles particulièrement élevées en rapport avec la largeur de bande et le pouvoir de résolution.

Le problème indiqué en premier lieu est résolu conformément à l'invention à l'aide d'un procédé de conversion analogique/numérique d'un signal à bande limitée,
15 caractérisé en ce qu'on transforme le signal sur la base de fonctions orthogonale, on détermine et on numérise des coefficients associés aux fonctions orthogonales et au signal, et on ramène par transformation inverse le signal
20 dans le domaine numérique, sur la base des coefficients numérisés à l'aide de fonctions orthogonales.

L'invention part du fait qu'à la place de la numérisation séquentielle de valeurs d'échantillonnage individuelles d'un convertisseur analogique/numérique
25 classique on traite un intervalle complet de la fonction temporelle du signal. A cet effet on décrit de préférence le signal limité dans le temps à l'intervalle, sur la base de fonctions orthogonales. De préférence le signal est subdivisé en plusieurs intervalles. En raison de la
30 limitation de la fonction temporelle du signal à l'intervalle avec transformation ultérieure à l'aide de fonctions orthogonales, le signal est déterminé quasiment complètement dans la gamme numérique sur la base de coefficients discrets des fonctions orthogonales à une
35 distance équidistante ou non équidistante, et peut être

reconstitué à partir de ces coefficients. En d'autres termes : le signal est traité sur la base de fonctions orthogonales pour obtenir une équation pour sa transformée, qui est ensuite numérisée et est ramené par transformation inverse dans le domaine d'origine, ce qui détermine la fonction d'origine du signal dans ce domaine numérique.

De façon appropriée le signal est limité, dans le domaine temporel, à l'intervalle et, à l'intérieur de l'intervalle, est représenté par une somme de fonctions orthogonales comportant un nombre pouvant être prédéterminé de nombres à additionner, les coefficients associés pour les fonctions orthogonales étant déterminés et numérisés par l'intervalle, et le signal étant représenté dans le domaine numérique par transformation inverse des coefficients numérisés en référence à des fonctions orthogonales. De préférence le signal est divisé en plusieurs intervalles de sorte que le signal peut être représenté dans une plage temporelle étendue. Lors de la limitation de la bande du signal, on prend en compte avantagement les théorèmes d'échantillonnage. Conformément aux théorèmes d'échantillonnage, lors de la limitation de la fonction temporelle ou de la fonction de fréquence, des valeurs discrètes de la fonction de fréquence ou de la fonction de temps sont suffisantes pour décrire complètement le signal. La fonction temporelle du signal est représentée de préférence par le développement suivant un système complet de fonctions orthogonales. C'est-à-dire que le signal à bande limitée est décrit complètement par une sommation finale. A titre d'exemple le signal est représenté dans la gamme analogique conformément à l'analyse de Fourier généralisée :

$$x(t) = \sum_j^N a_j \cdot g_j(t) = \sum_j (x(t), g_j(t)) \cdot g_j(t), \quad (1)$$

$$a_j = (x(t), g_j(t)) = \int_0^T x(t) \cdot g_j(t) dt \quad (2)$$

avec $x(t)$ = fonction temporelle du signal, $g_j(t)$ =
 5 fonctions orthogonales, a_j = coefficients, N = nombre des
 nombres à additionner = nombre des fonctions orthogonales =
 nombre des points d'appui dans le domaine transformé
 (domaine des fréquences pour le cas particulier de la
 transformation de Fourier) = nombre des canaux parallèles,
 10 T = longueur de l'intervalle dans le domaine temporel.

La relation (2) est la définition de ce qu'on
 appelle le produit intérieur entre $x(t)$ et $g_j(t)$. Pour
 abréger, on utilisera dans le texte indiqué ci-après
 l'écriture symbolique $(x(t), g_j(t))$. La qualité pouvant
 15 être obtenue de l'approximation résulte du nombre des
 nombres à additionner, qui, dans un système réel, est arrê-
 té au bout d'un nombre fini. On obtient la valeur minimale
 pour le nombre N des nombres à additionner (également
 désignés sous l'expression points d'appui) à partir des
 20 théorèmes d'échantillonnage dans le domaine temporel et
 dans le domaine des fréquences pour des signaux limités
 dans le temps et à bande limitée. Le nombre des nombres à
 additionner N est déterminé de préférence par la relation :

$$N = \frac{T}{\tau} \quad (3)$$

avec T = longueur de l'intervalle dans le domaine temporel,
 τ = segment dans le domaine temporel, avec

$$t = \frac{1}{2B} \quad (\text{critère de Nyquist}) \quad (4)$$

avec B = largeur de bande.

Le nombre des nombres à additionner est choisi de
 préférence de manière qu'une résolution suffisante soit
 35 garantie. Les systèmes de fonctions orthogonales dans le

domaine analogique (transformation) et dans le domaine numérique (transformation inverse) sont choisis de préférence de manière à être identiques. Sinon, les systèmes de fonctions orthogonales (également désignés sous
 5 l'expression fonctions de base) peuvent être également différents.

De façon appropriée les coefficients numérisés sont soumis à une transformation inverse de telle sorte que le signal est décrit dans le domaine numérique par
 10 multiplication des coefficients numérisés par des fonctions orthogonales pouvant être prédéterminées, puis sommation ultérieure. Dans le cas de fonctions de base différentes dans le domaine analogique et dans le domaine numérique, la combinaison des coefficients s'effectue au moyen d'une
 15 transformation linéaire conformément à :

$$x(t) = \sum_j^N a_j \cdot g_j(t) = \sum_j^N b_j^d \cdot h_j(t), \quad (5)$$

dans l'hypothèse où l'on a $g_j(t) \neq h_j(t)$, où

$$20 \quad x(t) = \sum_j^N a_j \cdot g_j(t) = \sum_j^N a_j^d \cdot h_j(t), \quad (6)$$

dans l'hypothèse où on a $g_j(t) = h_j(t)$,

avec $x(t)$ = fonction temporelle du signal, $g_j(t)$ = fonctions orthogonales dans le domaine analogique, a_j = coefficients dans le domaine analogique, $h_j(t)$ = fonctions orthogonales dans le domaine numérique, a_j^d , b_j^d = coefficients dans le domaine numérique, N = nombres à additionner.

30 En fonction de prédéterminations et de critères pour le traitement numérique de signaux, on utilise comme fonctions orthogonales, des fonctions trigonométriques, des fonctions de Walsh et/ou des fonctions exponentielles complexes. Dans le domaine analogique, on préfère utiliser
 35 les fonctions trigonométriques, par exemple des fonctions

sinus et/ou cosinus. Dans le domaine numérique, on utilise de préférence des fonctions telles que par exemple des fonctions de Walsh ou de Haar, qui peuvent prendre uniquement les valeurs +1 ou -1.

5 Dans un système orthonormé, on a pour le produit intérieur de fonctions orthogonales :

$$(g_j, g_i) = \begin{cases} 0, & \text{lorsque } j \neq i \\ 1, & \text{lorsque } j = i \end{cases}$$

10

$$(h_j, h_i) = \begin{cases} 0, & \text{lorsque } j \neq i \\ 1, & \text{lorsque } j = i \end{cases}$$

15 Pour déterminer les coefficients b_j dans la relation (5), on forme le produit scalaire (produit intérieur).

$$\sum_j (x, g_j) g_j = \sum_j (x, h_j) h_j \quad | h_i \text{ formation du produit intérieur} \quad (7)$$

$$20 \quad \sum_j (x, g_j) (g_j, h_i) = (x, h_i) \quad (8)$$

$$\sum_j a_j (g_j, h_i) = b_i \quad (9)$$

25 Les coefficients dans le domaine numérique sont déterminés de préférence sur la base d'une matrice de transformation comportant les éléments $(g_j, h_i) = m_{j,i}$ conformément à :

$$30 \quad \begin{pmatrix} . \\ . \\ b_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & (g_j, h_i) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} . & . & a_j & . \end{pmatrix} \quad (10)$$

Dans une autre forme de réalisation avantageuse, à la place de la division indiquée précédemment (représentation) de la fonction du signal sur la base d'un système

35

de fonctions orthogonales classiques (transformation de Fourier généralisée) on réalise une décomposition (représentation) au moyen d'une transformation Wavelet.

