

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
28 juin 2018 (28.06.2018)



(10) Numéro de publication internationale
WO 2018/115139 A2

(51) Classification internationale des brevets :
H03M 1/66 (2006.01) *H04L 27/26* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2017/083851

(22) Date de dépôt international :
20 décembre 2017 (20.12.2017)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1663081 21 décembre 2016 (21.12.2016) FR

(71) Déposants : UNIVERSITÉ DE BORDEAUX [FR/FR] ;
35 Place Pey Berland, 33000 BORDEAUX (FR). INSTI-
TUT POLYTECHNIQUE DE BORDEAUX [FR/FR] ; 1,
avenue du Docteur Albert Schweitzer, 33400 TALENCE

(FR). CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE [FR/FR] ; 3, rue Michel Ange, 75016
PARIS (FR).

(72) Inventeurs : VEYRAC, Yoan ; 5 bis, Avenue de Candau,
33600 PESSAC (FR). RIVET, François ; 33 rue du colo-
nel Moll, 33400 TALENCE (FR). DEVAL, Yann ; 44, rue
Pauline Kergomard, 33800 BORDEAUX (FR).

(74) Mandataire : BLOT, Philippe et al. ; LAVOIX, 2, place
d'Estienne d'Orves, 75441 PARIS CEDEX 09 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA,
CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR,
KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,

(54) Title: DEVICE FOR GENERATING A MODULATED DIGITAL SIGNAL AND SYSTEM FOR GENERATING A MODU-
LATED ANALOG SIGNAL

(54) Titre : DISPOSITIF DE GÉNÉRATION D'UN SIGNAL NUMÉRIQUE MODULÉ ET SYSTÈME DE GÉNÉRATION D'UN
SIGNAL ANALOGIQUE MODULÉ

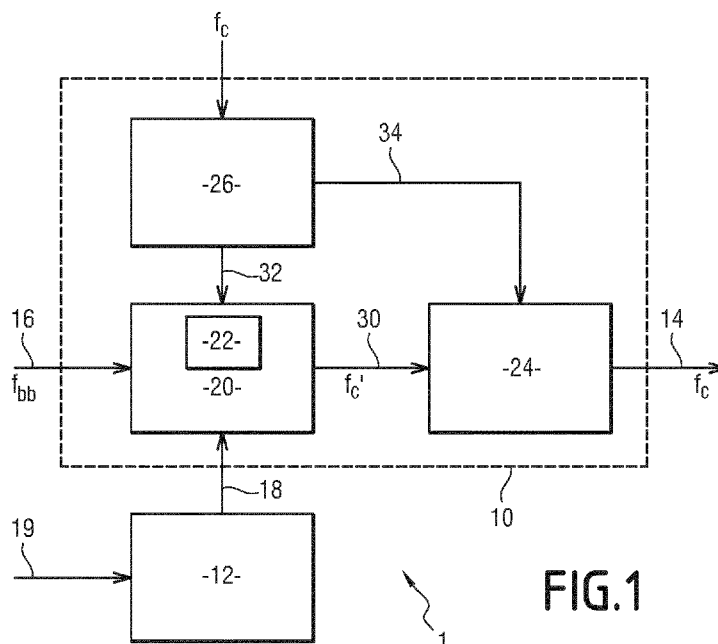


FIG.1

(57) Abstract: The invention relates to a device (1) for generating a digital signal representative of a programmed carrier frequency f_c modulated by a baseband digital signal comprising a sequence of input symbols. The device (1) comprises a modulation unit (10) configured to receive the baseband digital signal and to output the modulated digital signal, on the basis of the baseband digital signal. The modulation unit (10) comprises a lookup module (20) comprising a pre-stored lookup table (24) associated with a stored carrier frequency f_c' . Based on the lookup table (22), the lookup module (20) is configured to associate, with each input symbol, a sequence of k_p periods of a modulated signal representative of a carrier wave at the recorded carrier frequency f_c' modulated according to the input symbol.

MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,
PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2(g))*

(57) Abrégé : Un dispositif (1) de génération d'un signal numérique représentatif d'une fréquence porteuse programmée f_c modulée par un signal numérique en bande de base comprenant une séquence de symboles d'entrée. Le dispositif (1) comprend une unité de modulation (10) configurée pour recevoir le signal numérique en bande de base et pour générer en sortie, à partir du signal numérique en bande de base, ledit signal numérique modulé. L'unité de modulation (10) comporte un module de correspondance (20) comprenant une table de correspondance (24) préenregistrée associée à une fréquence porteuse enregistrée f_c' . Le module de correspondance (20) est configuré pour associer, à chaque symbole d'entrée, à partir de la table de correspondance (22), une séquence de k_p périodes d'un signal modulé représentatif d'une onde porteuse à la fréquence porteuse enregistrée f_c' modulée en fonction du symbole d'entrée.

Dispositif de génération d'un signal numérique modulé et système de génération d'un signal analogique modulé

La présente invention concerne un dispositif de génération d'un signal numérique représentatif d'une fréquence porteuse programmable, modulée par un signal numérique en bande de base. Le signal numérique en bande de base comprend une séquence de symboles d'entrée.

La présente invention s'applique en particulier à la génération de signaux radiofréquences.

Une application particulière du dispositif selon l'invention concerne la génération d'un signal numérique modulé dans le cadre de l'internet des objets.

Pour générer un signal analogique modulé à partir d'un signal numérique en base de base, il est connu de convertir un signal numérique en bande de base dans le domaine analogique, puis de monter le signal analogique en bande de base en radiofréquence à l'aide d'un signal d'une onde porteuse, et de l'amplifier au moyen d'un amplificateur.

Une telle solution ne donne pas entière satisfaction. Notamment, comme la montée en fréquence est effectuée dans le domaine analogique, le signal analogique étant mélangé avec un autre signal analogique, les non-linéarités de l'amplificateur ne peuvent pas être compensées en analogique.

On connaît par ailleurs des générateurs de signaux numériques modulés qui implémentent une synthèse numérique directe (du terme anglais « Direct Digital Synthesis »). Dans ces générateurs, la montée en fréquence est effectuée dans le domaine numérique. Cependant, ces générateurs de signaux numériques sont limités à certaines fréquences qui dépendent de l'horloge de ce générateur. Notamment, la gamme de fréquences porteuses qu'il est possible de générer est limitée, car la montée en fréquence à partir du signal en bande de base met en œuvre une fréquence multiple d'une fréquence de travail. En outre, ils sont sujets à la génération de raies spectrales parasites.

