

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 9 avril 1984.

③0 Priorité : DE, 9 avril 1983, n° P 33 12 796.4.

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 41 du 12 octobre 1984.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : Société dite : LICENTIA PATENT-VER-
WALTUNGS-GMBH. — DE.

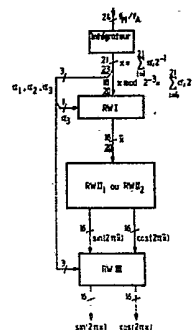
⑦2 Inventeur(s) : Rolf Erlenmayer, Karl-Robert Fink et Frie-
drich Hölzel.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Beau de Loménie.

⑤4 Oscillateur numérique délivrant des signaux complexes.

⑤7 Oscillateur numérique délivrant des signaux complexes.
Le calcul des valeurs complexes de sinus et cosinus est
ramené à la plage angulaire de 0 à $\pi/4$ afin de réduire
l'emplacement mémoire. Le calcul s'effectue avantageusement
selon un procédé d'approximation par développement en série
ou selon un procédé itératif pour la conversion de coordon-
nées polaires en coordonnées cartésiennes.



La présente invention concerne un oscillateur numérique délivrant des signaux complexes de la forme $\cos(2\pi k f_M/f_A) + (j) \sin(2\pi k f_M/f_A)$ avec la fréquence d'horloge f_A et la fréquence d'oscillateur f_M , un intégrateur à dépassement formant, à partir de l'information de fréquence f_M/f_A appliquée sous forme d'un nombre binaire, la suite de signaux

$$x(k) = (k f_M/f_A) \bmod 1$$

représentée en binaire par $\sum_{i=1}^M \alpha_i 2^{-i}$

qui est convertie par une unité arithmétique, et à l'aide de tables mémorisées de sinus et de cosinus, en suites de signaux

$$\cos(2\pi k f_M/f_A) = \cos[(2\pi k f_M/f_A) \bmod 2\pi] = \cos[2\pi((k f_M/f_A) \bmod 1)]$$

et

$$\sin(2\pi k f_M/f_A) = \sin[(2\pi k f_M/f_A) \bmod 2\pi] = \sin[2\pi((k f_M/f_A) \bmod 1)].$$

Un tel oscillateur numérique est décrit par exemple dans la demande de brevet de la République fédérale d'Allemagne publiée sous le n° 30 07 907.

Des oscillateurs délivrant un signal numérique complexe sinus/cosinus sont nécessaires en particulier pour les récepteurs numériques fonctionnant en récepteurs en quadrature. Il est connu de mémoriser les valeurs sinus et cosinus correspondantes dans des tables ROM. Cela représente toutefois une énorme capacité de mémoire dans le cas de récepteurs à grande largeur de bande et résolution élevée.

L'invention a pour objet un oscillateur numérique du type précité qui, pour une grande largeur de bande et une résolution en fréquence élevée exige un appareillage total minimal en emplacement mémoire et circuits de calcul.

Selon une caractéristique essentielle de l'invention, l'unité arithmétique est constituée par trois étages (RWI, RWII_{1/2}, RWIII), dont le premier étage (RWI) forme, en fonction de la valeur du bit α_3 appliqué à une de ses entrées de commande, la valeur de sortie $\hat{x}(k)$ selon la règle suivante :

$$\hat{x}(k) = f_I(x(k) \bmod 2^{-3}, \alpha_3) = \begin{cases} (x(k) \bmod 2^{-3}) & \text{pour } \alpha_3 = 0 \\ 2^{-3} - x(k) \bmod 2^{-3} & \text{pour } \alpha_3 = 1; \end{cases}$$

- dont le second étage (RWII_{1/2}) forme, à partir de la valeur $\hat{x}(k)$, une paire de valeurs sinus/cosinus selon la fonction

$$\vec{f}_{II}(\hat{x}(k)) := [\sin(2\pi \hat{x}(k)), \cos(2\pi \hat{x}(k))];$$

5 et dont le troisième étage (RWIII) forme, à partir de la paire de valeurs $[\sin(2\pi \hat{x}(k)), \cos(2\pi \hat{x}(k))]$ et en fonction des valeurs des bits $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ appliqués à ses entrées de commande, une paire de valeurs $[\sin(2\pi \hat{x}(k)), \cos(2\pi \hat{x}(k))]$ selon la table de fonction suivante :