La transformation Wavelet pour le signal analogique $x(t)$ est définie comme suit :

$$L_{\phi}x(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (11)$$

avec $L_{\phi}x(a,b)$ = transformation Wavelet du signal avec deux variables a = dilatation sur l'axe des temps, b = décalage sur l'axe des temps, $x(t)$ = fonction temporelle du signal, $\psi(t-b/a)$ = fonction Wavelet;

La transformation inverse du signal est définie de préférence comme suit :

$$x(t) = c \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} L_{\phi}x(a,b) \cdot \psi_{a,b}(t) \cdot \frac{1}{a^2} da db \quad (12)$$

avec $L_{\phi}x(a,b)$ = transformation Wavelet du signal avec deux variables a = dilatation sur l'axe des temps, b = décalage sur l'axe des temps, $x(t)$ = fonction temporelle du signal, $\psi(t)$ = fonction Wavelet, C = constante.

L'intégrale double est prise d'une manière redondante. Sinon on peut également utiliser une somme double.

Il s'est avéré particulièrement avantageux, comme cela est envisagé ici, d'utiliser la fonction de Haar-Wavelet conformément à :

$$\psi(t) = \begin{cases} 1 & \text{pour } 0 \leq t \leq 1/2 \\ -1 & \text{pour } 1/2 \leq t \leq 1 \\ 0 & \text{ailleurs.} \end{cases} \quad (13)$$

Par conséquent on obtient la transformation Wavelet conformément à la relation (11) :

$$L_{\phi}x(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \cdot \left(\sum_b^{b+a/2} x(t) dt - \sum_{b+a/2}^{b+a} x(t) dt \right) \quad (14)$$

Une autre forme de réalisation préférée de la transformation Wavelet est la transformation Wavelet dyadique, dans laquelle on utilise comme fonctions de base des fonctions Wavelet conformément à la relation suivante :

$$Y_{i,j} = \frac{1}{\sqrt{2^i}} Y \left(\frac{t - 2^i \cdot j}{2^i} \right) \quad (15)$$

Les différentes fonctions de base pour la transformation Wavelet dyadique sont obtenues à partir d'une fonction Wavelet par doublement ou division par deux de la largeur et décalage de multiples entiers de la largeur. Avantageusement, les intervalles de temps ou les instants a , b pour les fonctions Wavelet sont produits par division de fréquence ou retardement d'une cadence de base rapide. Ceci peut être également réalisé au moyen de registres à décalage.

Le problème indiqué en second lieu est résolu conformément à l'invention à l'aide d'un dispositif de conversion analogique/numérique d'un signal à bande limitée, caractérisé en ce qu'il comporte un module d'entrée pour la transformation du signal dans le domaine analogique et un module pour numériser des coefficients de la transformation ainsi qu'un module de sortie pour la transformation inverse du signal dans le domaine numérique. De façon appropriée le module d'entrée servant est utilisé pour représenter le signal intérieur de l'intervalle au moyen d'une somme de fonctions orthogonales possédant un nombre pouvant être prédéterminé de nombres à additionner. De façon appropriée l'ensemble du signal est composé en plusieurs intervalles. De préférence la détermination des coefficients s'effectue pour l'intervalle à l'aide du module d'entrée.

Après formation des produits intérieurs (également désignés sous l'expression produits scalaires), c'est-à-dire après la détermination des coefficients,

associés aux fonctions orthogonales, à l'intérieur de l'intervalle intervient la numérisation des coefficients N dans N modules, en particulier dans N convertisseurs analogique/numérique classiques. Par multiplication des coefficients alors déterminés avec les fonctions orthogonales au moyen du module de sortie, on peut représenter entièrement le signal dans le domaine numérique.

Dans une forme de réalisation avantageuse, le module d'entrée comprend un nombre de corrélateurs, qui correspond au nombre des nombres à additionner et qui comprennent respectivement un multiplicateur et un intégrateur. Le multiplicateur respectif est utilisé pour la multiplication de la fonction temporelle du signal par la fonction orthogonale associée. Comme intégrateur on prévoit de façon appropriée un filtre passe-bas. La combinaison, du point de vue de la technique des circuits, de multiplicateurs et d'un filtre passe-bas sert à déterminer les coefficients a_j des fonctions orthogonales dans le domaine analogique.

Sinon, le module d'entrée comprend de préférence un nombre de filtres adaptés, qui correspond au nombre des nombres à additionner. De préférence chaque filtre dit filtre adapté (également désigné sous l'expression filtre adapté du point de vue signal ou filtre de corrélation) comprend un filtre possédant une réponse impulsionnelle représentant la fonction orthogonale considérée, et un dispositif d'échantillonnage. De ce fait on obtient une construction particulièrement simple, du point de vue de la technique des circuits, du dispositif pour la transformation du signal.

Après la formation des produits internes et par conséquent après la détermination des coefficients des fonctions orthogonales dans le domaine analogique, la numérisation des coefficients est réalisée à l'aide des convertisseurs analogique/numérique classiques. De

préférence le nombre des corrélateurs ou des filtres de corrélation (filtres adaptés) correspond au nombre des convertisseurs analogique/numérique. Dans le domaine numérique, le module de sortie comprend de façon appropriée un nombre de multiplicateurs, qui correspond au nombre des nombres à additionner, et un circuit sommateur. Le multiplicateur sert à multiplier le coefficient respectif par la fonction orthogonale dans le domaine numérique. Sous l'effet de la sommation ultérieure de toutes les branches parallèles, le signal peut être entièrement représenté dans la gamme numérique. Le nombre des branches et des canaux correspond au nombre des nombres à additionner. Chaque branche comprend, côté réception pour la transformation, le corrélateur ou filtre de corrélation, pour la numérisation le convertisseur numérique/analogique associé et pour la transformation inverse, côté sortie, le multiplicateur. Un dispositif de conversion analogique/numérique du signal, qui comporte cet agencement du point de vue de la technique des circuits, est également désigné sous l'expression convertisseur analogique/numérique de corrélation.

Une autre forme de réalisation du dispositif concerne l'utilisation d'ondelettes dyadiques de Haar en tant que fonctions orthogonales. Chaque module d'entrée comprend deux interrupteurs branchés en parallèle, à chacun desquels est associé un filtre passe-bas. Les deux interrupteurs de chaque branche servent à former l'intégrale sur le signal $x(t)$ avec les limites d'intégration correspondant à la fonction Wavelet choisie. Chaque branche représente une fonction Wavelet différente (fonction de base), les différentes fonctions Wavelet étant obtenues par doublement ou division par deux de la largeur et décalage de multiples entiers de la largeur à partir d'une fonction de base (voir la relation (13)). Ces opérations sont réalisées au moyen des interrupteurs. A cet effet les instants d'ouverture et de fermeture des interrupteurs

peuvent être choisis pour obtenir une intégration conformément à la relation (14).

La numérisation des coefficients de la transformation Wavelet pour chaque branche s'effectue de façon appropriée à l'aide du module associé, notamment à l'aide d'un convertisseur analogique/numérique classique. Pour la normalisation des coefficients discrets en fonction de la fonction Wavelet associée, on prévoit de façon appropriée un circuit d'adaptation pour chaque branche. La normalisation s'effectue de préférence dans le domaine numérique. Le module de sortie comprend avantageusement, pour la transformation inverse, un nombre de circuits d'adaptation et de multiplicateurs, qui correspond au nombre des branches. Au moyen d'une sommation exécutée ensuite de toutes les branches, le signal peut être complètement représenté dans le domaine numérique. C'est-à-dire que pour la transformation Haar-Wavelet dyadique, chaque branche comprend côté entrée pour la transformation les deux interrupteurs auxquels sont associés des filtres passe-bas respectifs, pour la numérisation le convertisseur analogique/numérique associé et pour la transformation inverse, côté sortie, le circuit d'adaptation et le multiplicateur.

