

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 29.04.91.

③0 Priorité : 02.05.90 US 517879.

④3 Date de la mise à disposition du public de la demande : 08.11.91 Bulletin 91/45.

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

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : Société dite: TELEDYNE MEC — US.

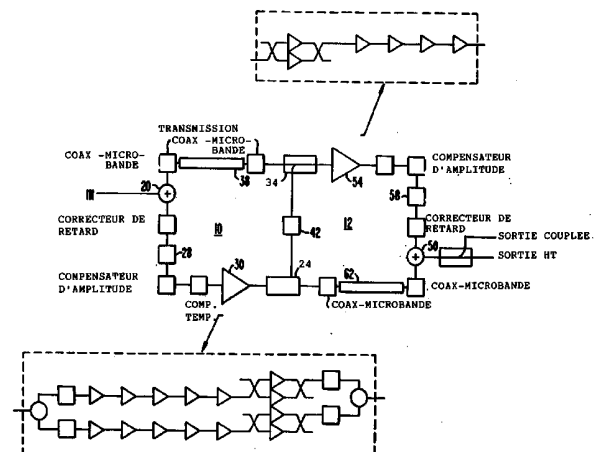
⑦2 Inventeur(s) : Ludvik Stephen, Steel Victor E. et Scott Douglas.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire : Cabinet Lavoix.

⑤4 Amplificateur à réaction vers l'avant et correction de phase.

⑤7 Cet amplificateur comprend une première boucle (10), comprenant un amplificateur principal (30), qui fournit un signal d'entrée amplifié et une composante de distorsion séparée de ce signal et une seconde boucle (12), comprenant un amplificateur d'erreur (54), qui soustrait la composante de distorsion séparée du signal d'entrée amplifié pour fournir un signal de sortie amplifié avec une très basse distorsion, un système de compensation du retard constant produit par les amplificateurs (30, 54) aux basses fréquences et du retard non linéaire dépendant de la fréquence introduit par les amplificateurs aux hautes fréquences, des premiers moyens, couplés à l'amplificateur principal (30), pour modifier la valeur du retard dans un signal à haute fréquence donnée d'une valeur qui annule pratiquement le retard introduit par l'amplificateur principal (30) à la haute fréquence donnée; et des seconds moyens, couplés à l'amplificateur d'erreur (54), pour modifier la valeur du retard introduit dans un signal à haute fréquence donnée d'une valeur qui annule pratiquement le retard introduit par l'amplificateur d'erreur (54) à la haute fréquence donnée.



La présente invention se rapporte en général aux amplificateurs hyperfréquence et en particulier à un amplificateur hyperfréquence utilisant la technique de la réaction vers l'avant.

5

La réaction vers l'avant est une technique classique de suppression de la distorsion qui est très efficace pour supprimer la distorsion dans un signal amplifié. Quand un signal hyperfréquence d'entrée est amplifié, l'amplitude du signal d'entrée est amplifiée d'un facteur égal au gain de l'amplificateur. Le signal de sortie de l'amplificateur comprend une composante représentant le signal d'entrée amplifié et une composante de distorsion qui n'est pas une représentation exacte du signal d'entrée.

15

Dans un système à réaction vers l'avant, cette composante de distorsion est échantillonnée, ajustée en amplitude au niveau de l'amplitude de la composante de distorsion du signal de sortie de l'amplificateur et recombinée en opposition de phase avec le signal de sortie pour annuler la composante de distorsion dans le signal de sortie.

La suppression complète requiert que le signal de distorsion échantillonné soit en parfaite opposition de phase avec la composante de distorsion du signal de sortie de l'amplificateur. Dans le système à réaction vers l'avant, cette relation de phase est obtenue au moyen de retards fixes introduits dans les signaux. Ainsi, l'obtention de la relation de phase requise dépend de la précision de la valeur des retards introduits.

L'erreur de phase causée par un retard dans un signal d'amplitude donnée augmente avec la fréquence du signal. Ainsi, les limites de précision imposées par le mode de réalisation physique d'une ligne à retard ou des composants d'un amplificateur ont restreint l'utilisation de la technique

35

de la réaction vers l'avant aux applications au-dessous d'un certain seuil de fréquence.

De plus, l'adaptation du retard demande que le retard
5 introduit par les composants de l'amplificateur du système soit de valeur fixe. Cependant, pour des fréquences de signaux de l'ordre du gigahertz (GHz), les amplificateurs présentent une dispersion de phase et le retard introduit sur chaque
10 composante de fréquence du signal d'entrée de l'amplificateur n'est pas constant.

Ainsi, la relation de phase nécessaire peut ne pas être obtenue pour les différentes composantes de fréquence d'un
15 signal d'entrée à large bande quelle que soit la précision que l'on peut obtenir avec les éléments des circuits de retard.

