

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4111003号  
(P4111003)

(45) 発行日 平成20年7月2日(2008.7.2)

(24) 登録日 平成20年4月18日(2008.4.18)

(51) Int. Cl. F I  
**H03F 1/32 (2006.01)** H03F 1/32  
**H03F 3/68 (2006.01)** H03F 3/68 B

請求項の数 4 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2003-51235 (P2003-51235)	(73) 特許権者	000002130
(22) 出願日	平成15年2月27日 (2003.2.27)		住友電気工業株式会社
(65) 公開番号	特開2004-260707 (P2004-260707A)		大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(43) 公開日	平成16年9月16日 (2004.9.16)	(74) 代理人	100064746
審査請求日	平成17年10月17日 (2005.10.17)		弁理士 深見 久郎
		(74) 代理人	100085132
			弁理士 森田 俊雄
		(74) 代理人	100083703
			弁理士 仲村 義平
		(74) 代理人	100096781
			弁理士 堀井 豊
		(74) 代理人	100098316
			弁理士 野田 久登
		(74) 代理人	100109162
			弁理士 酒井 将行

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 L I N C方式線形増幅器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

入力信号を複数の定振幅信号に分離する信号分離部と、  
各系統の分離された定振幅信号を指定された位相量だけ回転して位相補正を行なう位相補正部と、  
各系統の前記位相補正された定振幅信号を増幅して、一定振幅の信号を出力する非線形増幅器と、  
各系統の前記非線形増幅器の出力を合成して出力信号として出力する加算部と、  
各系統の前記非線形増幅器の出力振幅および位相の相違を示す相違量に基づいて、前記出力信号が所望の値となるように、各系統の前記位相補正部で補正すべき位相量を算出する位相補正量計算部とを備え、

前記信号分離部は、入力信号を二系統の定振幅信号に分離し、

n を時刻、

前記入力信号  $s(n)$  の振幅を  $A(n)$ 、

前記各定振幅信号の振幅を  $V$ 、

第1系統の前記定振幅信号と前記入力信号との位相差を  $\phi_1(n)$ 、

第2系統の前記定振幅信号と前記入力信号との位相差を  $\phi_2(n)$ 、

第1系統の前記非線形増幅器の出力振幅を  $V_1$ 、位相変化を  $\theta_1$ 、

第2系統の前記非線形増幅器の出力振幅を  $V_2$ 、位相変化を  $\theta_2$  とし、

$V_2 = V_1$ 、

$\theta_2 - \theta_1 =$  であって、  
前記加算部で出力される出力信号  $y(n)$  を  $(V_1/V) s(n) \exp(j\theta_1)$  とするとき、

前記位相補正量計算部は、第1系統の前記位相補正部で補正すべき位相量  $\theta_1(n)$  を、  
 $\theta_1(n) = \cos^{-1}[\{A(n)^2 + V^2 - (V_1)^2\} / \{2A(n)V\}] - \theta_1(n)$  に基づいて算出し、

第2系統の前記位相補正部で補正すべき位相量  $\theta_2(n)$  を、  
 $\theta_2(n) = \theta_1(n) - \cos^{-1}[\{A(n)^2 + (V_1)^2 - V^2\} / \{2A(n)V\}] - \theta_1(n)$  に基づいて算出する、LINC方式線形増幅器。

【請求項2】

前記位相補正量計算部は、 $x = [\{A(n)^2 + V^2 - (V_1)^2\} / \{2A(n)V\}]$  としたときに、 $x > 1$  のときに、 $\cos^{-1}(x) = 0$  として、 $\theta_1(n)$  を算出し、  
 $x < -1$  のときに、 $\cos^{-1}(x) =$  として、 $\theta_1(n)$  を算出し、

$x = [\{A(n)^2 + (V_1)^2 - V^2\} / \{2A(n)V\}]$  としたときに、 $x > 1$  のときに、 $\cos^{-1}(x) = 0$  として、 $\theta_2(n)$  を算出し、 $x < -1$  のときに、 $\cos^{-1}(x) =$  として、 $\theta_2(n)$  を算出する、請求項1記載のLINC方式線形増幅器。

【請求項3】

前記LINC方式線形増幅器は、さらに、

前記出力信号と、前記位相補正された第1系統の定振幅信号と、前記位相補正された第2系統の定振幅信号とに基づいて、最小2乗法によって、前記 および を推定するアンバランス推定部を備えた請求項2記載のLINC方式線形増幅器。