Avantageusement, un récepteur comporte l'un des dispositifs décrits pour la conversion analogique/numérique d'un signal. De ce fait le récepteur est approprié notamment pour la diffusion audio numérique, lors de laquelle un traitement rapide des signaux avec une cadence particulièrement élevée d'échantillonnage est requis.

Les avantages fournis par l'invention résultent du fait que le signal est analysé au moyen d'une analyse combinée dans la gamme temporelle et dans la gamme des fréquences. En considérant le signal dans un intervalle de temps et en le décrivant sur la base de fonctions orthogonales à l'intérieur de cet intervalle, on décrit le

signal complètement aussi bien dans la gamme analogique que dans la gamme numérique, ce qui a pour effet que contrairement à l'échantillonnage dans le cas d'un convertisseur analogique/numérique classique (convertisseur
5 analogique/numérique à imbrication temporelle), les erreurs de zéro et des erreurs d'amplification (également désignées sous l'expression "erreurs de décalage et de gain") et les raies parasites discrètes, qui en résultent, sont évitées de façon sûre. Comparativement à un convertisseur analogi-
10 que/numérique classique individuel possédant une cadence élevée d'échantillonnage, en raison de l'utilisation de la multiplicité de convertisseurs analogique/numérique branchés en parallèle (le nombre des branches est égal au nombre des nombres additionnés pouvant être prédéterminés,
15 la cadence d'échantillonnage du convertisseur analogique/numérique individuel du dispositif doit être choisie inférieure du facteur correspondant au nombre des nombres à additionner.

D'autres caractéristiques et avantages de la
20 présente invention ressortiront de la description donnée ci-après en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement un dispositif pour la conversion analogique/numérique d'un signal comportant un module d'entrée, un module de numéri-
25 sation et un module de sortie;

- la figure 2 représente schématiquement une forme de réalisation du module d'entrée;

- la figure 3 représente schématiquement une autre forme de réalisation du module d'entrée;

- la figure 4 représente schématiquement le
30 dispositif de la figure 1 comportant le module d'entrée selon la figure 2;

- la figure 5 représente un diagramme de la fonction temporelle du signal;

- la figure 6 représente un diagramme relatif à
35

la transformation de la fonction temporelle du signal;

- la figure 7 représente schématiquement le dispositif de la figure 1 comportant un autre module d'entrée;

5 - la figure 8 représente un diagramme de différentes fonctions Wavelet; et

- la figure 9 représente schématiquement le dispositif de la figure 1 comportant un autre module d'entrée et un autre module de sortie.

10 Les mêmes éléments sont désignés par les mêmes chiffres de référence sur toutes les figures.

La figure 1 représente schématiquement un dispositif 1 pour la conversion analogique/numérique d'un signal analogique $x(t)$ à bande limitée (c'est-à-dire un signal possédant une limite supérieure finie de fréquences) comportant un module d'entrée 2 pour la transformation du signal $x(t)$ et un module de sortie 4 pour la transformation inverse du signal $x(t)$, un certain nombre de modules (6) pour la numérisation des coefficients associés a_j de la transformation étant prévu entre le module d'entrée 2 et le module de sortie 4.

Lorsque le dispositif 1 fonctionne, le signal $x(t)$ envoyé au module d'entrée 2 est décomposé ou subdivisé en plusieurs intervalles de durée T . Le signal $x(t)$ à bande limitée est décrit complètement dans un intervalle T par une sommation finie de fonctions orthogonales $g_j(t)$. Le nombre N des nombres à additionner peut être prédéterminé. Le nombre des nombres à additionner ou des points d'appui correspond au nombre des segments de temps en lesquels un intervalle de temps T est subdivisé. On obtient la valeur minimale pour le nombre N des nombres à additionner à partir du théorème d'échantillonnage dans la gamme temporelle et dans la gamme des fréquences conformément aux relations (3) et (4).

35 En fonction du nombre N des nombres à

additionner, des fonctions orthogonales $g_j(t)$ (avec $1 \leq j \leq N$) sont envoyées au module d'entrée 2. Le signal $x(t)$ est transformé sur la base des fonctions orthogonales $g_j(t)$. Par exemple le signal $x(t)$ est représenté dans le domaine
 5 analogique sur la base de l'analyse de Fourier généralisée, conformément à la relation (1). A l'aide du module d'entrée 2 on détermine les coefficients a_j , qui sont associés aux fonctions orthogonales $g_j(t)$, des nombres à additionner respectifs j conformément à la relation (2).

10 Pour numériser les valeurs des coefficients a_j , il est prévu un nombre, qui correspond au nombre N des nombres à additionner j , de modules 6 qui sont branchés en parallèle entre eux. Sur la base des valeurs numérisées des coefficients a_j^d dans le domaine numérique, le signal
 15 $x^d(t_i)$ est représenté dans le domaine numérique sur la base de la transformation inverse à l'aide de fonctions orthogonales $h_j(t)$. Le résultat de la transformation inverse est le signal numérisé $x^d(t_i)$ à l'instant $t_i = iT$; $i = 1, 2, 3, \dots$

20 Sur la figure 2 on a représenté une forme de réalisation, du point de vue de la technique des circuits, d'un module d'entrée 2A sur la base d'un corrélateur 8. Le corrélateur 8 comprend un multiplicateur 10 servant à multiplier le signal $x(t)$ avec la fonction orthogonale
 25 prédéterminée $g_j(t)$ et un intégrateur 12 (par exemple le filtre passe-bas). La combinaison, du point de vue de la technique des circuits, du multiplicateur 10 et de l'intégrateur 12, permet de déterminer les coefficients a_j de la transformation. En fonction de la forme de
 30 réalisation du dispositif 1, ce dernier peut comporter pour les nombres à additionner j un module particulier d'entrée 2A ou sinon un module d'entrée commun 2A comportant N corrélateurs 8 branchés en parallèle.

Une autre forme de réalisation d'un module
 35 d'entrée 2B est représentée sur la figure 3. Comme module

d'entrée 2B on utilise, du point de vue de la technique des circuits, un filtre adapté 14 (filtre adapté au signal), qui comprend un filtre 16 possédant une réponse impulsionnelle représentant la fonction orthogonale
 5 respective $g_j(t)$, et un dispositif d'échantillonnage 18. Le nombre des modules d'entrée 2B ou des filtres adaptés 14 est égal au nombre N des nombres à additionner.

Sur la figure 4, on a représenté l'agencement, du point de vue de la technique des circuits, du dispositif 1A
 10 comportant une multiplicité de branches 20, qui comprend respectivement le corrélateur 8 de l'autre module d'entrée 2A pour la transformation, le module 6 pour la numérisation et le module de sortie 4 pour la transformation inverse. Les branches 20 sont disposées en étant parallèles entre
 15 elles. Le nombre des branches 20 correspond au nombre N des nombres à additionner j et par conséquent au nombre des fonctions orthogonales $g_j(t)$. Le signal analogique $x(t)$ est envoyé à chaque branche 20.