10	Entrées de commande			Sortie 1	Sortie 2
	1	2	3	$\sin(2\pi \hat{x})$	$\cos(2\pi \hat{x})$
	0	0	0	$\sin(2\pi \hat{x})$	$\cos(2\pi \hat{x})$
	0	0	1	$\cos(2\pi \hat{x})$	$\sin(2\pi \hat{x})$
	0	1	0	$\cos(2\pi \hat{x})$	$-\sin(2\pi \hat{x})$
	0	1	1	$\sin(2\pi \hat{x})$	$-\cos(2\pi \hat{x})$
15	1	0	0	$-\sin(2\pi \hat{x})$	$-\cos(2\pi \hat{x})$
	1	0	1	$-\cos(2\pi \hat{x})$	$-\sin(2\pi \hat{x})$
	1	1	0	$-\cos(2\pi \hat{x})$	$\sin(2\pi \hat{x})$
	1	1	1	$-\sin(2\pi \hat{x})$	$\cos(2\pi \hat{x})$

20 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux compris à l'aide de la description détaillée ci-dessous d'un exemple de réalisation et des dessins annexés sur lesquels :

la figure 1 représente le schéma synoptique de l'oscillateur selon l'invention;

la figure 2 représente la table de fonction correspondante;

25 la figure 3 représente une réalisation simple du premier étage RWI;

la figure 4 représente une réalisation simple du troisième étage RWIII;

la figure 5 représente une forme de réalisation d'un développement de l'invention, dans lequel le calcul s'effectue par approximations successives à l'aide d'un développement en série; et

30 la figure 6 représente une forme de réalisation d'un second développement de l'invention, dans lequel le calcul s'effectue par itération.

L'exemple de réalisation décrit est un oscillateur qui doit délivrer à un mélangeur des paires de valeurs $\cos(2\pi k f_M / f_A)$, $\sin(2\pi k f_M / f_A)$, avec un débit binaire $T_A = 100$ MHz. La fréquence de mélange f_M doit être de $0 \leq f_M \leq 30$ MHz et la résolution en fréquence de 10 Hz.

La figure 1 représente le schéma synoptique de l'oscillateur selon l'invention. L'unité arithmétique est constituée par trois étages RWI à RWIII. Le nombre de lignes de bit est indiqué sur toutes les liaisons. Les valeurs soulignées correspondent à la seconde réalisation avec RWII₂, décrite ci-après. Un bloc de commande transmet à l'oscillateur la valeur f_M / f_A sous forme d'un nombre binaire $\sum_{i=2}^N \beta_i 2^{-i}$. Dans l'exemple de réalisation décrit, on doit avoir $N = 24$ pour couvrir la plage résultante de valeurs. Un circuit de calcul numérique constitué par un intégrateur à dépassement forme, à partir de la valeur f_M / f_A , la suite de valeurs $x(k) := ((k f_M / f_A) \text{ modulo } 1)$. $x(k)$ représente la partie non-entière de $k f_M / f_A$ et on a $0 \leq x(k) < 1$. A partir de $x(k)$, représentée par $\sum_{i=1}^m \alpha_i 2^{-i}$, avec $m = 21$ dans l'exemple de réalisation décrit, les étages RWI, RWII et RWIII calculent la suite de valeurs $\sin(2\pi x(k))$, $\cos(2\pi x(k))$ qui, par suite de la périodicité du sinus et du cosinus par rapport à 2π , correspond déjà au signal d'oscillateur souhaité. Les propriétés de symétrie du sinus et du cosinus sont utilisées et le calcul de $\sin(2\pi x(k))$, $\cos(2\pi x(k))$ est ramené à la valeur de $\sin(2\pi x(k))$ et $\cos(2\pi x(k))$ avec $0 \leq x(k) < 1/8$. La fonction affectée aux divers étages de l'unité arithmétique résulte de la formulation mathématique des relations, indiquée ci-dessous. L'algorithme de calcul de la paire de valeurs $\sin(2\pi x(k))$, $\cos(2\pi x(k))$ peut être décrit par

$$\vec{F}_{III}[(\vec{F}_{II}[f_I(x(k) \bmod 2^{-3}, \alpha_3)], \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)]$$