Il existe donc un besoin pour un générateur d'un signal numérique modulé permettant un choix plus flexible en fréquence porteuse et présentant une suppression des raies spectrales parasites.

A cet effet, l'invention a pour objet un dispositif de génération d'un signal numérique représentatif d'une fréquence porteuse programmée f_c modulée par un signal numérique en bande de base, ledit signal numérique en bande de base comprenant une séquence de symboles d'entrée,

ledit dispositif de génération comprenant une unité de modulation configurée pour recevoir en entrée le signal numérique en bande de base et pour générer en sortie, à partir du signal numérique en bande de base, ledit signal numérique modulé,

l'unité de modulation comportant un module de correspondance comprenant une table de correspondance préenregistrée associée à une fréquence porteuse enregistrée f_c' ,

ledit module de correspondance étant configuré pour associer, à chaque symbole d'entrée, à partir de la table de correspondance, une séquence de k_p périodes d'un signal modulé représentatif d'une onde porteuse à la fréquence porteuse enregistrée f_c' modulée en fonction dudit symbole d'entrée, la ou chaque période du signal modulé associée au symbole d'entrée comprenant un ensemble d'un nombre prédéfini n_m de symboles de sortie, le signal modulé étant échantillonné à une fréquence d'échantillonnage de sortie f_s , k_p étant supérieur ou égal à 1,

et pour générer, pour chaque symbole d'entrée, un signal numérique de sortie associé audit symbole d'entrée, comprenant ladite séquence de k_p périodes du signal modulé associé au symbole d'entrée, k_p étant supérieur ou égal à 1.

Un tel dispositif de génération d'un signal numérique permet d'adresser plusieurs bandes de fréquences de manière configurable. Il permet également d'adresser de nombreux types de signaux modulés, correspondant à différents standards. En outre, la consommation d'énergie est réduite.

Suivant des modes de réalisation particuliers, le dispositif de génération d'un signal numérique comprend une ou plusieurs caractéristiques suivantes, prises isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- le signal numérique en bande de base étant échantillonné à une fréquence d'échantillonnage f_{bb} correspondant à une période d'échantillonnage T_{bb} , le nombre k_p de périodes du signal modulé est égal à la partie entière du rapport entre la fréquence porteuse enregistrée f_c' et la fréquence d'échantillonnage f_{bb} ;

- ladite fréquence porteuse enregistrée f_c' est égale à ladite fréquence porteuse programmée f_c ;

- l'unité de modulation comporte en outre un altérateur pseudo-aléatoire de séquences, configuré pour, lorsque la fréquence porteuse enregistrée f_c' diffère de la fréquence porteuse programmée f_c et/ou lorsque la fréquence d'échantillonnage f_{bb} n'est pas un multiple de la fréquence porteuse enregistrée f_c' , altérer le signal numérique de sortie de manière à former un signal numérique de sortie altéré ayant une durée moyenne égale à la période d'échantillonnage T_{bb} et/ou ayant une fréquence moyenne égale à ladite fréquence porteuse programmée f_c ;

- l'altérateur pseudo-aléatoire de séquences est configuré pour, lorsque la fréquence porteuse enregistrée f_c' diffère de la fréquence porteuse programmée f_c , altérer le signal numérique de sortie en supprimant de manière pseudo-aléatoire au moins un symbole d'au moins une période du signal numérique de sortie ou en ajoutant à au moins une période du signal numérique de sortie, de manière pseudo-aléatoire, au moins un symbole additionnel à ladite fréquence d'échantillonnage de sortie f_s , de telle sorte que la durée moyenne de la période du signal de sortie altéré soit égale à $1/f_c$;

- l'altérateur pseudo-aléatoire de séquences est configuré pour, lorsque la fréquence d'échantillonnage f_{bb} n'est pas un multiple de la fréquence porteuse enregistrée f_c' , altérer ledit signal de sortie en ajoutant audit signal de sortie une séquence d'un nombre pseudo-aléatoire n_{add} de symboles additionnels à ladite fréquence d'échantillonnage de sortie f_s , de telle sorte que le nombre n de symboles du signal de sortie altéré soit tel que, en moyenne, $n/f_s = T_{bb}$;

- un module d'encodage de séquences, configuré pour générer, en réponse à une modification de la fréquence porteuse programmée, une table de correspondance modifiée associée à la fréquence porteuse programmée modifiée ;

- une interface de sérialisation, configurée pour recevoir en entrée, pour chaque symbole d'entrée, ledit signal numérique de sortie associé audit symbole et pour produire en sortie ledit signal numérique modulé à la fréquence porteuse programmée f_c ;

- la période du signal modulé associé au symbole d'entrée par le module de correspondance est une période de l'onde porteuse à la fréquence porteuse enregistrée f_c' modulée en fonction dudit symbole d'entrée, ladite période de l'onde porteuse modulée étant représentative d'une valeur du symbole d'entrée ; et

- la période du signal modulé associé au symbole d'entrée par le module de correspondance, correspondant à un instant donné du signal d'entrée, est une période d'une dérivée discrète de l'onde porteuse modulée par le signal numérique en bande de base à cet instant.

L'invention concerne par ailleurs un système de génération d'un signal analogique modulé à une fréquence porteuse programmée f_c à partir d'un signal numérique en bande de base, ledit système comprenant :

- un dispositif de génération d'un signal numérique modulé à la fréquence porteuse programmée f_c à partir du signal numérique en bande de bas tel que décrit ci-dessus, et

- un convertisseur numérique analogique, configuré pour générer le signal analogique modulé à partir du signal numérique modulé.

Selon un mode de réalisation du système de génération, la période du signal modulé associé au symbole d'entrée par le module de correspondance du dispositif de génération d'un signal numérique modulé, correspondant à un instant donné du signal d'entrée, est une période d'une dérivée discrète de l'onde porteuse modulée par le signal numérique en bande de base à cet instant, et le convertisseur numérique analogique est un convertisseur numérique analogique intégrateur.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui suit de modes de réalisation de l'invention, donnée à titre d'exemple uniquement, et en référence aux dessins parmi lesquels :

- la figure 1 est une représentation schématique d'un dispositif de génération d'un signal numérique modulé selon un mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 2 est une représentation schématique d'une implémentation du dispositif de génération dans un système de génération d'un signal analogique modulé selon un mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 3 est un schéma de fonctionnement illustrant une première fonction mise en œuvre par un altérateur pseudo-aléatoire de séquences du dispositif de génération de la figure 1 ;
- la figure 4 est un schéma de fonctionnement illustrant une deuxième fonction mise en œuvre par l'altérateur pseudo-aléatoire de séquences.