La fonction de base associée, à savoir la
 20 fonction (orthogonale) $g_j(t)$, est multipliée par le signal $x(t)$ au moyen du multiplicateur associé 10 du corrélateur 8. Comme fonctions orthogonales $g_j(t)$, il est préférable d'utiliser dans le domaine analogique des fonctions trigonométriques, comme par exemple des fonctions sinus,
 25 cosinus et/ou des fonctions exponentielles complexes. Par exemple sur la figure 4 on a représenté trois branches 20 parmi les N branches. Comme fonctions orthogonales $g_j(t)$, on utilise dans la branche considérée 20 par exemple pour $N = 8$, les fonctions de base suivantes : $g_1(t) = \sin \omega t$,
 30 $g_2(t) = \sin 2\omega t$, $g_3(t) = \sin 3\omega t$ à $g_4(t) = \sin 4\omega t$, $g_5(t) = \cos 0\omega t$, $g_6(t) = \cos 2\omega t$, $g_7(t) = \cos 2\omega t$, $g_8(t) = \cos 3\omega t$ (avec $1 \leq j \leq N$, $N =$ nombre des nombres à additionner).

L'intégrateur 12 branché en aval du multiplicateur 10, par exemple un filtre passe-bas du point
 35 de vue de la technique des circuits, sert à déterminer les

coefficients associés a_1 à a_N de la transformation dans les branches 20. La valeur respective des coefficients a_1 à a_N est numérisée au moyen des modules parallèles 6. Les modules 6 sont par exemple des convertisseurs

5 analogique/numérique classiques. Le module de sortie 4 comprend, pour la représentation du signal $x^d(t_i)$ dans le domaine numérique, et ce dans chaque branche 20, le multiplicateur 22 pour réaliser la transformation inverse des coefficients numérisés a_1^d à a_N^d sur la base de

10 fonctions orthogonales g_j^d (pour des systèmes identiques de fonctions orthogonales dans le domaine analogique et dans le domaine numérique) ou h_j (pour des systèmes différents de fonctions orthogonales dans le domaine analogique et dans le domaine numérique). Le résultat - des nombres

15 additionnés s_1 à s_N dans le domaine numérique - est ensuite envoyé à un circuit additionneur 24 du module de sortie 4. Le signal $x^d(t_i)$ dans le domaine numérique peut être entièrement représenté par la sommation des résultats de l'ensemble des branches parallèles 20. Le nombre des

20 branches 20 correspond au nombre N des nombres à additionner j .

Chaque branche 20 comprend par conséquent, côté entrée, pour la transformation le corrélateur 8, pour la numérisation le module 6 (également désigné sous l'expres-

25 sion convertisseur analogique/numérique) et pour la transformation inverse, côté sortie, le multiplicateur 22. Toutes les branches 20 sont ensuite raccordées au circuit sommateur 24. Un dispositif 1A possédant cet agencement du point de vue de la technique des circuits et utilisé pour

30 la conversion analogique/numérique du signal $x(t)$ est désigné de préférence sous l'expression convertisseur analogique/numérique de corrélation. Sinon, à la place du corrélateur 8, on peut également utiliser le filtre adapté 14. D'une manière conditionnée par la division de

35 l'intervalle de temps T en N segments de durée t , chacun

des N convertisseurs analogique/numérique dispose de N fois le temps pour la conversion par rapport à un seul convertisseur analogique/numérique. Cela signifie une réduction importante des exigences imposées aux convertisseurs analogique/numérique.

Sur la figure 5, on a représenté à titre d'exemple la fonction temporelle du signal $x(t)$ avec l'intervalle T et N segments de durée t . On a $T = Nt$. Pour la longueur maximale du segment, le théorème d'échantillonnage fournit un signal limité à la largeur de bande B : $t = 1/2B$. La transformation de la fonction temporelle $x(t)$ dans la gamme des fréquences est représentée à titre d'exemple sur le diagramme de la figure 6.

La figure 7 représente une variante du dispositif 1B. Le système de fonctions orthogonales $g_j(t)$ dans le domaine analogique et les systèmes des fonctions orthogonales $h_j(t)$ dans le domaine numérique peuvent être différentes. De préférence on utilise dans le domaine analogique, des fonctions trigonométriques comme fonctions orthogonales $g_j(t)$. Dans le domaine numérique on peut utiliser de préférence des fonctions de Walsh ou de Haar. La combinaison des coefficients associés a_j et b_j s'effectue par exemple au moyen d'une transformation linéaire conformément aux relations (5) à (9). La conversion, du point de vue de la technique des circuits, de cette fonction est représentée sur la figure 7.

Le dispositif 1B est représenté par exemple avec $N = 3$ canaux. Dans $N = 3$ modules 26, les coefficients a_1^d , a_2^d , a_3^d sont produits à partir du signal $x(t)$ moyennant l'utilisation des fonctions orthogonales g_1^d , g_2^d , g_3^d . Les modules sont agencés de la même manière que les branches 20 de la figure 4, mais ne comprennent pas le module de sortie 4 (c'est-à-dire que les modules 26 comprennent uniquement le corrélateur 8 et le module 6 de la figure 4). Les coefficients a_j^d ($j = 1, 2, 3$) sont multipliés dans des

modules 28, par des nombres fixes $m_{j,l}$ ($l = 1, 2, 3$). Respectivement 3 ($=N$) de ces résultats de multiplication sont additionnés dans des dispositifs de sommation 30. Les résultats respectifs provenant des dispositifs de sommation
 5 30 sont multipliés par les fonctions orthogonales $h_1(t)$, $h_2(t)$, $h_3(t)$ moyennant l'utilisation de multiplicateurs 22. La sommation des signaux s_j dans le circuit de sommation 24 fournit le signal de sortie numérique $x^d(t_i)$.

Les dispositifs 1A et 1B, représentés sur les
 10 figures 4 et 7, pour réaliser la conversion analogique/numérique du signal $x(t)$ sont des convertisseurs analogique/numérique à corrélation, qui sont basés sur des fonctions de corrélation simples. Sinon, on peut utiliser des fonctions Wavelet en tant que fonctions de corrélation.
 15 A cet effet une fonction choisie de façon appropriée, par exemple une fonction Haar, est décalée et cumulée pour l'analyse du signal $x(t)$. Sur la figure 8 on a représenté des exemples de différentes fonctions Haar-Wavelet (par les relations (13) et (15)). Pour la transformation du signal
 20 $x(t)$, on utilise de préférence la transformation Wavelet conformément à la relation (11). La transformation inverse du signal $x(t)$ dans la gamme numérique est définie dans la relation (12). Dans les relations (13) à (14), la transformation est représentée dans le cas de l'exemple
 25 d'une fonction Haar-Wavelet.

L'agencement, du point de vue de la technique des circuits, d'un dispositif 1C basé sur la transformation Haar-Wavelet, est représenté sur la figure 19. Chaque
 30 branche 20 (ici seule une branche 20 est représentée à titre d'exemple) comprend un module d'entrée 2C servant à réaliser la transformation du signal $x(t)$, le module 6 pour la numérisation et le module de sortie 4. Le nombre des branches 20 correspond au nombre N des nombres à additionner j . Pour la transformation le module d'entrée 2C
 35 comporte deux interrupteurs 32 branchés en parallèle, à

chacun desquels est associé un filtre passe-bas 34. Au moyen de la fonction des interrupteurs 32 et des filtres passe-bas 34 dans chaque branche 20, l'intégrale du signal $x(t)$ est formée à différents instants conformément à la fonction Haar-Wavelet correspondante (voir la relation (14)). Ensuite, les deux résultats du module d'entrée 2C sont sommés dans un dispositif de sommation 36. Chaque résultat du module d'entrée 2C caractérise une alternance de la fonction Haar-Wavelet associée. Par conséquent chaque

5 fonction Haar-Wavelet correspondante (voir la relation (14)). Ensuite, les deux résultats du module d'entrée 2C sont sommés dans un dispositif de sommation 36. Chaque résultat du module d'entrée 2C caractérise une alternance de la fonction Haar-Wavelet associée. Par conséquent chaque

10 branche 20 traite une fonction Haar-Wavelet et les différentes fonctions Wavelet sont produites par multiplication ou division par deux de la largeur et par décalage sur des multiples entiers de la largeur.