De ce fait, l'utilisation de la technique de la réaction vers l'avant n'était pas possible pour des signaux d'entrée à large bande de l'ordre du gigahertz.

20 La présente invention est une technique destinée à compenser les effets de la dispersion de fréquence dans un amplificateur à réaction vers l'avant de telle sorte que la technique de correction d'erreur puisse être utilisée pour un
25 signal d'entrée haute fréquence à large bande.

Selon un aspect de l'invention, des éléments de compensation de phase sont placés dans chaque boucle pour supprimer la variation du retard aux hautes fréquences
30 introduite par l'amplificateur principal et l'amplificateur d'erreur.

Selon un autre aspect de l'invention, un premier élément de compensation de phase dans la première boucle est placé
35 avant l'amplificateur principal de telle sorte que le gain de l'amplificateur principal ne soit pas dégradé.

Selon un aspect supplémentaire de l'invention, un second élément de compensation de phase est placé à la sortie de

l'amplificateur d'erreur de telle sorte que la perte introduite par le second élément n'apparaisse pas comme un bruit dans la boucle.

5 D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre faite en référence aux dessins annexés sur lesquels,

La figure 1 est un diagramme schématique d'un mode de
10 réalisation préféré de l'invention;

La figure 2 est un graphe montrant deux composantes de fréquence;

15 La figure 3 est un graphe qui montre le retard en fonction de la fréquence pour les amplificateurs, les éléments à retard linéaire et les éléments de compensation de phase;

La figure 4A est un diagramme schématique d'une section de
20 lignes couplée en cascade;

La figure 4B est un diagramme schématique de la relation entre le déphasage et la fréquence pour la section de ligne couplée;

25 La figure 4C est un diagramme schématique d'un mode de réalisation en film mince de l'élément de compensation de phase; et

30 La figure 5 est un diagramme schématique d'un élément à retard dispersif.

La figure 1 est le schéma synoptique d'un mode de réalisation préféré. Sur la Fig. 1, un amplificateur à
35 réaction vers l'avant comprend une première et une seconde boucles 10 et 12. La première boucle 10 comprend, en entrée, un diviseur de puissance 20 qui comprend une entrée pour recevoir un signal d'entrée et une première et une seconde sorties. La première sortie est reliée, via un premier élément

de compensation de phase 28 et un amplificateur principal 30, à un premier coupleur de signal de sortie 24, qui comporte une entrée et une première et une seconde sorties. La seconde sortie du diviseur de puissance d'entrée 20 est reliée, via un premier élément à retard linéaire 38, à une première entrée d'un second coupleur de signal de sortie 34, qui comporte une première et une seconde entrées et une sortie. La seconde entrée du second coupleur de signal de sortie 34 est reliée à la seconde sortie du premier coupleur de signal de sortie 24 par un élément d'atténuation 42.

La seconde boucle 12 comprend un second diviseur de puissance de sortie 50 qui comporte une première entrée reliée, via un amplificateur d'erreur 54 et un second élément de compensation de phase 58, à la sortie du second coupleur de sortie 34 et une seconde entrée reliée, via un second élément à retard linéaire 62, à la sortie du premier coupleur de signal de sortie 24. La sortie du second diviseur de puissance de sortie 50 délivre le signal de sortie de l'amplificateur à réaction vers l'avant.

Le fonctionnement du système décrit dans la figure 1 va être maintenant expliqué. La fonction de la première boucle 10 est d'isoler la composante de distorsion du signal amplifié. Cette fonction va être décrite, dans un premier temps, sans considérer l'effet du premier élément de compensation de phase 28.

Le diviseur de puissance d'entrée 20 échantillonne un signal d'entrée et couple une partie de sa puissance à l'amplificateur principal 30. L'amplificateur principal 30 amplifie cette portion de signal pour constituer un signal d'entrée amplifié. Ce signal est constitué d'une composante de signal amplifiée qui a une amplitude égale à G , où G est le gain de l'amplificateur, multipliée par l'amplitude du signal d'entrée qui alimente l'entrée de l'amplificateur principal. Il est également constitué d'une composante de distorsion qui ne représente pas l'amplitude du signal d'entrée mais est due aux non-linéarités de l'amplificateur principal ainsi qu'à

d'autres effets. Aux basses fréquences, la composante du signal amplifié est déphasée par rapport au signal d'entrée d'un déphasage fixe à cause d'un retard fixe introduit par l'amplificateur.

5

L'élément à retard 38 introduit un retard dans le signal d'entrée couplé qui s'adapte au retard fixe introduit par l'amplificateur principal 30. Ce signal d'entrée retardé et une version atténuée du signal d'entrée amplifié sont couplés au premier coupleur de sortie 34.