La figure 1 représente un dispositif de génération 1 d'un signal numérique modulé selon un mode de réalisation de l'invention.

Le dispositif de génération 1 comporte une unité de modulation 10 et un module d'encodage de séquences 12.

L'unité de modulation 10 est configurée pour recevoir en entrée 16 un signal numérique en bande de base, et pour générer à sa sortie 14, à partir de ce signal numérique en bande de base, un signal numérique modulé avec une fréquence de porteuse programmée f_c .

Le signal numérique en bande de base est un signal échantillonné selon une fréquence d'échantillonnage f_{bb} , correspondant à une période d'échantillonnage $T_{bb}=1/f_{bb}$. Le signal numérique en bande de base comprend ainsi une séquence de symboles d'entrée. Chaque symbole d'entrée est encodé sur un nombre N de bits prédéfini.

De préférence, le signal numérique en bande de base est un signal suréchantillonné. Ainsi, la fréquence d'échantillonnage f_{bb} est supérieure à la fréquence de Nyquist $f_{Nyquist}$.

L'unité de modulation 10 comporte un module de correspondance 20 comprenant une table de correspondance 22.

L'unité de modulation 10 comporte en outre une interface de sérialisation 24 et un altérateur pseudo-aléatoire de séquences 26.

5 La table de correspondance 22 est une table de correspondance préenregistrée, associée à une fréquence porteuse enregistrée $f_{c'}$. La fréquence porteuse enregistrée $f_{c'}$ est par exemple égale à la fréquence porteuse programmée f_c , ou différente de la fréquence porteuse programmée f_c , comme décrit ci-après.

10 La fréquence porteuse enregistrée est par exemple comprise entre 100 MHz et 3 GHz.

La table de correspondance 22 est par exemple stockée dans une mémoire du module de correspondance 20.

15 La table de correspondance 22 comporte, pour chaque symbole d'entrée, une ou plusieurs périodes k_p d'un signal modulé représentatif d'une onde porteuse à la fréquence enregistrée $f_{c'}$ modulée en fonction du symbole d'entrée.

En utilisant la table de correspondance 22, le module de correspondance 20 est apte à associer, à chaque symbole du signal numérique en bande de base en entrée 16, une ou plusieurs périodes k_p d'un signal modulé représentatif d'une onde porteuse modulée en sortie 30.

20 De préférence, le module de correspondance 20 est configuré pour associer à chaque symbole S_k du signal numérique en bande de base une période d'un signal modulé en actualisant la période du signal modulé associée au symbole précédent S_{k-1} .

25 Dans un premier mode de réalisation, la période du signal modulé est une période de l'onde porteuse à la fréquence enregistrée $f_{c'}$ modulée en fonction du symbole d'entrée, et la période de l'onde porteuse modulée est représentative de la valeur du symbole d'entrée.

Ainsi, dans ce premier mode de réalisation, le module de correspondance 20 est configuré pour associer, à chaque symbole en bande de base, une période d'une onde porteuse modulée en fonction de la valeur du symbole d'entrée (codée sur N bits).

30 Dans un deuxième mode de réalisation, la période du signal modulé est une dérivé discrète de l'onde porteuse à la fréquence enregistrée $f_{c'}$ modulée en fonction du symbole d'entrée. Le module de correspondance 20 est ainsi configuré pour associer, à chaque symbole en bande de base, la dérivée discrète d'une période de l'onde porteuse après modulation en fonction de la valeur du symbole d'entrée.

Dans un autre mode de réalisation, le module de correspondance 20 associe la dérivée seconde discrète d'une période de l'onde porteuse modulée en fonction de la valeur du symbole d'entrée.

Le signal modulé est un signal numérique. En particulier, chaque période du signal modulé est échantillonnée à une fréquence d'échantillonnage de sortie f_s . Chaque période du signal modulé comporte un ensemble d'un nombre donné n_m de symboles de sortie. Chaque symbole de sortie est codé sur un nombre M de bits, par exemple strictement inférieur au nombre N de bits sur lequel est codé le signal numérique en bande de base.

Par exemple, le nombre N de bits est égal à 10, et le nombre M de bits est égal à 6.

Le module de correspondance 20 est configuré pour générer en sortie 30, pour chaque symbole d'entrée, un signal numérique de sortie associé au symbole d'entrée. Le signal numérique de sortie comprend une séquence de k_p périodes du signal modulé représentatif de l'onde porteuse modulée à la fréquence enregistrée f_c' , associée au symbole d'entrée, k_p étant supérieur ou égal à 1.

Le nombre k_p de périodes est par exemple égal à la partie entière du rapport entre la fréquence porteuse enregistrée f_c' et la fréquence d'échantillonnage f_{bb} , exprimée par :

$$k_p = E\left(\frac{f_c'}{f_{bb}}\right),$$

où E désigne la fonction partie entière.

De préférence, la fréquence d'échantillonnage f_{bb} étant fixée, la fréquence d'échantillonnage f_s est choisie de telle sorte que le rapport R entre la fréquence d'échantillonnage f_s et la fréquence d'échantillonnage f_{bb} soit égal à un nombre hautement divisible, notamment un nombre comprenant au moins 3, ou mieux au moins 4, diviseurs. Par exemple, la fréquence d'échantillonnage f_s est choisie de telle sorte que le rapport R entre la fréquence d'échantillonnage f_s et la fréquence d'échantillonnage f_{bb} soit égal à 12, 16, 20, 24 ou 60.

Le choix d'une telle fréquence d'échantillonnage de sortie permet de maximiser le nombre de fréquences porteuses possibles telles que le rapport $\frac{f_c'}{f_{bb}} = \frac{R}{n_m}$ soit un nombre entier, ou du moins de minimiser l'écart entre k_p et le rapport $\frac{f_c'}{f_{bb}}$.

L'interface de sérialisation 24 est reliée à son entrée 30 au module de correspondance 20. L'interface de sérialisation 24 est propre à recevoir, du module de

correspondance 20, pour chaque symbole d'entrée, le signal numérique de sortie associé au symbole d'entrée.