Ensuite le coefficient a_j de la transformation Wavelet pour la numérisation est envoyé au module associé

15 6. Pour la normalisation du coefficient discret a_j^d en fonction de la fonction Wavelet associée, un circuit d'adaptation 38 est prévu dans la branche associée 20. La normalisation s'effectue par conséquent dans le domaine

20 numérique. Le module de sortie 4 comprend le multiplicateur 22 pour la transformation inverse. Ledit coefficient normalisé $c(i,j)$ est déterminé au moyen du circuit d'adaptation, dans le domaine numérique sans envoyer, pour la transformation inverse, le multiplicateur 22 (voir la

25 relation 12 avec $c(i,j) = L_0 x(a_i, b_i)$). Grâce à la sommation ultérieure de toutes les branches 20 sur la base des nombres à additionner s_1 à s_N , on peut représenter complètement le signal $x^d(t)$ dans la gamme numérique. C'est-à-dire que dans le cas de la transformation Wavelet,

30 chaque branche 20 comprend côté entrée pour la transformation les deux interrupteurs 32, auxquels sont associés des filtres passe-bas respectifs 34, pour la numérisation le module 6 et pour la transformation inverse côté sortie, le circuit d'adaptation 38 et le

35 multiplicateur 22. Un dispositif 1C, qui possède cet

agencement du point de vue de la technique des circuits pour la conversion analogique/numérique du signal, est désigné comme étant un convertisseur analogique/numérique Wavelet.

5 Les différentes formes de réalisation des dispositifs 1, 1A, 1B et 1C décrits précédemment conviennent notamment pour leur utilisation dans un récepteur numérique. En outre d'autres applications sont possibles dans le domaine du traitement numérique des
10 signaux, par exemple dans la technique du radar ou de la radiodiffusion.

REVENDICATIONS

1. Procédé de conversion analogique/numérique d'un signal $(x(t))$ à bande limitée, caractérisé en ce qu'on transforme le signal $(x(t))$ sur la base de fonctions orthogonale $(g_j(t))$, on détermine et on numérise des coefficients (a_j) associés aux fonctions orthogonales $(g_j(t))$ et au signal $(x(t))$, et on ramène par transformation inverse le signal $(x^d(t))$ dans le domaine numérique, sur la base des coefficients numérisés (a_j^d) à l'aide de fonctions orthogonales $(h_j(t))$.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le signal $(x(t))$ est limité dans le domaine temporel à un intervalle (T) et est représenté à l'intérieur de l'intervalle (T) par une somme de fonctions orthogonales $(g_j(t))$ comportant un nombre pouvant être prédéterminé (N) de nombres à additionner, on détermine et on numérise les coefficients (a_j) , associés aux fonctions orthogonales $(g_j(t))$ pour l'intervalle (T) , et la transformation inverse est exécutée au moyen des coefficients numérisés (a_j^d) et des fonctions orthogonales $(h_j(t))$ et le signal $(x^d(t))$ est représenté dans le domaine numérique.

3. Procédé selon l'une ou l'autre des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que le nombre (N) des fonctions orthogonales $(g_j(t))$ est déterminé au moyen du théorème d'échantillonnage conformément à : $N = T/\tau$ (avec T = longueur de l'intervalle dans le domaine temporel et τ = segment dans le domaine temporel, avec $\tau = 1/2B$ (B = largeur de bande)).

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les coefficients numérisés (a_j^d) sont soumis à une transformation inverse de telle sorte que le signal $(x^d(t))$ est décrit dans le domaine numérique au moyen d'une multiplication des coefficients numérisés (a_j^d) avec des

fonctions orthogonales ($h_j(t)$) et d'une sommation exécutée ensuite.

5 5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'on utilise comme fonctions orthogonales ($g_j(t)$, $h_j(t)$), des fonctions trigonométriques, des fonctions de Haar, des fonctions de Walsh et/ou des fonctions exponentielles complexes.

10 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les valeurs discrètes des coefficients respectifs pour différentes fonctions orthogonales ($g_j(t)$, $h_j(t)$) sont adaptées dans le domaine analogique et dans le domaine numérique, aux fonctions orthogonales prédéterminées ($g_j(t)$, $h_j(t)$).

15 7. Dispositif de conversion analogique/numérique d'un signal à bande limitée ($x(t)$), caractérisé en ce qu'il comporte un module d'entrée (2, 2A, 2B, 2C) pour la transformation du signal ($x(t)$) dans le domaine analogique et un module (6) pour numériser des coefficients (a_j) de la transformation ainsi qu'un module de sortie (4) pour la
20 transformation inverse du signal ($x^d(t)$) dans le domaine numérique.

8. Dispositif selon la revendication 7, comprenant le module d'entrée (2, 2A, 2B, 2C) pour la représentation du signal ($x(t)$) à l'intérieur d'un
25 intervalle (T), dans le domaine temporel, par une somme de fonctions orthogonales ($g_j(t)$) avec un nombre (N) pouvant être prédéterminé de nombres à additionner (j) ainsi que pour la détermination des coefficients (a_j), qui sont associés aux fonctions orthogonales ($g_j(t)$), pour l'inter-
30 valle (T) et le module (6) pour la numérisation des coefficients (a_j) ainsi que le module de sortie (4) pour la représentation du signal ($x^d(t)$) dans la gamme numérique par transformation inverse au moyen d'une multiplication des coefficients numérisés (a_j^d) avec les fonctions
35 orthogonales ($h_j(t)$) et d'une sommation exécutée ensuite.

9. Dispositif selon l'une ou l'autre des revendications 7 et 8, caractérisé en ce que le module d'entrée (2,2A) comprend un nombre de multiplicateurs (10) et d'intégrateurs (12), qui correspond au nombre (N).
- 5 10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'on prévoit comme intégrateur (12) un filtre passe-bas.
11. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que le module d'entrée (2,2B) comprend un
10 nombre de filtres adaptés (14), qui correspond au nombre N.
12. Dispositif selon la revendication 11, caractérisé en ce que chaque filtre adapté (14) comprend un filtre (16) possédant une réponse impulsionnelle représentant la fonction locale respective, et un
15 dispositif d'échantillonnage (18).
13. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que le module d'entrée (2,2C) pour chacune des N branches (20) comprend deux interrupteurs (32) branchés en parallèle, à chacun desquels est associé
20 un filtre passe-bas (34).
14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 7 à 13, caractérisé en ce que le module de sortie (4) comprend un nombre de multiplicateurs (22), qui correspond au nombre N, et un circuit sommateur (24).
- 25 15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 7 à 14, caractérisé en ce que le module de sortie (4) comprend un nombre de circuits d'adaptation (38), qui correspond au nombre N.