10

Le premier coupleur 34, l'élément d'atténuation 42 et le second coupleur 24 atténuent l'amplitude de la composante du signal amplifié d'un facteur qui annule le gain de l'amplificateur. La composante de distorsion est atténuée du même facteur. Ainsi, la valeur absolue de l'amplitude de la composante du signal amplifié, atténué qui est couplée au signal d'entrée retardé dans le second coupleur 24 est soigneusement ajustée à la valeur de l'amplitude du signal retardé. De plus, les retards introduits par le premier coupleur 34, l'élément d'atténuation 42 et le second coupleur 24 introduisent un déphasage de 180° dans le signal d'entrée amplifié, atténué de telle sorte que le signal d'entrée retardé et le signal d'entrée amplifié, atténué s'annulent dans le second coupleur 24 pour isoler une composante de distorsion atténuée, déphasée qui est le signal d'erreur de sortie disponible à la sortie du second coupleur 24. La composante de distorsion isolée a été également déphasée de 180° par rapport à la composante de distorsion à la sortie, par l'amplificateur principal 30.

15

20

25

30

La fonction de la seconde boucle est d'adapter l'amplitude de la composante de distorsion isolée à la composante de distorsion de la sortie de l'amplificateur principal et de supprimer cette composante de distorsion du signal d'entrée amplifié formée par l'amplificateur 30.

35

Le signal de distorsion isolé est amplifié par l'amplificateur d'erreur 54 pour former un signal d'erreur

amplifié. Le gain de l'amplificateur d'erreur est égal à G pour annuler l'atténuation introduite dans la composante de distorsion du signal d'entrée amplifié et pour adapter l'amplitude du signal d'erreur à l'amplitude de la composante de distorsion du signal d'entrée amplifié. L'amplificateur d'erreur 54 introduit également un retard fixe pour les basses fréquences. Le second élément à retard 62 retarde le signal d'entrée amplifié d'une valeur égale à celle du retard fixe de l'amplificateur d'erreur pour former un signal d'entrée amplifié, retardé. Ainsi, quand le signal d'erreur et le signal d'entrée amplifié, retardé sont combinés à la sortie du coupleur de signaux 50, les valeurs absolues des amplitudes du signal d'erreur et de la composante de distorsion du signal d'entrée amplifié, retardé sont les mêmes. De plus, comme le signal d'erreur est déphasé de 180°, il annule la composante de distorsion du signal d'entrée amplifié et un signal d'entrée amplifié pur est délivré à la sortie de l'amplificateur à réaction vers l'avant.

La figure 2 montre une composante à une seule fréquence du signal d'entrée 200 et du signal de sortie amplifié, retardé 202 et illustre la relation entre la phase et le retard. La période de la composante est T secondes, la fréquence est 1/T et la valeur du retard introduit dans le signal de sortie amplifié est de D secondes. La différence de phase (DP) entre les deux signaux est:

$$DP = (D/T) \times 360^\circ \quad \text{Eq.1}$$

Pour les fréquences très élevées, Eq.1 montre une erreur d'adaptation de phase très importante entre les deux signaux 200 et 202 pour une très petite différence dans les retards introduits par les éléments à retard linéaire 38 et 62 et par l'amplificateur principal 30 et l'amplificateur d'erreur 54. Par exemple, pour un harmonique à 18 Gigahertz (GHz) une erreur de 1 picoseconde entre les retards de l'élément à retard et de l'amplificateur provoque une erreur de 10° dans l'adaptation de phase.

Comme décrit précédemment, l'annulation de signal entre le signal d'entrée retardé et le signal d'entrée amplifié nécessite que la différence de phase relative soit de 180° pour que les pics d'un signal recouvrent les creux de l'autre signal. Par conséquent, pour des signaux de l'ordre du GHz, les retards fixes introduits par les amplificateurs 30 et 54 et les éléments à retard doivent être précisément contrôlés. Dans le mode de réalisation préféré, on utilise des circuits intégrés monolithiques hyperfréquences (MMICs) comme amplificateurs et des lignes à retard coaxiales comme éléments à retard. Les MMICs sont caractérisés par un retard et des fonctions de dispersion uniformes et les lignes à retard donnent un retard constant dans une large bande de fréquences.

La figure 3 est un graphe qui montre la relation entre le retard et la fréquence. Sur la figure 3, la courbe en trait plein 300 montre la relation fréquence/retard pour les amplificateurs 30 et 54, la courbe en traits interrompus 302 montre la relation fréquence/retard pour les éléments à retard linéaires 38 et 62 et la courbe en traits pointillés 304 montre la relation fréquence/retard pour les éléments de compensation de phase 28 et 58.