Des fonctions :

$$\begin{aligned} - \vec{F}_I(x(k) \bmod 2^{-3}, \alpha_3) &:: \begin{cases} (x(k) \bmod 2^{-3}) & \text{pour } \alpha_3 = 0 \\ (2^{-3} - x(k) \bmod 2^{-3}) & \text{pour } \alpha_3 = 1 \end{cases} \\ - \vec{F}_{II}(x(k)) &:: [\sin(2\pi \hat{x}(k)), \cos(2\pi \hat{x}(k))] \end{aligned}$$

$$- \hat{f}_{III}[\sin(2\pi\hat{x}(k)), \cos(2\pi\hat{x}(k)), \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3]$$

résulte la table de fonction indiquée à la figure 2. α_1 , α_2 , et α_3 correspondent aux trois premiers bits de la représentation binaire de $x(k) = \sum_{i=1}^{21} \alpha_i \cdot 2^{-i}$ et $x(k) \bmod 2^{-3}$ est identique à $\sum_{i=4}^{21} \alpha_i \cdot 2^{-i}$. Les

5 lignes de bit sont divisées en conséquence sur la figure 3 et α_1 à α_3 sont appliqués selon les fonctions indiquées aux entrées de commande des étages RWI à RWIII.

La figure 3 représente une réalisation simple du premier étage RWI, constitué par un multiplexeur MUX1 et un complémentateur (à 2).

10 En fonction de α_3 , le multiplexeur délivre la valeur $\hat{x} = x \bmod 2^{-3}$ ou son complément à 2.

La figure 4 représente une réalisation simple du troisième étage RWIII, qui est essentiellement constitué par deux multiplexeurs MUX2 et MUX3, ainsi que deux complémentateurs insérés chacun dans une entrée

15 de données des multiplexeurs. Selon la table de fonction de la figure 2, les valeurs de sortie $\sin(2\pi\hat{x})$ et $\cos(2\pi\hat{x})$ peuvent prendre les quatre valeurs $\pm \sin(2\pi\hat{x})$, $\pm \cos(2\pi\hat{x})$ en fonction de α_1 , α_2 , α_3 . Ces valeurs sont aussi appliquées aux entrées de données des deux multiplexeurs, à partir des valeurs $\sin(2\pi\hat{x})$ et $\cos(2\pi\hat{x})$ délivrées

20 par le second étage RWII.

Dans l'exemple de réalisation décrit, la solution par tables pour le calcul de $\sin(2\pi\hat{x})$ et $\cos(2\pi\hat{x})$, qui à première vue semble s'imposer pour le second étage RWII, ne convient pas, car elle exigerait une capacité mémoire de $2^{10} k$ bits. Deux développements avantageux de l'invention permettent une réalisation du second étage

25 avec un appareillage total minimal.

La figure 5 représente une première forme de réalisation du premier développement avantageux de l'invention. Elle est basée sur un développement en série de sinus et de cosinus :

$$\begin{aligned} \sin(2\pi\hat{x}) &= \sin(2\pi(\hat{x}-h+h)) \sim \sin(2\pi(\hat{x}-h)) + \cos(2\pi(\hat{x}-h)) \cdot 2\pi h \\ \cos(2\pi\hat{x}) &= \cos(2\pi(\hat{x}-h+h)) \sim \cos(2\pi(\hat{x}-h)) - \sin(2\pi(\hat{x}-h)) \cdot 2\pi h. \end{aligned}$$

30

L'erreur est alors inférieure ou égale à $\frac{(2\pi h)^2}{2}$ et peut être maintenue à une valeur suffisamment faible par une division appropriée de x en $(x-h)$ et h . Les valeurs $\sin(2\pi(\hat{x}-h))$

et $\cos(2\pi(\hat{x}-h))$ sont déterminées à l'aide de deux tables, ROM sinus et ROM cosinus. $\hat{x}-h$ ayant une représentation binaire notablement plus courte que celle de $\hat{x}$, on obtient ainsi des tables de ROM raisonnables. Outre ces tables, le calcul exige trois multiplications, une complémentation et deux additions. h est multipliée par 2π dans le multiplicateur M1; le produit de $2\pi h$ et des valeurs de sortie des ROM est formé dans M2 ou M3. Les additionneurs ADD1 et ADD2 réunissent enfin les valeurs selon le développement en série précité. Le "R" dans les multiplicateurs indique que les valeurs de sortie sont arrondies. La division de

$$\hat{x} = \sum_{i=4}^{21} \hat{\alpha}_i 2^{-i} \text{ en } \hat{x}-h = \sum_{i=4}^{11} \hat{\alpha}_i 2^{-i} \text{ et } h = \sum_{i=12}^{21} \hat{\alpha}_i 2^{-i}$$

indiquée sur la figure 5 est optimale pour un appareillage total minimal.