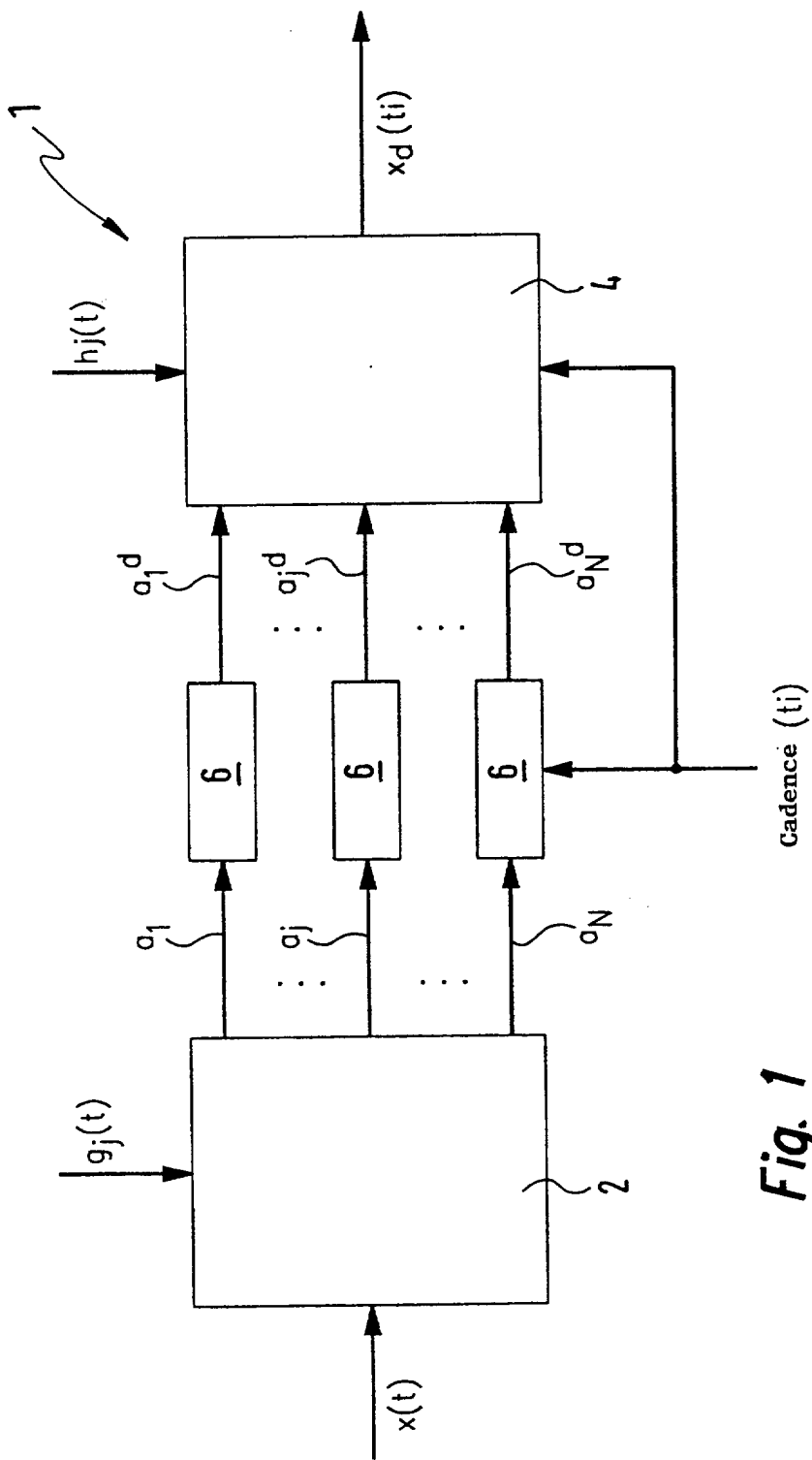
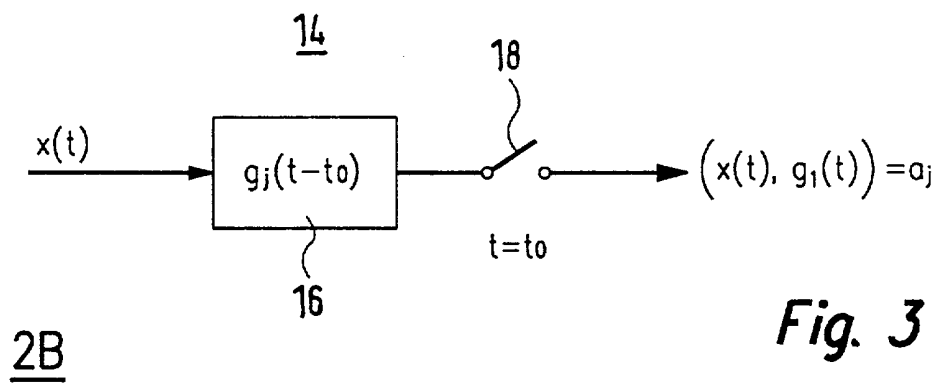
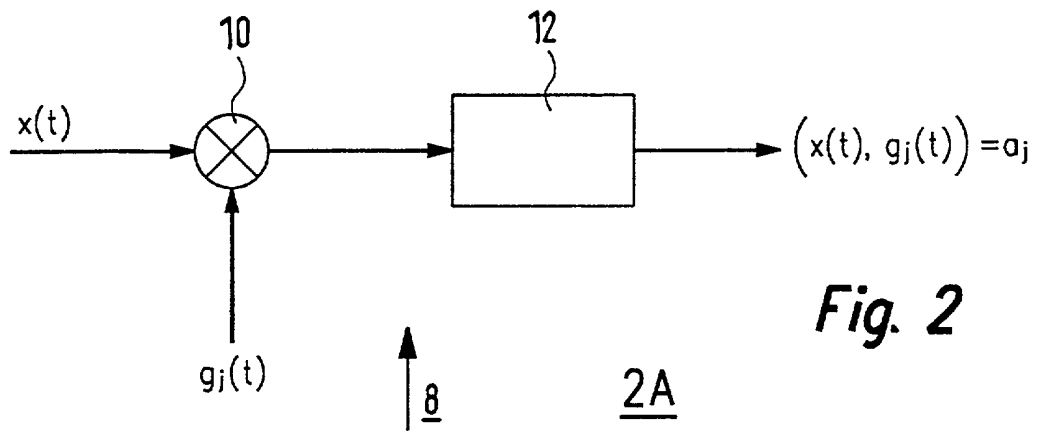