Dans le domaine des hyperfréquences, l'amplificateur présente une dispersion de phase et la valeur du retard augmente avec la fréquence. Cette augmentation du retard provoque un décalage total par rapport à la phase linéaire qui peut atteindre 90° dans ce domaine de fréquences. Le retard introduit par les éléments à retard linéaires demeure constant pour toutes les fréquences. Ainsi, pour les basses fréquences, l'annulation du signal est à peu près totale parce que les retards introduits par les amplificateurs 30 et 54 et les éléments à retard linéaires 38 et 62 sont adaptés avec précision pour toutes les fréquences et un retard fixe est introduit par les éléments de compensation de phase 28 et 58.

Aux hautes fréquences, le retard introduit pour chaque harmonique est différent pour les amplificateurs 30 et 54 et les éléments à retard 38 et 62. Ainsi, selon Eq.1, les déphasages entre les harmoniques vont varier et l'annulation

du signal dans les boucles 10 et 12 ne sera pas complète.

Les éléments de compensation de phase 28 et 58 introduisent un retard fixe pour les basses fréquences. Aux basses fréquences, la somme des retards fixes introduits par l'amplificateurs 30 ou 54 et l'élément de compensation de phase couplé 28 ou 58 est égale au retard fixe introduit par l'élément à retard correspondant 38 ou 62 de telle sorte que l'annulation due aux éléments à retard linéaires 38 ou 62 n'est pas affectée. Cependant, aux hautes fréquences, la forme de la courbe de retard 304 des éléments de compensation de phase 28 et 58 est l'image spéculaire de la courbe de dispersion de phase 300 des amplificateurs 30 et 54. Pour une haute fréquence donnée, le retard introduit par l'élément de compensation de phase 28 ou 58 diminue de la même valeur que celle dont augmente le retard introduit par l'amplificateur 30 ou 54. Ainsi, la somme des retards introduits par l'élément de compensation de fréquence 28 ou 58 et l'amplificateur 30 ou 54 dans chaque boucle 10 ou 12 introduit un retard égal à celui de l'élément à phase linéaire 38 ou 62 de sorte qu'une annulation du signal pratiquement totale a lieu dans les coupleurs 34 ou 50.

Une autre caractéristique de l'invention est la position des éléments de compensation de fréquence 28 et 58 par rapport aux amplificateurs 30 et 54. Dans la première boucle 10, il est capital que le gain en puissance du signal d'entrée soit aussi grand que possible. Du fait que les éléments de compensation de phase sont médiocres, si le premier élément de compensation de phase 28 avait été placé après l'amplificateur principal 30, il aurait réduit la puissance et dégradé la qualité du signal. En conséquence, dans la première boucle, l'élément de compensation de phase est placé avant l'amplificateur principal 30.

35

Dans la seconde boucle 12, l'élément de compensation de phase 58 est placé après l'amplificateur d'erreur 54 parce que les pertes qu'il engendre apparaîtraient comme un bruit qui ne serait pas annulé dans la seconde boucle 12.

Dans un mode de réalisation de l'invention, l'élément de compensation de phase est composé de sections de lignes couplées montées en cascade 400, comme montré sur la figure 4A. Cet élément fournit une réponse en phase comme indiqué sur la figure 4B. La portion de courbe selon laquelle le circuit travaille est sélectionnée en faisant varier la longueur des sections couplées et elle est choisie de telle sorte qu'elle compense l'erreur de phase de l'amplificateur. La courbe 304 de la figure 3 en est un exemple. Les courbes de la figure 4B peuvent être décalées en fréquence en ajustant la longueur et le facteur de couplage des sections de lignes couplées 400. Un circuit à film mince 402 comme celui montré figure 4C peut être utilisé en variante. Les lignes couplées multiples augmentent le facteur de couplage et deux sections sont montées en cascade pour augmenter la dispersion globale. La configuration finale est obtenue par simulation en utilisant Touchstone, un simulateur de circuits linéaires disponible dans le commerce.

Un second mode de réalisation de l'invention utilise des lignes à retard dispersives pour constituer les éléments à retard 38 et 62. Ces lignes à retard ont des caractéristiques de phase adaptées à celles des amplificateurs et éliminent le besoin d'éléments de compensation de phase 28 et 58. Ce retard est obtenu en adaptant une structure à hélice à onde lente 500 à partir d'un tube à ondes progressives comme montré figure 5. Ces hélices peuvent être réalisées pour une caractéristique de phase particulière en ajustant le pas de l'hélice et son degré de séparation du tube. Elles donnent des pertes très faibles.

L'amplitude de la plage dynamique du système(DR) est déterminée par la relation suivante:

$$DR = TN-G-NF-IMP-BW \quad \text{Eq. 2}$$

où TN est le bruit thermique, G la valeur du gain de l'amplificateur, NF le facteur de bruit, IMP le facteur de distorsion et BW la largeur de bande. Comme la présente

invention réduit le facteur de distorsion (IMP), l'amplitude de la plage dynamique de l'amplificateur est augmentée. De cette façon, un amplificateur à large bande et à grande plage dynamique fonctionnant aux fréquences extrêmement élevées de
5 6-18 GHz a pu être réalisé.