La figure 6 représente une forme de réalisation du second développement avantageux de l'invention. Elle repose sur le calcul de $\sin(2\pi\hat{x})$ et $\cos(2\pi\hat{x})$ selon un procédé itératif pour la conversion de coordonnées polaires (r, φ) en coordonnées cartésiennes (x, y) . Dans ce procédé, le vecteur $z_n = x_n + jy_n$ se rapproche pas à pas de $z = x + jy = r \cos \varphi + jr \sin \varphi$. Avec une origine $x_0 = r$ et $y_0 = 0$, le vecteur $z_{n-1} = x_{n-1} + jy_{n-1}$ tourne de l'angle $\gamma_n = \pm \text{Arc tg } 2^{-n}$ vers z lors du $n^{\text{ème}}$ pas d'itération. Le sens de rotation dépend à chaque fois de la valeur positive ou négative que présente l'angle différentiel $|\Delta\varphi_n| = \varphi - \sum_{m=1}^{n-1} \gamma_m$ atteint entre z_n et z . Le procédé converge car $|\Delta\varphi_n| \leq \text{Arc tg } 2^{-n}$ tend vers 0. Avec les valeurs initiales $r = 1$ et $\varphi = 2\pi\hat{x}$, on obtient une approximation de $\cos(2\pi\hat{x})$ et $\sin(2\pi\hat{x})$. Le $n^{\text{ème}}$ pas d'itération peut se représenter mathématiquement comme suit :

$$\begin{aligned} x_n + jy_n &= (x_{n-1} + jy_{n-1}) \cdot e^{j\gamma_n} \\ &= \cos \gamma_n [(x_{n-1} - \text{sign}(\gamma_n) \cdot \text{tg } |\gamma_n| \cdot y_{n-1}) \\ &\quad + j(y_{n-1} + \text{sign}(\gamma_n) \cdot \text{tg } |\gamma_n| \cdot x_{n-1})] \end{aligned}$$

avec $\text{sign}(\gamma_n) = \text{sign}(2\pi\hat{x} - \sum_{m=1}^{n-1} \gamma_m) = \text{sign}(\hat{x} - \sum_{m=1}^{n-1} \gamma_m / 2\pi)$.

Par suite de $\text{tg}|\gamma_n| = 2^{-n}$, le calcul de x_n et y_n n'exige aucune multiplication véritable, mais uniquement des opérations de décalage. Ces dernières peuvent être effectuées par un câblage approprié, car le nombre de rangs est fixé dès le départ. Le premier pas d'itération tient déjà compte des multiplications par $\cos \gamma_n$. Une opération de décalage suffit également pour ce faire avec une erreur admissible. Selon la relation indiquée, le calcul de x_n , y_n et $\text{sign}(\gamma_n)$ exige à chaque fois une addition ou une soustraction.

17 pas d'itération au total sont prévus dans l'exemple de réalisation décrit, afin de maintenir l'erreur d'itération à une valeur suffisamment faible.

Dans la réalisation selon figure 6, les cinq premiers pas d'itération sont remplacés par des tables SIN-ROM et COS-ROM. Pour ce faire, $\tilde{x}$ est divisée en $\tilde{x}-h = \sum_{i=4}^8 \alpha_i 2^{-i}$ et $h = \sum_{i=9}^{23} \alpha_i 2^{-i}$. $\tilde{x}-h$ constitue l'adresse de la table sinus/cosinus. L'itération commence ainsi par $x_5 = k \cdot \cos(2\pi(\tilde{x}-h))$ et $y_5 = k \cdot \sin(2\pi(\tilde{x}-h))$, avec :

$$k = \prod_{m=6}^{17} \cos \gamma_m = \prod_{m=6}^{17} \cos(\text{Arc tg}(2^{-m}))$$

Ces valeurs sont combinées dans les additionneurs (+) des étages suivants, selon la formule d'itération précédemment indiquée. Les opérations de décalage correspondant à la multiplication par $\text{tg} \gamma_n$ sont indiquées par des cercles sur la figure 6. $\text{sign}(\gamma_n)$, désigné par VZ sur la figure, est pris en considération avant les opérations de décalage. Sur la partie droite de la figure 6, la valeur $\gamma_m/2\pi$ est additionnée à h à chaque fois; la valeur $+\frac{\text{Arc tg } 2^{-m}}{2\pi}$ ou $-\frac{\text{Arc tg } 2^{-m}}{2\pi}$ est additionnée selon le signe VZ de la somme, obtenu dans l'étage précédent.