L'interface de sérialisation 24 est en outre configurée pour générer, à partir d'un ensemble de signaux numériques de sortie reçus du module de correspondance 20 et associés à une séquence de symboles d'entrée, un signal numérique modulé à la fréquence porteuse programmée f_c , représentatif de cette séquence de symboles d'entrée.

Dans certains cas, notamment lorsque la fréquence enregistrée f_c' diffère de la fréquence programmée f_c et/ou lorsque la fréquence enregistrée f_c' n'est pas un multiple de la fréquence d'échantillonnage f_{bb} , la fréquence du signal numérique de sortie diffère de la fréquence programmée f_c , qui est celle souhaitée, et/ou la durée du signal numérique de sortie associé à chaque symbole d'entrée diffère de la période d'échantillonnage T_{bb} , i.e. de l'intervalle de temps entre deux symboles d'entrée.

L'altérateur pseudo-aléatoire de séquences 26 est alors configuré pour altérer le signal numérique de sortie de manière à former en sortie de l'interface de sérialisation 24 un signal numérique de sortie altéré ayant une durée égale à la période d'échantillonnage T_{bb} et ayant une fréquence porteuse égale à ladite fréquence porteuse programmée f_c .

En particulier, l'altérateur pseudo-aléatoire 26 est propre à altérer le signal numérique de sortie en fonction d'une comparaison de la fréquence porteuse programmée f_c avec la fréquence d'échantillonnage f_{bb} . En outre, l'altérateur pseudo-aléatoire 26 est propre à altérer le signal numérique de sortie en fonction d'une comparaison de la fréquence porteuse programmée f_c avec la fréquence porteuse enregistrée f_c' par une sortie 34 de l'altérateur pseudo-aléatoire à l'interface de sérialisation 24.

Notamment, l'altérateur pseudo-aléatoire 26 est configuré pour, lorsque la fréquence porteuse enregistrée f_c' diffère de la fréquence porteuse programmée f_c , altérer le signal numérique de sortie en supprimant, de manière pseudo-aléatoire, un nombre entier de symbole d'au moins une période du signal numérique de sortie, ou en ajoutant à au moins une période du signal numérique de sortie, de manière pseudo-aléatoire, au moins un symbole additionnel à ladite fréquence d'échantillonnage de sortie f_s , de telle sorte que la durée moyenne de la période du signal de sortie altéré soit égale à $1/f_c$.

Un tel réglage fin de la fréquence porteuse du signal numérique de sortie permet, lorsque la fréquence programmée diffère légèrement de la fréquence enregistrée f_c' dans la table de correspondance 22, de générer en sortie un signal numérique à la fréquence porteuse programmée f_c sans modifier la table de correspondance 22.

Par ailleurs, l'altérateur pseudo-aléatoire 26 est configuré pour, lorsque la fréquence d'échantillonnage f_{bb} n'est pas un multiple de la fréquence porteuse enregistrée f_c' , altérer le signal de sortie, en particulier chaque signal de sortie associé à un symbole d'entrée, en ajoutant à ce signal de sortie une séquence d'un nombre pseudo-aléatoire de n_{add} symboles additionnels à la fréquence d'échantillonnage de sortie f_s , de telle sorte que le nombre n de symboles du signal de sortie altéré soit en moyenne tel $n/f_s = T_{bb}$, i.e de telle sorte que la durée moyenne du signal de sortie altéré associé à chaque symbole d'entrée soit égal à la période d'échantillonnage T_{bb} .

La fréquence programmée f_c peut varier en fonction de l'application ou des souhaits de l'utilisateur. Dans certains cas, une modification de la fréquence programmée, i.e. de la fréquence porteuse souhaitée, impose une modification de la table de correspondance. C'est notamment le cas lorsque la différence entre la fréquence enregistrée f_c' et la fréquence programmée f_c est supérieure à par exemple 20% de la fréquence enregistrée f_c' .

Le module d'encodage de séquences 12 est configuré pour générer, en réponse à une modification de la fréquence porteuse programmée f_c , une table de correspondance modifiée associée à la fréquence porteuse programmée modifiée, en vue de son stockage dans la mémoire du module de correspondance 20.

En particulier, le module d'encodage de séquences 12 est configuré pour recevoir en entrée 19 une fréquence programmée f_c et pour générer à sa sortie 18, à destination du module de correspondance 20, une table de correspondance associée à cette fréquence programmée f_c . Dans ce cas, la fréquence enregistrée f_c' est alors égale à la fréquence programmée f_c .

Dans un mode de réalisation particulier, le module d'encodage de séquences 12 est propre à générer des séquences de type Riemann.

Le dispositif de génération 1 est ainsi apte à générer, à partir d'un signal numérique en bande de base, un signal numérique modulé à une fréquence porteuse choisie f_c .

Dans le premier mode de réalisation décrit ci-dessus, dans lequel la période du signal modulé associé à chaque symbole d'entrée est l'onde porteuse modulée en fonction du symbole d'entrée, représentative de la valeur du symbole d'entrée, le signal numérique de sortie est représentatif des valeurs successives des symboles du signal numérique en bande de base.

Dans le deuxième mode de réalisation décrit ci-dessus, dans lequel la période du signal modulé associée à chaque symbole d'entrée correspond à la dérivée de l'onde porteuse modulée par le symbole d'entrée, le signal numérique de sortie est représentatif

de la dérivée discrète de l'onde porteuse modulée par les symboles du signal numérique en bande de base.

Le dispositif de génération 1 est avantageusement employé pour la génération d'un signal analogique modulé à partir d'un signal numérique en bande de base.

5 La figure 2 représente ainsi un système 40 de génération d'un signal analogique modulé, comprenant un dispositif de génération 1 tel que décrit en référence à la figure 1.

Le système 40 est apte à générer, à partir d'un signal numérique issu d'un générateur de bande de base 42, un signal analogique modulé à sa sortie 43.

10 Le système 40 comporte, reliés en série, le générateur de bande de base 42, un module d'échantillonnage et de filtrage 44, le dispositif de génération 1 (non détaillé sur la figure 2), et un convertisseur numérique-analogique 46.

Le générateur de bande de base 42 est apte à générer un signal en bande de base portant une composante en phase I et une composante en quadrature Q. Les signaux sont par exemple des données en liaison montante dans le cadre d'un système basé sur la technologie LTE. A titre d'exemple, ils sont échantillonnés à une fréquence d'échantillonnage initiale de 20 MHz.