Dans les applications où l'amplitude et la fréquence d'un signal sont inconnues, une bande passante aussi large et une telle plage dynamique sont des caractéristiques déterminantes
10 pour l'amplificateur d'un système destiné à détecter des signaux inconnus. Cette invention est utile pour des bandes de fréquences couvrant 10% des bandes passantes jusqu'aux bandes 3:1 à des fréquences aussi élevées que 18 GHz.

REVENDICATIONS

1. Amplificateur à réaction vers l'avant destiné à recevoir un signal d'entrée et comprenant une première boucle (10), comprenant un amplificateur principal (30), qui fournit un signal d'entrée amplifié et une composante de distorsion
5 séparée du signal d'entrée amplifié et une seconde boucle (12), comprenant un amplificateur d'erreur (54), qui soustrait la composante de distorsion séparée du signal d'entrée amplifié pour fournir un signal de sortie amplifié avec une très basse distorsion, un système pour la compensation du
10 retard constant produit par les amplificateurs (30, 54) aux basses fréquences et du retard non linéaire dépendant de la fréquence introduit par les amplificateurs aux hautes fréquences, le dit système étant caractérisé en ce qu'il comprend:
- 15 des premiers moyens, couplés au dit amplificateur principal (30), pour modifier la valeur du retard dans un signal à une haute fréquence donnée d'une valeur qui annule pratiquement le retard introduit par l'amplificateur principal (30) à la haute fréquence donnée; et
- 20 des seconds moyens, couplés au dit amplificateur d'erreur (54), pour modifier la valeur du retard introduit dans un signal à une haute fréquence donnée d'une valeur qui annule pratiquement le retard introduit par l'amplificateur d'erreur (54) à la haute fréquence donnée.
- 25 2. Amplificateur à réaction vers l'avant destiné à recevoir un signal d'entrée et comprenant une première boucle (10), comprenant un amplificateur principal (30), qui fournit un signal d'entrée amplifié et une composante de distorsion séparée du signal d'entrée amplifié et une seconde boucle
30 (12), comprenant un amplificateur d'erreur (54), qui soustrait la composante de distorsion séparée du signal d'entrée

11

amplifié pour fournir un signal de sortie ampli:2661789 une
très basse distorsion, un système pour compenser le retard
constant introduit par les amplificateurs (30,54) aux basses
fréquences et le retard non linéaire dépendant de la fréquence
5 introduit par les amplificateurs aux hautes fréquences, le dit
système étant caractérisé en ce qu'il comporte:

un premier élément à retard linéaire (38) placé dans la
dite première boucle (10), ayant une entrée pour recevoir une
première partie du signal d'entrée et une sortie pour fournir
10 un signal d'entrée retard pour introduire un retard fixe, pour
toutes les fréquences, dont la valeur est égale à celle
produite par l'amplificateur principal (30) aux basses
fréquences;

un premier élément de compensation de phase (28) reliant
15 l'entrée de l'amplificateur principal (30) au signal d'entrée
pour introduire un retard prédéterminé et indépendant de la
fréquence dans le signal d'entrée la modification de retard
introduite à une haute fréquence donnée étant à peu près égale
mais de signe opposé à la modification de retard introduite
20 par l'amplificateur principal (30) à la haute fréquence donnée
de telle sorte que le retard du signal d'entrée amplifié par
rapport au signal d'entrée soit pratiquement indépendant de la
fréquence pour les hautes fréquences et de valeur égale au
retard fixe introduit par l'amplificateur principal (30) et le
25 premier élément de compensation de phase (28) aux basses
fréquences;

un second élément de compensation de phase (58) couplant
la sortie de l'amplificateur d'erreur (54) au signal de sortie
pour introduire un retard prédéterminé et indépendant de la
30 fréquence dans un signal de sortie de l'amplificateur d'erreur
la modification de retard introduite à une haute fréquence

donnée étant pratiquement égale mais de signe opposé à la modification de retard introduite par l'amplificateur d'erreur (54) à la haute fréquence donnée pour produire un signal d'erreur amplifié compensé en phase dont le retard par rapport au signal d'entrée est pratiquement indépendant de la fréquence; et

un second élément à retard (62), placé dans la dite seconde boucle (12), ayant une entrée pour recevoir le signal d'entrée amplifié et une sortie pour fournir un signal d'entrée amplifié et retardé qui introduit un retard fixe pour toutes les fréquences, la valeur du retard fixe étant égale à la valeur du retard fixe introduit par l'amplificateur d'erreur (54) et le second élément de compensation de phase (58) pour les basses fréquences.