Bien entendu, diverses modifications peuvent être apportées par l'homme de l'art au principe et aux dispositifs qui viennent d'être décrits uniquement à titre d'exemples non limitatifs, sans sortir du cadre de l'invention.

Revendications

1. Oscillateur numérique délivrant des signaux complexes de la forme $\cos(2\pi k f_M/f_A) + (j) \sin(2\pi k f_M/f_A)$, avec la fréquence d'horloge f_A et la fréquence d'oscillateur f_M , un intégrateur à dépassement formant, à partir de l'information de fréquence f_M/f_A appliquée sous forme d'un nombre binaire, la suite de signaux

$$x(k) = (k f_M/f_A) \bmod 1$$

représentée en binaire par $\sum_{i=1}^M \alpha_i 2^{-i}$, qui est convertie

- par une unité arithmétique, et à l'aide de tables mémorisées de sinus et de cosinus, en suites de signaux
- $$\cos(2\pi k f_M/f_A) = \cos[(2\pi k f_M/f_A) \bmod 2\pi] = \cos[2\pi((k f_M/f_A) \bmod 1)]$$
- et
- $$\sin(2\pi k f_M/f_A) = \sin[(2\pi k f_M/f_A) \bmod 2\pi] = \sin[2\pi((k f_M/f_A) \bmod 1)]$$
- ledit oscillateur étant caractérisé en ce que l'unité arithmétique

- est constituée par trois étages (RWI, RWII_{1/2}, RWIII),
- dont le premier étage (RWI) forme, en fonction de la valeur du bit α_3 appliquée à une de ses entrées de commande, la valeur de sortie $\tilde{x}(k)$ selon la règle suivante :

$$\tilde{x}(k) = f_I(x(k) \bmod 2^{-3}, \alpha_3) = \begin{cases} (x(k) \bmod 2^{-3}) & \text{pour } \alpha_3 = 0 \\ (2^{-3} - x(k) \bmod 2^{-3}) & \text{pour } \alpha_3 = 1; \end{cases}$$

- dont le deuxième étage (RWII_{1/2}) forme, à partir de la valeur $\tilde{x}(k)$, une paire de valeurs sinus/cosinus selon la fonction

$$\vec{f}_{II}(\tilde{x}(k)) = [\sin(2\pi \tilde{x}(k)), \cos(2\pi \tilde{x}(k))]$$

- et dont le troisième étage (RWIII) forme, à partir de la paire de valeurs $[\sin(2\pi \tilde{x}(k)), \cos(2\pi \tilde{x}(k))]$ et en fonction des bits $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ appliqués à ces entrées de commande, une paire de valeurs $[\sin(2\pi \hat{x}(k)), \cos(2\pi \hat{x}(k))]$ selon la table de fonction suivante :

Entrées de commande			Sortie 1	Sortie 2
1	2	3	$\sin(2\pi\hat{x})$	$\cos(2\pi\hat{x})$
0	0	0	$\sin(2\pi\hat{x})$	$\cos(2\pi\hat{x})$
0	0	1	$\cos(2\pi\hat{x})$	$\sin(2\pi\hat{x})$
0	1	0	$\cos(2\pi\hat{x})$	$-\sin(2\pi\hat{x})$
0	1	1	$\sin(2\pi\hat{x})$	$-\cos(2\pi\hat{x})$
1	0	0	$-\sin(2\pi\hat{x})$	$-\cos(2\pi\hat{x})$
1	0	1	$-\cos(2\pi\hat{x})$	$-\sin(2\pi\hat{x})$
1	1	0	$-\cos(2\pi\hat{x})$	$\sin(2\pi\hat{x})$
1	1	1	$-\sin(2\pi\hat{x})$	$\cos(2\pi\hat{x})$