20 Le module d'échantillonnage et de filtrage 44 est propre à suréchantillonner le signal afin de filtrer les répliques spectrales du signal numérique en bande de base, en particulier de diminuer la puissance contenue dans ces répliques, qui peuvent devenir des parasites indésirables gênant les canaux spectraux adjacents lorsque le signal est mis sur porteuse.

Le module d'échantillonnage et de filtrage 44 est configuré pour produire à sa sortie un signal numérique en bande de base, échantillonné à la fréquence d'échantillonnage fbb.

25 A partir de ce signal, et comme décrit précédemment, le dispositif de génération 1 est configuré pour générer à sa sortie 14 un signal numérique à une fréquence porteuse programmée f_c , modulé en fonction du signal numérique en bande de base.

30 Le convertisseur numérique-analogique 46 est apte à convertir ce signal numérique modulé en signal analogique modulé. Ce signal est émis par le convertisseur numérique-analogique 46 à sa sortie 43.

35 En particulier, dans le premier mode de réalisation décrit ci-dessus, dans lequel le signal numérique modulé est représentatif des valeurs successives des symboles d'entrée du signal numérique en bande de base, le convertisseur numérique analogique est configuré pour effectuer une conversion simple du signal numérique modulé en signal analogique modulé.

Dans le deuxième mode de réalisation décrit ci-dessus, dans lequel le signal numérique de sortie est représentatif de la dérivée discrète d'une onde porteuse modulée par un signal numérique en bande de base, le convertisseur numérique analogique 46 est par exemple un convertisseur analogique intégrateur, propre à convertir le signal numérique modulé en signal analogique en intégrant le signal numérique modulé.

L'interpolation utilisée dans le convertisseur 46 est par exemple de type Riemann.

Le convertisseur numérique-analogique intégrateur est par exemple du type pompe de Riemann.

En particulier, un tel convertisseur numérique-analogique intégrateur comprend par exemple un condensateur ou un ensemble de condensateurs dont la tension aux bornes est proportionnelle à l'intégrale du courant reçu.

Dans un tel dispositif, le signal numérique de sortie est apte à commander la génération de courant électrique dans un condensateur ou un ensemble de condensateurs à partir de moyens d'activation ou de désactivation commandant des générateurs de courant électrique aux bornes du ou des condensateurs. Le convertisseur numérique-analogique intégrateur est ainsi propre à générer un signal analogique, à partir d'un signal affine par morceaux obtenu par l'intégration successive des courants constants dans le condensateur, liés au signal numérique de sortie. Le convertisseur numérique analogique est ainsi apte à intégrer le signal numérique de sortie pour générer le signal analogique correspondant.

Un tel convertisseur est décrit par exemple dans la demande de brevet publiée WO 2014/184388.

Un exemple de fonctionnement du système 40 va maintenant être décrit.

Un signal numérique de bande de base est généré par le générateur de bande base 42, puis échantillonné et filtré par le module d'échantillonnage et filtrage 44, pour produire un signal numérique en bande de bande échantillonné à la fréquence d'échantillonnage fbb.

Ce signal numérique en bande de base est envoyé à l'entrée 16 au dispositif de génération 1.

Le dispositif 1 monte le signal en fréquence et fournit à la sortie 14 le signal numérique modulé à la fréquence porteuse programmée f_c , comme décrit plus en détails ci-après. Ce signal numérique modulé comporte une succession de symboles qui sont échantillonnés à la fréquence d'échantillonnage de sortie f_s .

Le signal numérique de sortie à la sortie 14 est reçu par le convertisseur numérique-analogique qui convertit le signal dans le domaine analogique et envoie le signal à la sortie 43.

Dans un mode de réalisation préféré, le convertisseur numérique-analogique est un convertisseur numérique-analogique intégrateur. Dans ce mode de réalisation, la période du signal modulé correspond à une période de la dérivée discrète de l'onde porteuse modulée, représentative d'une valeur d'une dérivée discrète du symbole du signal numérique en bande de base.

Le signal à la sortie 43 est par exemple envoyé en radiofréquence dans un canal de transmission.

Le fonctionnement de l'unité de modulation 10, pour la génération du signal de sortie modulé, va maintenant être décrit.

A l'entrée 16 de l'unité de modulation 10, le signal numérique en bande de base, comportant une succession de symboles d'entrée, est envoyé au module de correspondance 20.

Le module 20 associe alors à ce symbole d'entrée, en utilisant la table de correspondance 22, une période d'un signal modulé représentatif d'une onde porteuse à la fréquence enregistrée f_c' , modulée en fonction de ce symbole. Dans l'exemple illustré, le signal modulé correspond à la dérivée discrète de l'onde porteuse à la fréquence enregistrée f_c' modulée en fonction du symbole d'entrée.

Chaque période du signal modulé comprend un nombre prédéfini n_m de symboles de sortie. Dans un mode de réalisation particulier, $n_m = 16$.

Du fait que la période du signal modulé généré correspond à la fréquence porteuse enregistrée f_c' , le signal modulé à la sortie 30 du module de correspondance 20 comporte cette fréquence f_c' .

A partir de la période associée dans la table de correspondance, le module de correspondance 20 génère, pour chaque symbole d'entrée, un signal numérique de sortie. Ce signal numérique de sortie comprend une séquence de k_p périodes du signal modulé représentatif de l'onde porteuse à la fréquence porteuse enregistrée f_c' , modulées en fonction du symbole d'entrée.

Dans un mode de réalisation préféré, k_p est égal à 1, dans un autre mode de réalisation k_p est strictement supérieur à 1.

De préférence, le nombre k_p de périodes est égal à la partie entière du rapport entre la fréquence d'échantillonnage f_{bb} et la fréquence porteuse enregistrée f_c' .

Néanmoins, dans certains cas, notamment lorsque la fréquence enregistrée f_c' diffère de la fréquence programmée f_c et/ou lorsque la fréquence enregistrée f_c' n'est pas un multiple de la fréquence d'échantillonnage f_{bb} , la fréquence du signal numérique de sortie diffère de la fréquence programmée f_c , et/ou la durée du signal numérique de sortie

associé à chaque symbole d'entrée diffère de la période d'échantillonnage T_{bb} , i.e. de l'intervalle de temps entre deux symboles d'entrée.