3. Amplificateur à haute fréquence caractérisé en ce qu'il comprend une première boucle comprenant:

un diviseur de puissance d'entrée (20), ayant une entrée et une première et une seconde sorties, pour échantillonner un signal d'entrée reçu sur l'entrée et coupler des parties du signal échantillonné sur la première et la seconde de sorties;

un premier élément de compensation de phase (28) relié à la dite première sortie pour introduire un retard prédéterminé dépendant de la fréquence pour les hautes fréquences dans le dit signal d'entrée couplé pour former un signal d'entrée compensé en phase, le signe de la modification du retard introduit pour une haute fréquence donnée indiquant si la valeur du retard est augmentée ou diminuée;

un amplificateur principal (30) relié au dit premier élément de compensation de phase (28), pour amplifier le dit signal d'entrée compensé en phase et former un signal d'entrée amplifié et compensé en phase l'amplificateur principal (30) étant caractérisé par un gain fixe, par un retard fixe indépendant de la fréquence pour les basses fréquences et qui introduit un retard dépendant de la fréquence pour les hautes fréquences dans le signal d'entrée amplifié, la modification de valeur du retard dépendant de la fréquence introduite par l'amplificateur pour une fréquence donnée étant pratiquement égale mais de signe opposé à la modification de valeur du retard dépendant de la fréquence introduit par le dit premier élément de compensation de phase (20) de telle sorte que la valeur du retard introduit dans le signal d'entrée amplifié et compensé en phase est pratiquement indépendant de la fréquence et égal à la valeur du dit retard fixe indépendant de la fréquence en raison de l'annulation du retard prédéterminé dépendant de la fréquence du dit amplificateur principal (30);

un premier coupleur de signal de sortie (24), ayant une entrée pour recevoir le dit signal d'entrée amplifié et compensé en phase et une première et une seconde sorties, pour coupler le signal d'entrée amplifié et compensé en phase à la première et la seconde sorties du premier coupleur de signal de sortie, le premier coupleur de signal de sortie atténuant également les signaux couplés;

un élément d'atténuation (42), relié à la seconde de sortie du dit premier coupleur de signal de sortie (24), pour atténuer le signal d'entrée amplifié et compensé en phase;

un premier élément à retard linéaire (38) relié à la dite seconde sortie du dit diviseur de puissance d'entrée (20) pour retarder le dit signal d'entrée d'une valeur fixe sensiblement égale au dit retard fixe indépendant de la fréquence du dit amplificateur principal (30), pour former un signal d'entrée retardé;

un second coupleur de sortie (34), ayant une première entrée reliée au dit élément à retard linéaire (38), une seconde sortie reliée au dit élément d'atténuation (42) et une entrée, pour recevoir et coupler un signal d'entrée amplifié, atténué et compensé en phase et le dit signal d'entrée retardé pour former un signal d'erreur essentiellement constitué de la partie à distorsion atténuée du signal d'entrée amplifié et compensé en phase;

l'amplificateur comprenant en outre une seconde boucle (12) comprenant:

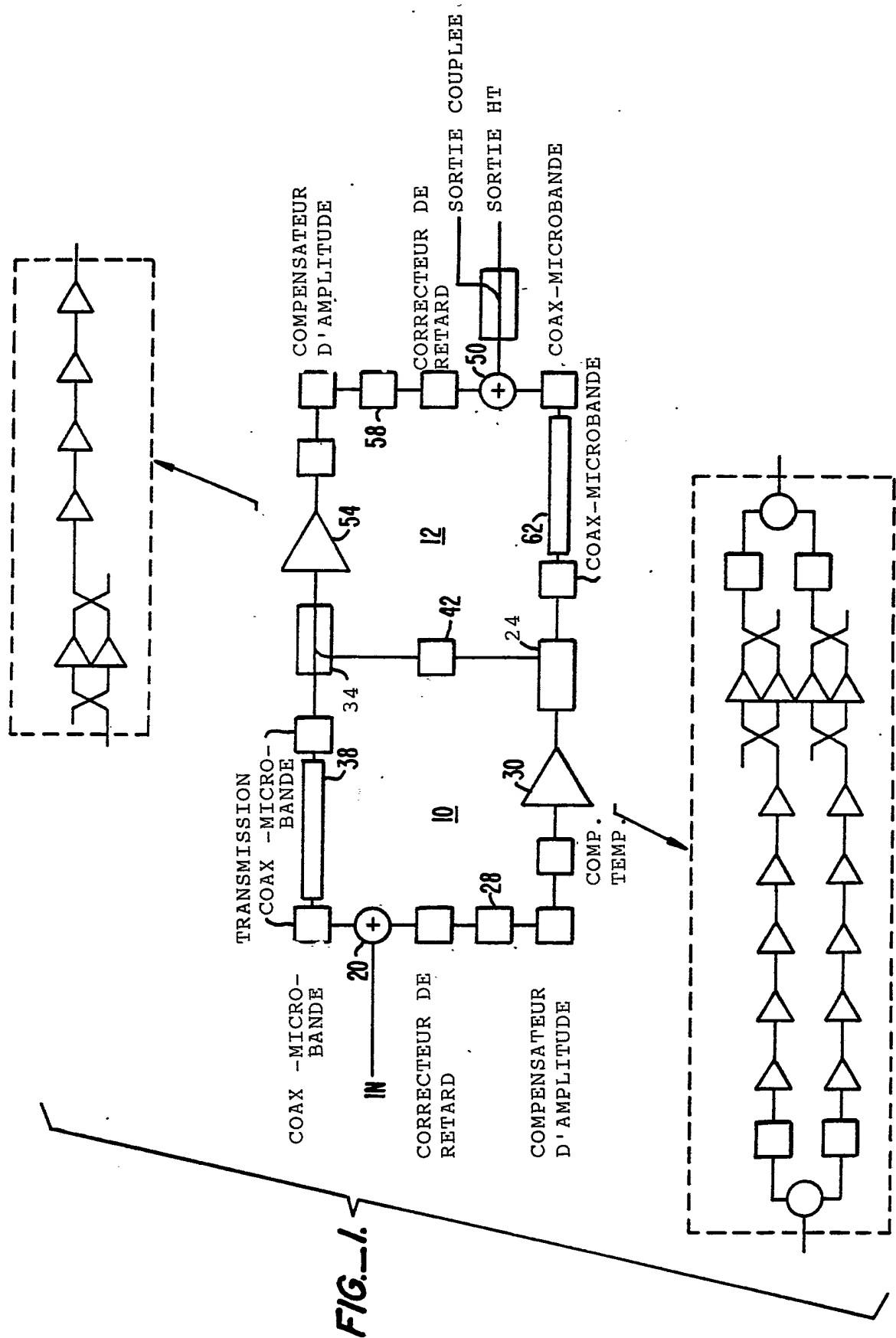
un amplificateur d'erreur (54), relié au dit premier coupleur de signal de sortie, pour amplifier le dit signal d'erreur et former un signal d'erreur amplifié le dit amplificateur d'erreur (54) étant caractérisé par un gain fixe, un retard fixe indépendant de la fréquence pour les basses fréquences et qui introduit un retard dépendant de la fréquence pour les hautes fréquences dans le signal d'entrée amplifié;

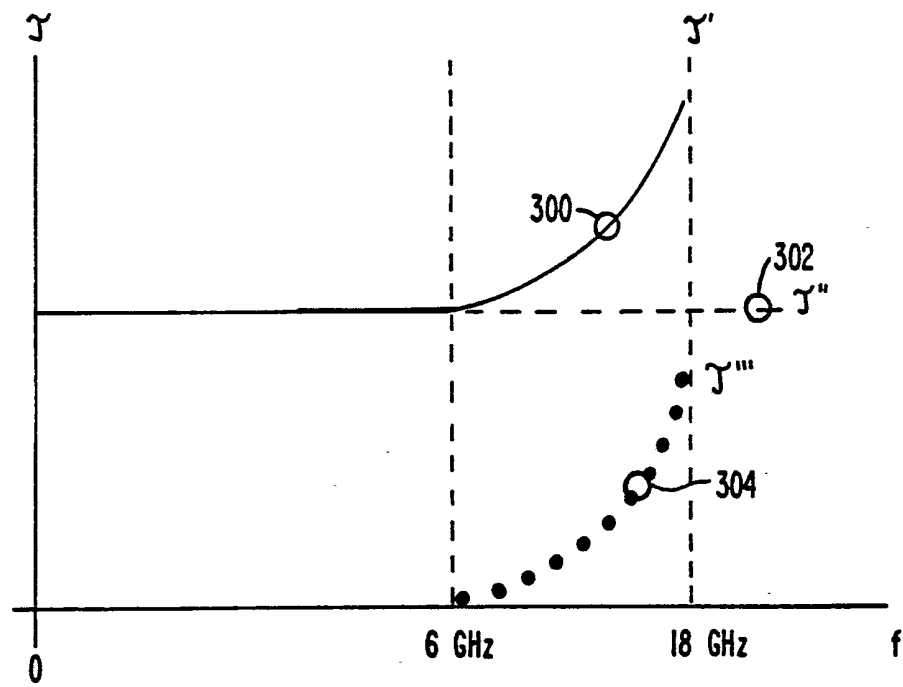
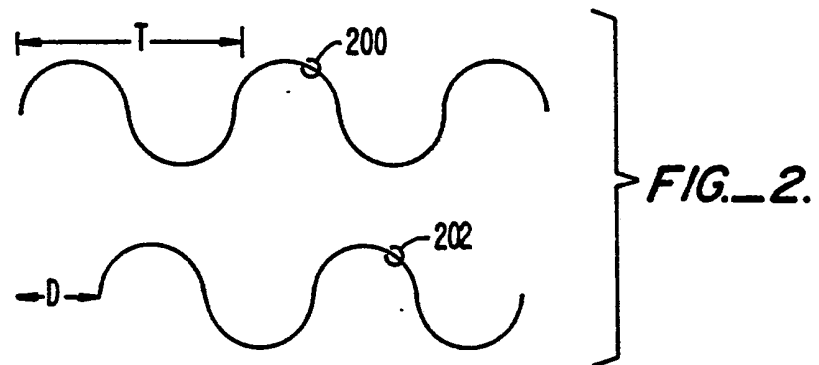
un second élément de compensation de phase (58) relié au dit amplificateur d'erreur (54), pour introduire un retard dépendant de la fréquence pour les hautes fréquences dans le dit signal d'erreur amplifié, la modification de la valeur du retard dépendant de la fréquence introduite par le second élément de compensation de phase (58) pour une haute fréquence donnée étant pratiquement égale mais de signe opposé à la modification de la valeur du retard dépendant de la fréquence introduite par le dit amplificateur d'erreur (54) de telle sorte que la valeur du retard introduit dans le signal d'erreur amplifié et compensé en phase est sensiblement indépendante de la fréquence et égale à la valeur du dit retard fixe indépendant de la fréquence en raison de l'annulation du retard dépendant de la fréquence introduit par le dit amplificateur d'erreur (54);