Fig. 1

2 / 7



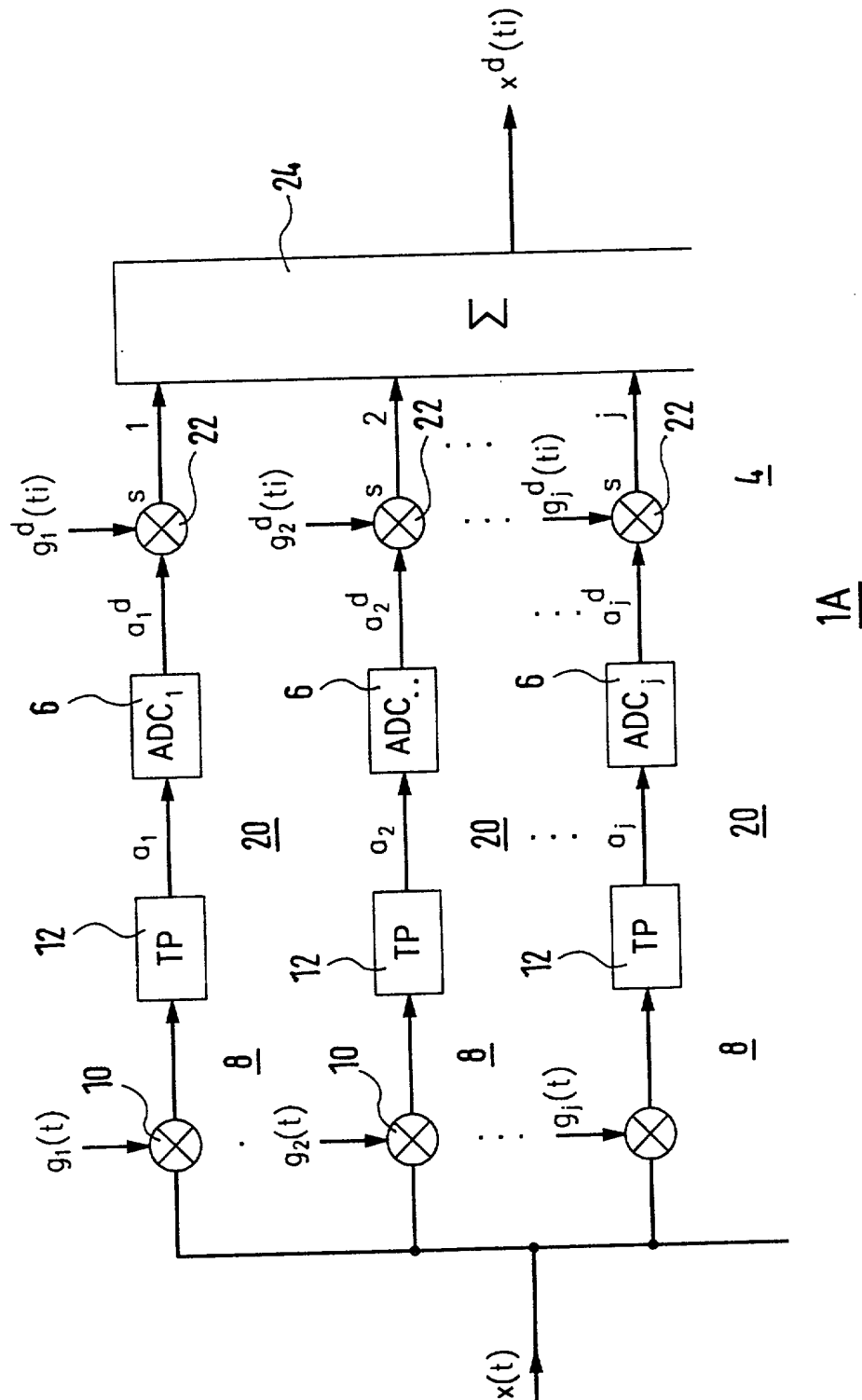


Fig. 4

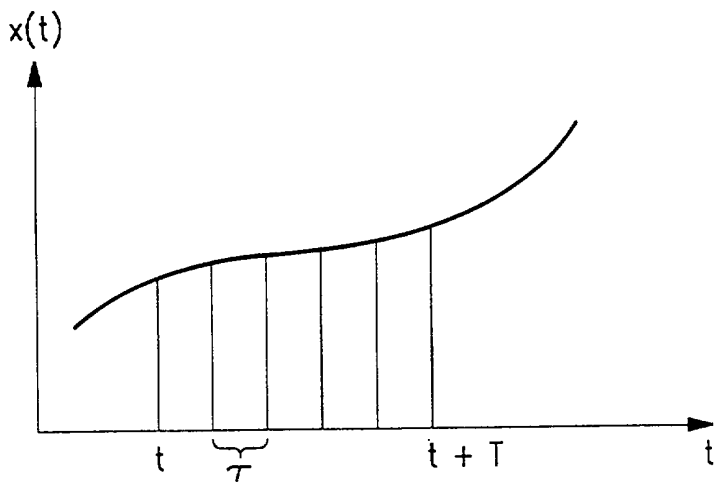


Fig. 5

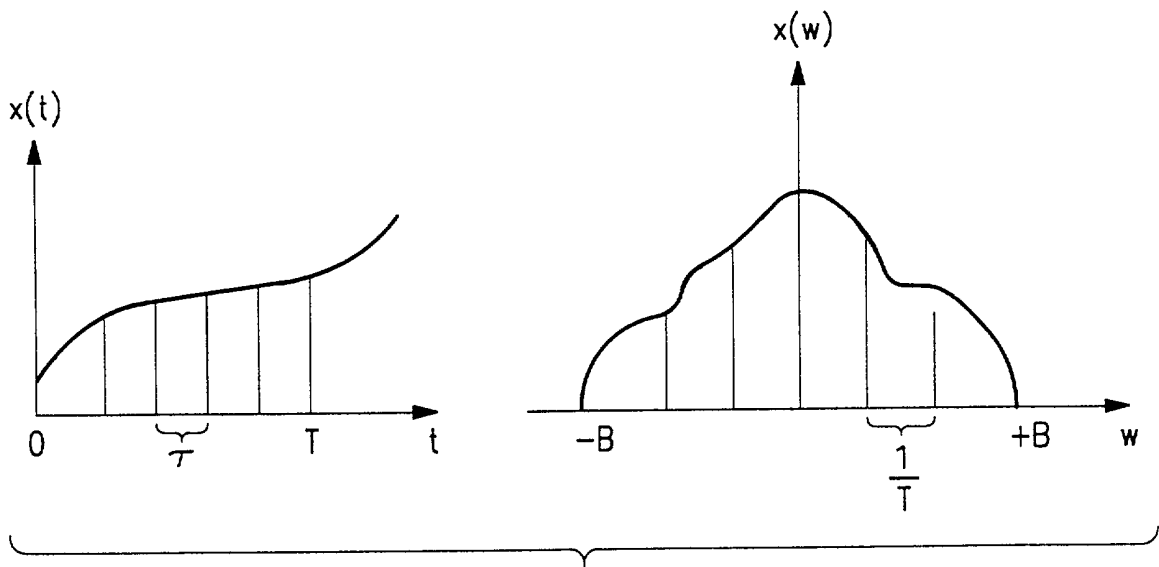
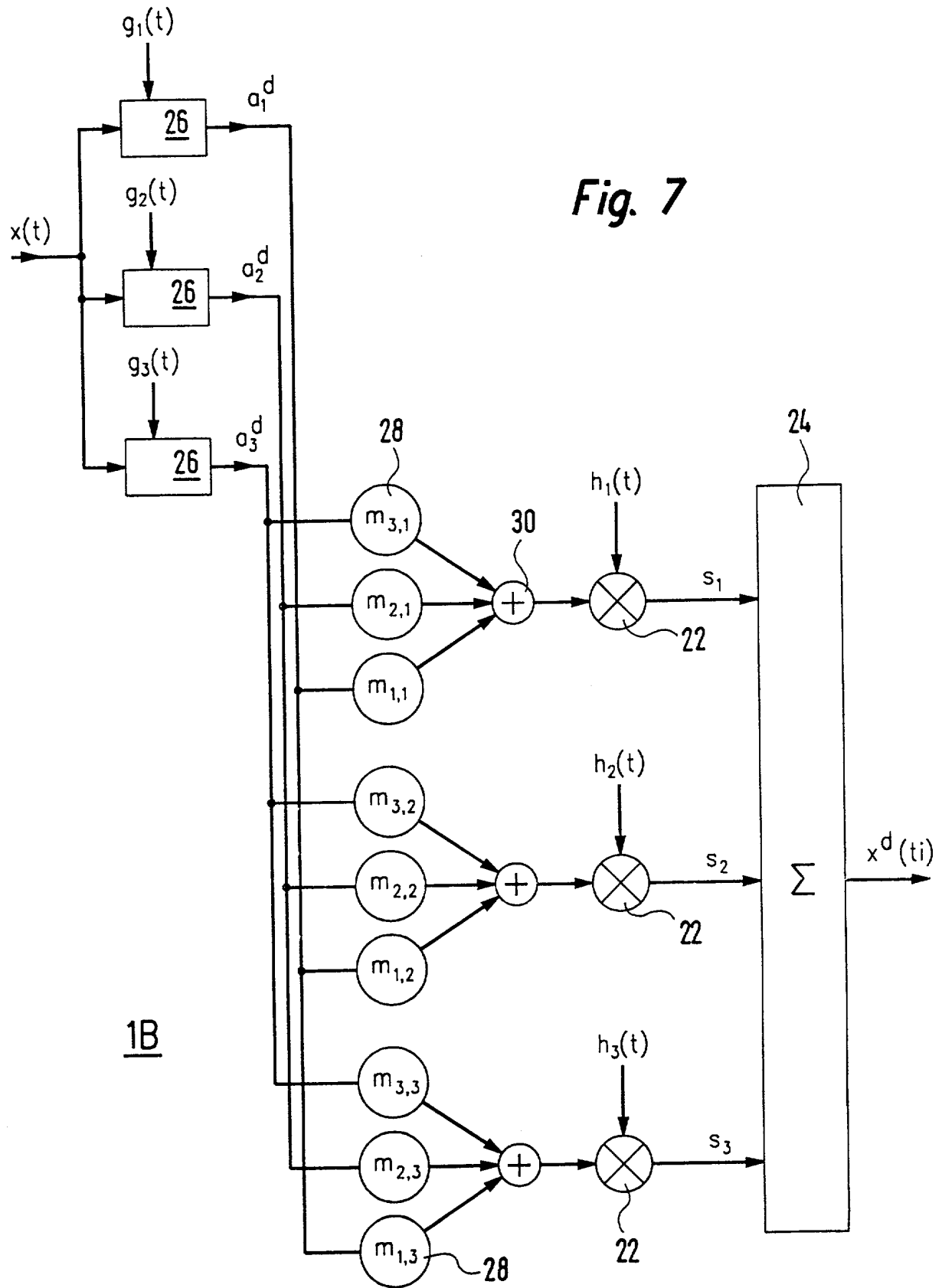
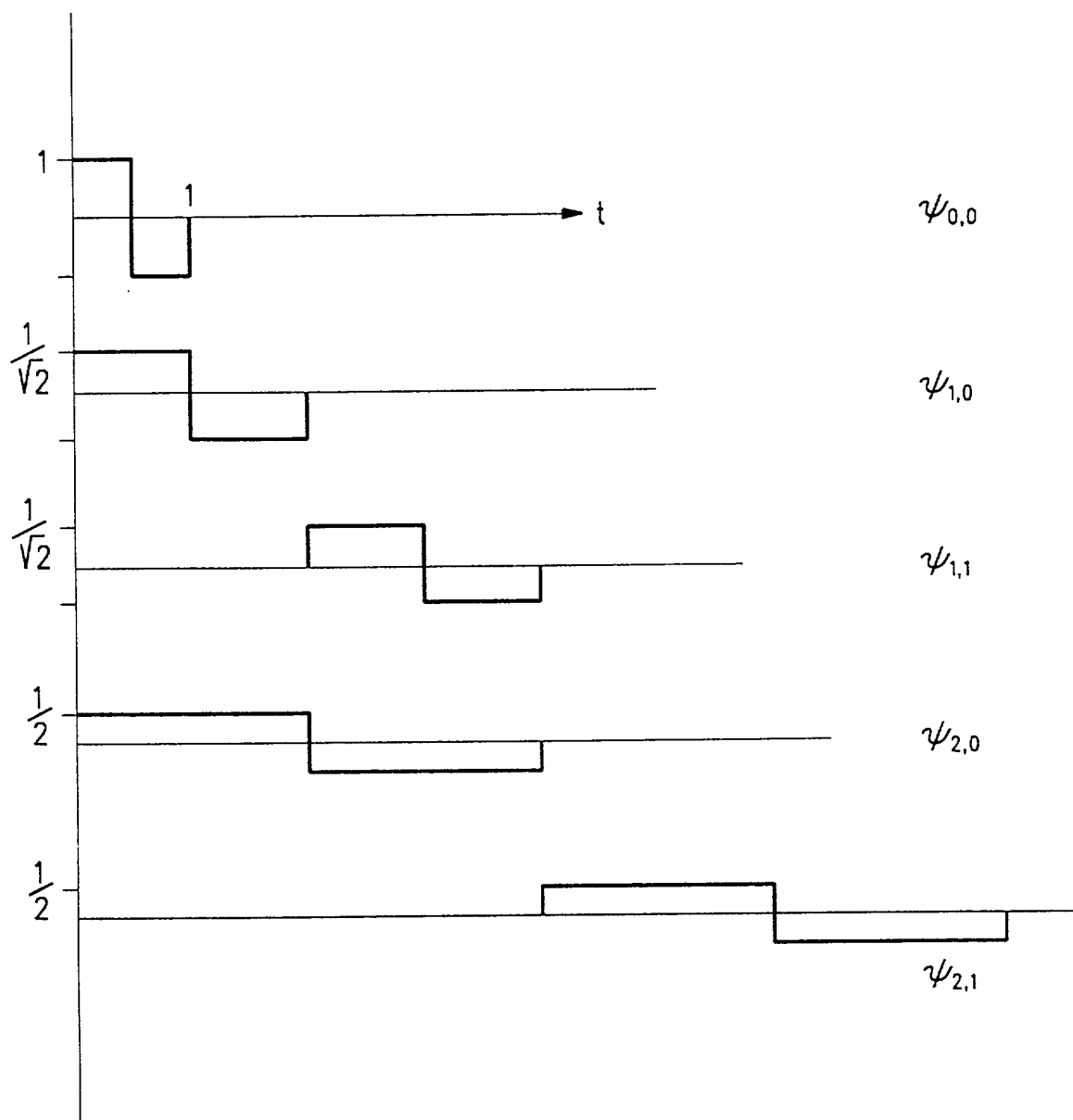