Dans de tels cas, l'altérateur pseudo-aléatoire de séquences altère le signal numérique de sortie de manière à former un signal numérique de sortie altéré ayant une durée moyenne égale à la période d'échantillonnage T_{bb} et ayant une fréquence porteuse égale à ladite fréquence porteuse programmée f_c .

On a ainsi illustré sur la figure 3 une séquence de deux périodes, de durée $T_c' = 1/f_c'$, de l'onde porteuse modulée, comparées à la période d'échantillonnage T_{bb} et à la période d'échantillonnage de sortie T_s associée à la fréquence d'échantillonnage de sortie.

Dans l'exemple de la figure 3, la fréquence porteuse enregistrée f_c' n'est pas un multiple en nombres entiers de la fréquence d'échantillonnage f_{bb} en bande de base. En conséquence, un multiple de la période T_c' de la fréquence porteuse enregistrée ne correspond pas à la période T_{bb} d'échantillonnage de bande de base.

L'altérateur pseudo-aléatoire 26 compare la fréquence d'échantillonnage f_{bb} avec la fréquence porteuse enregistrée f_c' pour détecter si le rapport f_{bb}/f_c' est entier.

Si l'altérateur pseudo-aléatoire 26 détecte que ce rapport n'est pas égal à un nombre entier, l'altérateur pseudo-aléatoire 26 envoie un signal au module de correspondance 20 afin d'ajouter au signal de sortie une séquence de n_{add} symboles additionnels, à la fréquence d'échantillonnage f_s de la porteuse, au signal de sortie.

Par exemple, en référence de la figure 3, un signal correspondant à une séquence de trois symboles est transmis par l'entrée 32 au module de correspondance 20.

Ce nombre n_{add} de symboles additionnels est un nombre pseudo-aléatoire, dont l'espérance est telle que le nombre n de symboles du signal de sortie altéré est en moyenne tel que $n/f_s = T_{bb}$. En outre, l'écart-type du nombre pseudo-aléatoire n_{add} est réglé en fonction des applications. Il est par exemple égal à 10% du nombre n_m de symboles présents dans une période de l'onde porteuse modulée.

Après cet ajout de n_{add} symboles additionnels au signal de sortie, un signal sortie altéré est produit à la sortie du module de correspondance. Le nombre n de symboles du signal de sortie altéré est tel que, en moyenne, $n/f_s = T_{bb}$.

Le nombre de symboles ajoutés est pseudo-aléatoire, de manière à étaler les parasites structurels et garantir la continuité de phase, dans chaque signal de sortie associé à un symbole d'entrée, et entre deux signaux de sortie associés à deux symboles d'entrée successifs.

Le schéma représenté dans la figure 3 décrit donc un étalement du signal de sortie pour ajuster la fréquence de la porteuse par rapport à la fréquence d'échantillonnage en bande de base.

Le signal de sortie du module de correspondance est ensuite transmis par l'entrée 30 à l'interface de sérialisation 24.

On a par ailleurs illustré en référence à la figure 4 un réglage fin de la fréquence du signal de sortie mis en œuvre par l'altérateur pseudo-aléatoire afin d'obtenir un signal de sortie altéré à la fréquence porteuse programmé f_c à la sortie 14.

A cette fin, l'altérateur pseudo-aléatoire de séquences 26 compare la fréquence porteuse enregistrée f_c' et la fréquence porteuse programmé f_c . Lorsqu'elles sont différentes, l'altérateur pseudo-aléatoire 26 envoie un signal par l'entrée 34 à l'interface de sérialisation 24 pour commander l'ajout ou la suppression d'un nombre entier (éventuellement nul) de symboles de chaque période du signal numérique de sortie de manière pseudo-aléatoire, étant entendu qu'au moins un symbole est ajouté ou supprimé d'au moins une période du signal numérique de sortie.

En particulier, on a illustré sur la Figure 4 une période du signal modulé à la fréquence enregistrée f_c' , plus élevée que la fréquence programmée f_c . Ainsi, le nombre n_m de symboles de sortie de cette période est inférieur au nombre de symboles d'une période qui serait à la fréquence programmée f_c . Dans un tel cas, l'altérateur pseudo-aléatoire de séquences 26 ajoute à des positions pseudo-aléatoires un nombre entier (éventuellement nul) de symboles à chaque période du signal numérique de sortie, de telle sorte que la durée moyenne de la période du signal numérique de sortie soit égale à $1/f_c$. Dans l'exemple de la figure 4, un symbole N est ajouté afin de satisfaire cette condition.

En conséquence, un signal numérique de sortie altéré est obtenu à la sortie 14.

A l'inverse, si la fréquence enregistrée f_c' est inférieure à la fréquence programmée f_c , le signal envoyé par l'altérateur pseudo-aléatoire 26 a pour effet que un nombre entier (éventuellement nul) de symboles sont supprimés à des positions pseudo-aléatoires à chaque période du signal numérique de sortie.

En variante, il est possible d'ajouter un ou plusieurs symboles dans une période du signal numérique de sortie et de supprimer un ou plusieurs symboles dans une autre période du signal numérique de sortie.

Après le réglage fin de la fréquence porteuse enregistrée f_c' , la durée moyenne du signal de sortie altéré à la sortie 14 est égale à $1/f_c$.

Dans un mode de réalisation préféré, notamment lorsque la différence entre la fréquence porteuse enregistrée et la fréquence porteuse programmée est trop grande, il

est possible de modifier la fréquence de porteuse enregistrée f_c' dans la table de correspondance 22.

A cette fin, le module d'encodage de séquences 12 génère des valeurs pour une table de correspondance 22 modifiée à la fréquence programmée. Ces valeurs sont envoyées par l'entrée 18 au module de correspondance 20 et sont enregistrées dans le mémoire non représenté du module de correspondance 20. Elles forment une table de correspondance 22 modifiée.

Chaque symbole d'entrée est associé, avec la table de correspondance 22 modifiée, à une période du signal modulé, c'est-à-dire à une période de l'onde porteuse à la fréquence porteuse enregistrée f_c' modifiée ou à une période d'une dérivée de l'onde porteuse à la fréquence porteuse enregistrée f_c' modifiée.

Le dispositif de génération selon l'invention permet ainsi de générer des signaux numériques modulés avec une fréquence porteuse f_c qui peut être modifiée de manière très flexible en fonction de l'application visée.