2. Oscillateur numérique selon revendication 1, caractérisé en ce que le premier étage (RWI) de l'unité arithmétique est constitué par un multiplexeur (MUX1) à deux entrées de données, une sortie de données et une entrée de commande; et les bits α_4 à α_M de la représentation binaire $x(k) = \sum_{i=1}^M \alpha_i 2^{-i}$ sont appliqués directement à une entrée de données et par l'intermédiaire d'un complémenteur (à 2) à l'autre entrée de données.
3. Oscillateur numérique selon revendication 1, caractérisé en ce que le troisième étage (RWIII) de l'unité arithmétique est constitué par deux multiplexeurs (MUX2, MUX3) comportant chacun quatre entrées de données, une sortie de données et trois entrées de commande; et les valeurs $\sin(2\pi\hat{x})$ et $\cos(2\pi\hat{x})$ délivrées par le second étage (RWII) sont appliqués directement d'une part, et par des complémenteurs (à 2) d'autre part aux entrées de données des deux multiplexeurs (MUX2, MUX3).
4. Oscillateur numérique selon revendication 1, caractérisé en ce que la valeur $\hat{x}(k)$ est divisée, en amont du deuxième étage (RWII₁) de l'unité arithmétique, en une valeur $(\hat{x}-h)$ et une valeur h ; seules les valeurs sinus et cosinus de $(\hat{x}-h)$ sont mémorisées dans des tables; et le second étage (RWII₁) calcule la paire de valeurs $[\sin(2\pi\hat{x}(k)), \cos(2\pi\hat{x}(k))]$ selon la règle suivante :
- $$\begin{aligned} \sin(2\pi\hat{x}) &\hat{=} \sin(2\pi(\hat{x}-h)) + \cos(2\pi(\hat{x}-h)).2\pi h \\ \cos(2\pi\hat{x}) &\hat{=} \cos(2\pi(\hat{x}-h)) - \sin(2\pi(\hat{x}-h)).2\pi h. \end{aligned}$$

5. Oscillateur numérique selon revendication 4, caractérisé par la constitution suivante :

- la valeur $(\tilde{x}-h)$ est appliquée d'une part à une table de sinus (ROM sinus) et d'autre part à une table de cosinus (ROM cosinus) sous forme d'adresse, lesdites tables délivrant les valeurs $\sin(2\pi(\tilde{x}-h))$ ou $\cos(2\pi(\tilde{x}-h))$;
- la valeur h est appliquée à un premier multiplicateur M1 pour multiplication par 2 ; le résultat est appliqué à un deuxième et un troisième multiplicateur (M2, M3) pour multiplication par la valeur $(\sin(2\pi(\tilde{x}-h))$ ou $\cos(2\pi(\tilde{x}-h))$;
- la valeur de sortie du troisième multiplicateur (M3) et la valeur $\sin(2\pi(\tilde{x}-h))$ sont ensuite appliquées à un premier additionneur (ADD1 pour addition;
- la valeur de sortie du deuxième multiplicateur M2, après complémentation (à 2), et la valeur $\cos(2\pi(\tilde{x}-h))$ ensuite appliquées à un second additionneur (ADD2) pour addition.

6. Oscillateur numérique selon revendication 1, caractérisé en ce que dans le second étage (RWII₂) de l'unité arithmétique, le calcul de la paire de valeurs $[\sin(2\pi\tilde{x}), \cos(2\pi\tilde{x})]$ s'effectue selon un procédé itératif pour la conversion de coordonnées polaires (r, φ) , en coordonnées cartésiennes $x = r \cos \varphi$, $y = r \sin \varphi$, avec $r = 1$ et $\varphi = 2\pi\tilde{x}$.

7. Oscillateur numérique selon revendication 6, caractérisé en ce que, à partir de l'origine $x_0 = 1$ et $y_0 = 0$, le vecteur $z_{n-1} = x_{n-1} + j y_{n-1}$ tourne de l'angle $\gamma_n = \pm \text{Arc tg } 2^{-n}$ vers le vecteur $z = \cos(2\pi\tilde{x}) + j \sin(2\pi\tilde{x})$ au cours du $n^{\text{ème}}$ pas d'itération, le sens de rotation étant fonction du signe de l'angle différentiel $\Delta\phi_n = 2\pi\tilde{x} - \sum_{m=1}^{n-1} \gamma_m$.

8. Oscillateur numérique selon revendication 7, caractérisé en ce que la valeur $\tilde{x}(k)$ est divisée en deux valeurs $(\tilde{x}-h)$ et h à l'entrée du second étage (RWII₂); et l'itération s'effectue à partir de $x_5 = \cos(2\pi(\tilde{x}-h))$ et $y_5 = \sin(2\pi(\tilde{x}-h))$, les valeurs de sinus et cosinus de $(\tilde{x}-h)$ étant mémorisées dans des tables (SIN-ROM, COS-ROM).