Fig. 6

5 / 7



**Fig. 8**

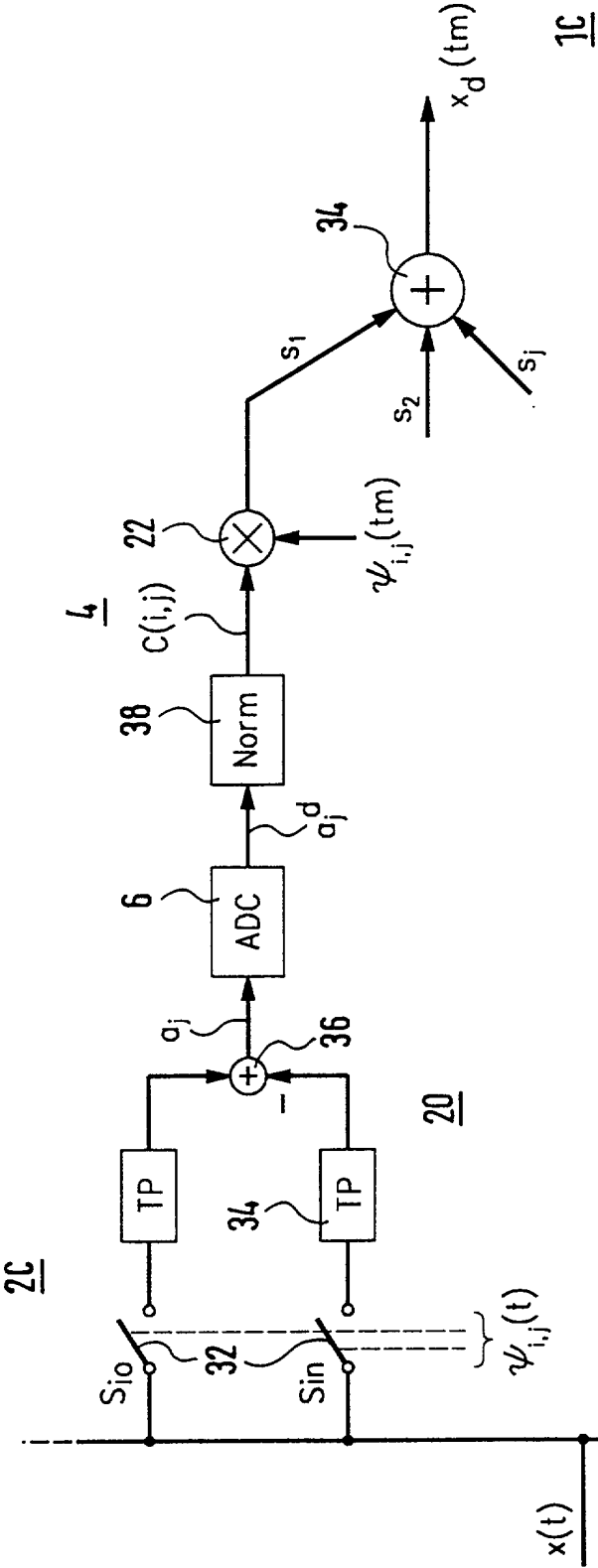


Fig. 9