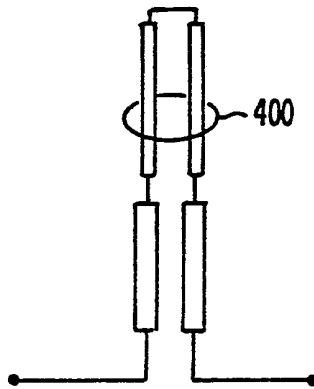
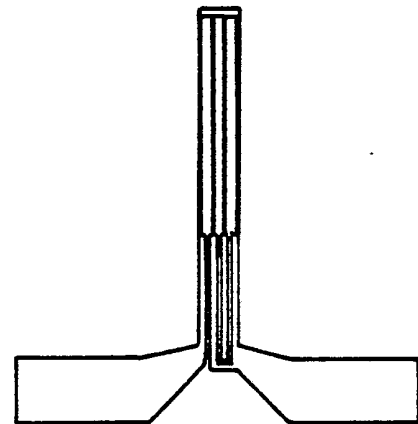
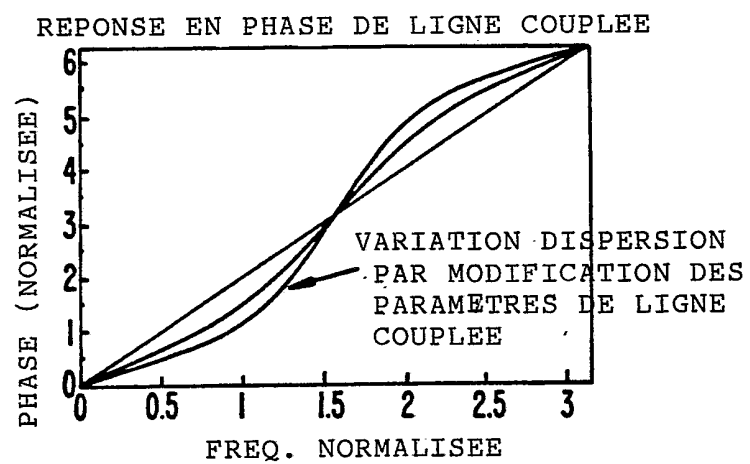
un second élément à retard linéaire (62) relié à la dite

première sortie du dit premier diviseur de puissance de sortie pour retarder le dit signal d'entrée amplifié et compensé en phase d'un retard fixe et sensiblement égal au dit retard fixe indépendant de la fréquence du dit amplificateur d'erreur (54)
5 et former un signal d'entrée amplifié, retardé et compensé en phase; et

un second coupleur de signal de sortie pour additionner le dit signal d'erreur amplifié et compensé en phase et le dit signal d'entrée amplifié, retardé et compensé en phase pour
10 annuler pratiquement la partie à distorsion du dit signal d'entrée amplifié, retardé et compensé en phase en formant, de ce fait, un signal de sortie ayant une faible composante de distorsion.





**FIG. 4A.****FIG. 4C.****FIG. 4B.**