FIG.1

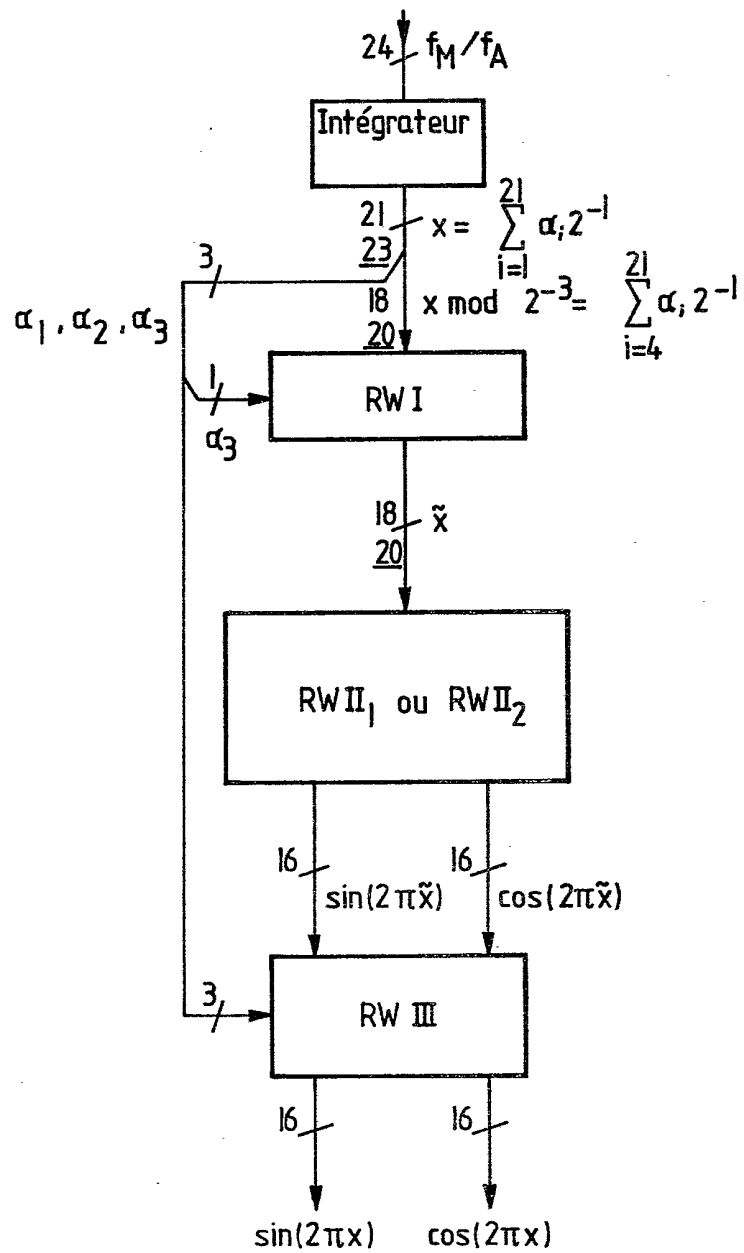


FIG. 2

2 Entrées:

$\sin(2\pi\tilde{x})$ ET $\cos(2\pi\tilde{x})$

Entrées de commande			Sortie 1	Sortie 2
α_1	α_2	α_3	$\sin(2\pi x)$	$\cos(2\pi x)$
0	0	0	$\sin(2\pi\tilde{x})$	$\cos(2\pi\tilde{x})$
0	0	1	$\cos(2\pi\tilde{x})$	$\sin(2\pi\tilde{x})$
0	1	0	$\cos(2\pi\tilde{x})$	$-\sin(2\pi\tilde{x})$
0	1	1	$\sin(2\pi\tilde{x})$	$-\cos(2\pi\tilde{x})$
1	0	0	$-\sin(2\pi\tilde{x})$	$-\cos(2\pi\tilde{x})$
1	0	1	$-\cos(2\pi\tilde{x})$	$-\sin(2\pi\tilde{x})$
1	1	0	$-\cos(2\pi\tilde{x})$	$\sin(2\pi\tilde{x})$
1	1	1	$-\sin(2\pi\tilde{x})$	$\cos(2\pi\tilde{x})$