En particulier, ce dispositif permet d'ajuster de manière fine la fréquence porteuse sans qu'il soit nécessaire de recalculer une nouvelle table de correspondance à modification de la fréquence porteuse. En tout état de cause, lors d'une modification plus importante de la fréquence porteuse, une simple modification de la table de correspondance permet d'adapter le dispositif à cette fréquence porteuse.

En outre, ce dispositif permet une adaptation fine du signal de sortie numérique à la fréquence d'échantillonnage du signal en bande de base, permettant de minimiser l'apparition de parasites structurels dans le signal de sortie.

Par ailleurs, le dispositif de génération selon l'invention permet de minimiser les calculs nécessaires à la génération du signal numérique modulé, grâce à l'emploi d'une table de correspondance préenregistrée. La consommation énergétique du dispositif est en conséquence fortement réduite.

Le dispositif dans son ensemble est par exemple intégré sur un circuit logique programmable (également désigné par l'acronyme anglais FPGA pour « Field-Programmable Gate Array »), un circuit intégré propre à une application (également désigné par l'acronyme anglais ASIC pour « Application Specific Circuit ») ou un processeur de signal numérique (également désigné par l'acronyme anglais DSP pour « Digital Signal Processor »).

REVENDICATIONS

1.- Dispositif (1) de génération d'un signal numérique représentatif d'une fréquence porteuse programmée f_c modulée par un signal numérique en bande de base, ledit signal numérique en bande de base comprenant une séquence de symboles d'entrée,

ledit dispositif (1) de génération comprenant une unité de modulation (10) configurée pour recevoir en entrée le signal numérique en bande de base et pour générer en sortie, à partir du signal numérique en bande de base, ledit signal numérique modulé,

le dispositif (1) de génération étant caractérisé en ce que l'unité de modulation (10) comporte un module de correspondance (20) comprenant une table de correspondance (24) préenregistrée associée à une fréquence porteuse enregistrée f_c' , la table de correspondance comportant, pour chaque symbole d'entrée, une ou plusieurs périodes k_p d'un signal modulé représentatif d'une onde porteuse à la fréquence enregistrée f_c' modulée en fonction du symbole d'entrée,

ledit module de correspondance (20) étant configuré pour associer, à chaque symbole d'entrée, à partir de la table de correspondance (22), une séquence de k_p périodes du signal modulé représentatif d'une onde porteuse à la fréquence porteuse enregistrée f_c' modulée en fonction dudit symbole d'entrée, la ou chaque période du signal modulé associée au symbole d'entrée comprenant un ensemble d'un nombre prédéfini n_m de symboles de sortie, le signal modulé étant échantillonné à une fréquence d'échantillonnage de sortie f_s , k_p étant supérieur ou égal à 1,

et pour générer, pour chaque symbole d'entrée, un signal numérique de sortie associé audit symbole d'entrée, comprenant ladite séquence de k_p périodes du signal modulé associé au symbole d'entrée, k_p étant supérieur ou égal à 1.

2. Dispositif (1) de génération selon la revendication 1, caractérisé en ce que, le signal numérique en bande de base étant échantillonné à une fréquence d'échantillonnage f_{bb} correspondant à une période d'échantillonnage T_{bb} , le nombre k_p de périodes du signal modulé est égal à la partie entière du rapport entre la fréquence porteuse enregistrée f_c' et la fréquence d'échantillonnage f_{bb} .

3.- Dispositif (1) de génération selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que ladite fréquence porteuse enregistrée f_c' est égale à ladite fréquence porteuse programmée f_c .

4.- Dispositif (1) de génération selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'unité de modulation (10) comporte en outre un altérateur pseudo-aléatoire de séquences (26), configuré pour, lorsque la fréquence porteuse enregistrée $f_{c'}$ diffère de la fréquence porteuse programmée f_c et/ou lorsque la fréquence d'échantillonnage f_{bb} n'est pas un multiple de la fréquence porteuse enregistrée $f_{c'}$, altérer le signal numérique de sortie de manière à former un signal numérique de sortie altéré ayant une durée moyenne égale à la période d'échantillonnage T_{bb} et/ou ayant une fréquence moyenne égale à ladite fréquence porteuse programmée f_c .

5.- Dispositif (1) de génération selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'altérateur pseudo-aléatoire de séquences (26) est configuré pour, lorsque la fréquence porteuse enregistrée $f_{c'}$ diffère de la fréquence porteuse programmée f_c , altérer le signal numérique de sortie en supprimant de manière pseudo-aléatoire au moins un symbole d'au moins une période du signal numérique de sortie ou en ajoutant à au moins une période du signal numérique de sortie, de manière pseudo-aléatoire, au moins un symbole additionnel à ladite fréquence d'échantillonnage de sortie f_s , de telle sorte que la durée moyenne de la période du signal de sortie altéré soit égale à $1/f_c$.

6.- Dispositif (1) de génération selon l'une quelconque des revendications 4 ou 5, caractérisé en ce que l'altérateur pseudo-aléatoire de séquences (26) est configuré pour, lorsque la fréquence d'échantillonnage f_{bb} n'est pas un multiple de la fréquence porteuse enregistrée $f_{c'}$, altérer ledit signal de sortie en ajoutant audit signal de sortie une séquence d'un nombre pseudo-aléatoire n_{add} de symboles additionnels à ladite fréquence d'échantillonnage de sortie f_s , de telle sorte que le nombre n de symboles du signal de sortie altéré soit tel que, en moyenne, $n/f_s = T_{bb}$.

7.- Dispositif (1) de génération selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comporte en outre un module (12) d'encodage de séquences, configuré pour générer, en réponse à une modification de la fréquence porteuse programmée, une table de correspondance modifiée associée à la fréquence porteuse programmée modifiée.

8.- Dispositif (1) de génération selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il comprend une interface de sérialisation, configurée pour recevoir en entrée, pour chaque symbole d'entrée, ledit signal numérique de sortie associé audit

symbole et pour produire en sortie ledit signal numérique modulé à la fréquence porteuse programmée f_c .

5 9.- Dispositif (1) de génération selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la période du signal modulé associé au symbole d'entrée par le module de correspondance (20) est une période de l'onde porteuse à la fréquence porteuse enregistrée f_c' modulée en fonction dudit symbole d'entrée, ladite période de l'onde porteuse modulée étant représentative d'une valeur du symbole d'entrée.