FIG.3

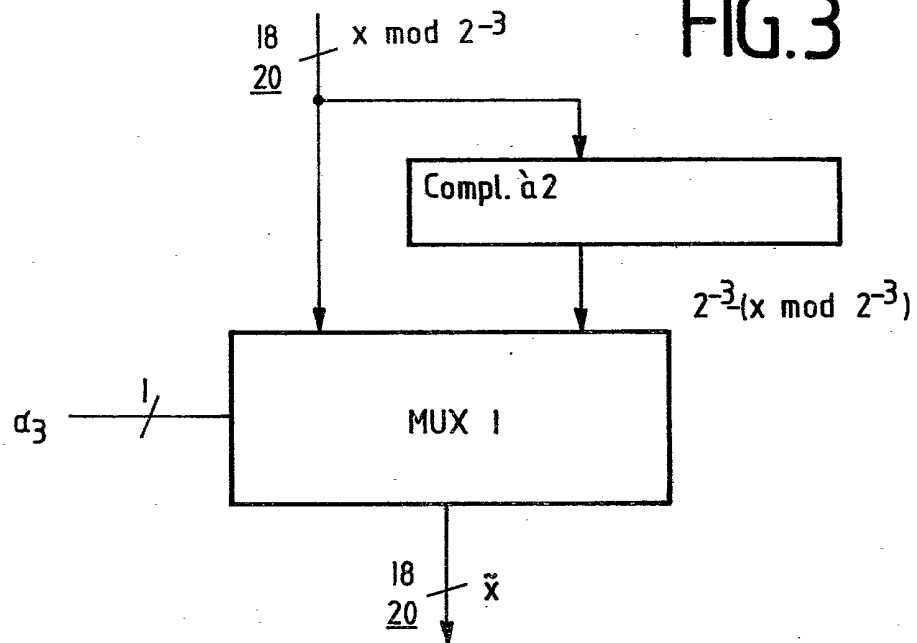


FIG.4

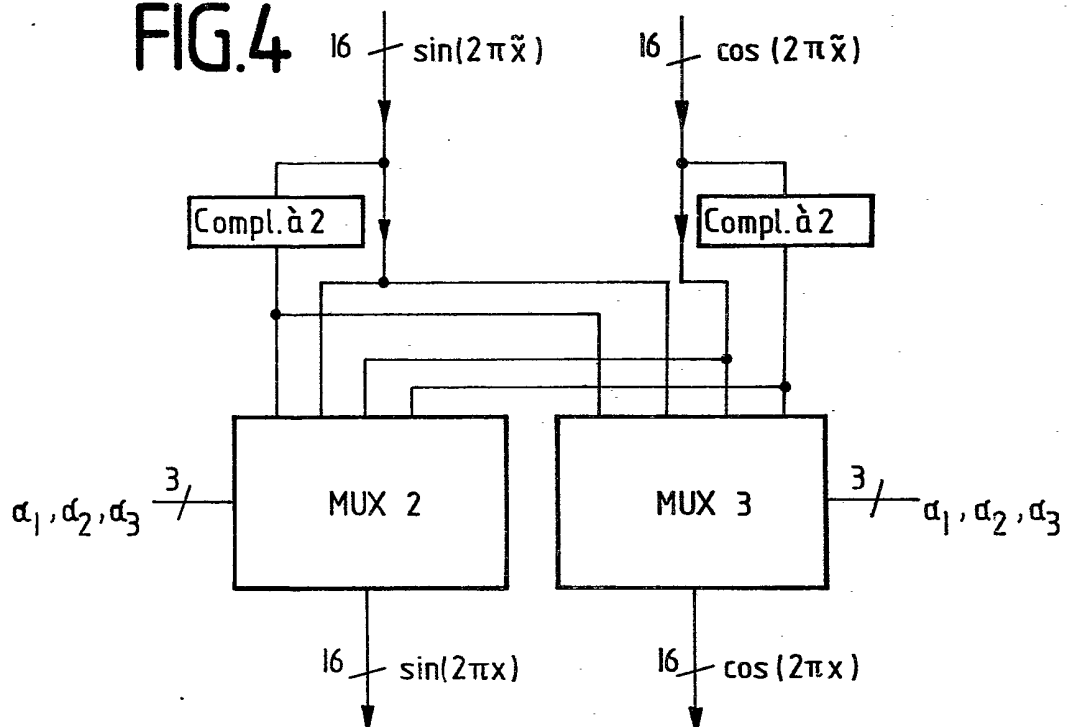


FIG. 5