10 10.- Dispositif (1) de génération selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que la période du signal modulé associé au symbole d'entrée par le module de correspondance (20), correspondant à un instant donné du signal d'entrée, est une période d'une dérivée discrète de l'onde porteuse modulée par le signal numérique en bande de base à cet instant.

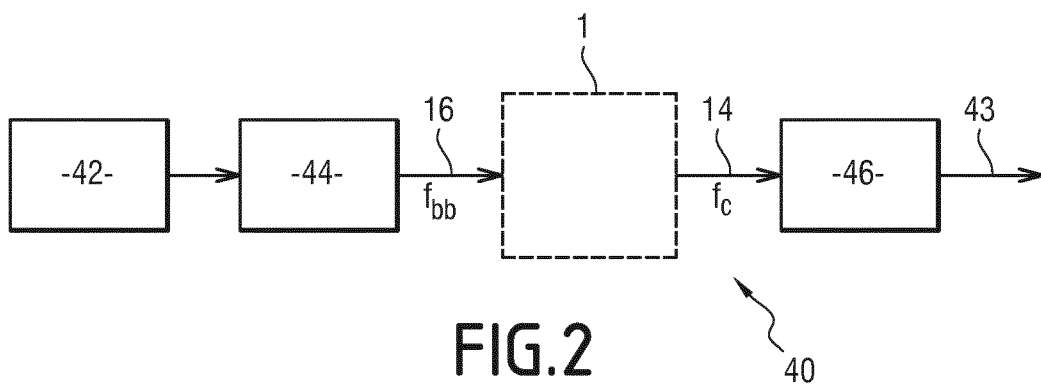
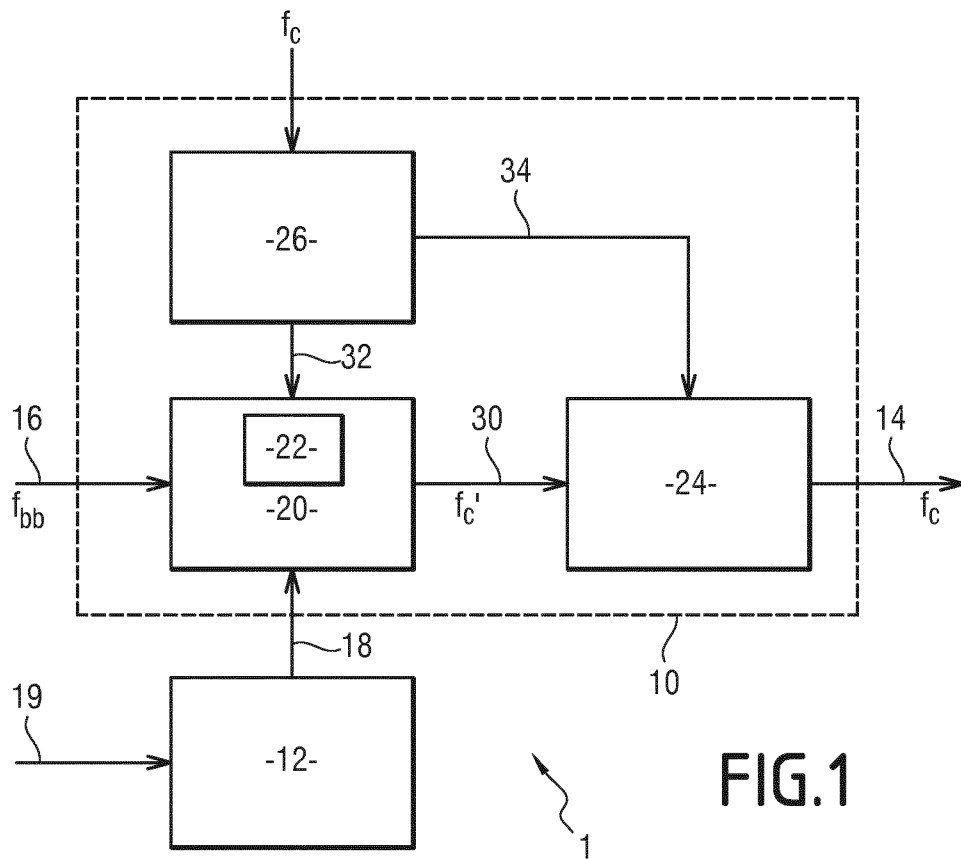
15 11. Système (40) de génération d'un signal analogique modulé à une fréquence porteuse programmée f_c à partir d'un signal numérique en bande de base, ledit système (40) comprenant :

20 - un dispositif (1) de génération d'un signal numérique modulé à la fréquence porteuse programmée f_c à partir du signal numérique en bande de base, selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, et

- un convertisseur numérique analogique (46), configuré pour générer le signal analogique modulé à partir du signal numérique modulé.

25 12.- Système (40) de génération selon la revendication 11, caractérisé en ce que le dispositif de génération est selon la revendication 10, et en ce que le convertisseur numérique analogique (46) est un convertisseur numérique analogique intégrateur.

1/2



2/2

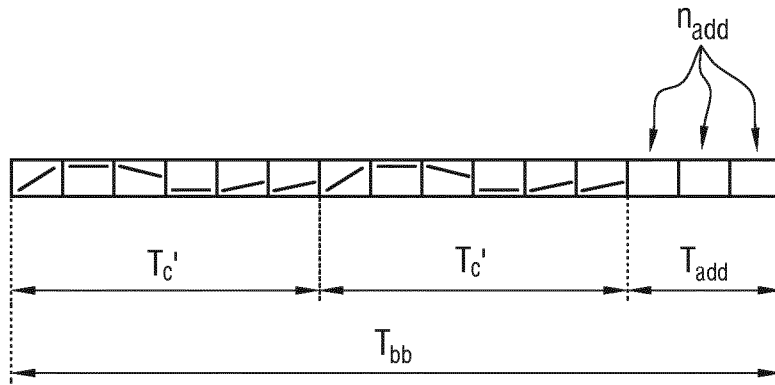


FIG.3

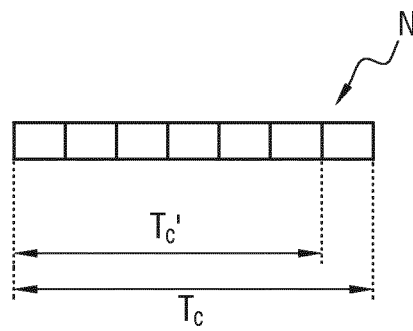


FIG.4