【請求項4】

入力信号を複数の定振幅信号に分離する信号分離部と、

第1系統を除く各系統の分離された定振幅信号を指定された位相量だけ回転して位相補正を行なう位相補正部と、

各系統の定振幅信号または前記位相補正された定振幅信号を増幅して、一定振幅の信号を出力する非線形増幅器と、

各系統の前記非線形増幅器の出力の振幅を指定された減衰量だけ減衰させる振幅減衰部と、

各系統の前記振幅減衰部の出力を合成して、出力信号として出力する加算部と、

第1系統の前記非線形増幅器の位相変化と、各系統の前記非線形増幅器の位相変化との差を、前記位相補正部で補正すべき位相量として前記位相補正部に与える指定部と、

各系統の前記非線形増幅器の出力振幅の相違を示す相違量に基づいて、前記出力信号が所望の値となるように、前記各振幅減衰部で減衰すべき減衰量を算出する振幅減衰量計算部とを備え、

前記信号分離部は、入力信号を二系統の定振幅信号に分離し、

$n$  を時刻、

前記入力信号  $s(n)$  の振幅を  $A(n)$ 、

前記各定振幅信号の振幅を  $V$ 、

第1系統の前記定振幅信号と前記入力信号との位相差を  $\theta_1(n)$ 、

第2系統の前記定振幅信号と前記入力信号との位相差を  $\theta_2(n)$ 、

第1系統の前記非線形増幅器の出力振幅を  $V_1$ 、位相変化を  $\theta_1$ 、

第2系統の前記非線形増幅器の出力振幅を  $V_2$ 、位相変化を  $\theta_2$ 、

第1系統の前記振幅減衰部による振幅減衰量を  $\alpha_1$ 、

第2系統の前記振幅減衰部による振幅減衰量を  $\alpha_2$  とし、

$V_2 = V_1$ 、

$\theta_2 - \theta_1 =$  であって、

前記加算部で出力される出力信号  $y(n)$  を  $(V_1/V) s(n) \exp(j\theta_1)$  とするとき、

前記位相補正部は、前記第2系統の定振幅信号を  $\theta_2$  だけ回転し、

10

20

30

40

50

前記振幅減衰量計算部は、 $(\theta_1 / \theta_2) = \dots$  の関係を満たすように、 $\theta_1$  および  $\theta_2$  を算出し、

前記振幅減衰量計算部は、 $\theta = 1$  のときに、 $\theta_1 = 1$ 、かつ  $\theta_2 = 1$  とし、 $\theta < 1$  のときに、 $\theta_1 = \dots$ 、かつ  $\theta_2 = 1$  とし、 $\theta > 1$  のときに、 $\theta_1 = 1$ 、かつ  $\theta_2 = 1 / \dots$  とし、

前記 L I N C 方式線形増幅器は、さらに、

前記出力信号と、前記第 1 系統の定振幅信号と、前記第 2 系統の定振幅信号とに基づいて、最小 2 乗法によって、前記  $\theta$  および  $\theta_1$  を推定するアンバランス推定部を備えた、L I N C 方式線形増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

10

【発明の属する技術分野】

本発明は、線形増幅器に関し、特に、非線形素子を用いた線形増幅器に関する。

【0002】

【従来の技術】

無線通信システムにおいては、基地局や移動局の低消費電力化と小型化を実現するために、電力効率が高く線形性に優れた増幅器が必要とされている。近年注目されている線形増幅器の一つに非線形素子を用いた線形増幅 (L I N C : L I n e a r a m p l i f i c a t i o n u s i n g N o n l i n e a r C o m p o n e n t s) 方式のものがある。

【0003】

20

L I N C では、変調された信号を 2 つの定振幅信号に分解して、それぞれを電力効率の高い非線形素子で増幅し、それら出力を合成したものを出力する。

【0004】

図 7 は、従来の L I N C 方式線形増幅器の構成を示す。同図を参照して、この従来の L I N C 方式線形増幅器 70 は、信号分離部 11 と、非線形増幅器 51, 52 と、加算器 16 とを含む。なお、この L I N C 方式線形増幅器 70 は、周波数変換部と、アナログ - デジタル変換部と、デジタル - アナログ変換部と、直交変調部なども含むが、これらの動作は、自明なものなので、ここでは、説明を省略する。

【0005】

信号分離部 11 には、入力信号  $s(n)$  が入力される。入力信号  $s(n)$  は、複素信号であり、

30

$$s(n) = A(n) \exp(j \theta(n)) \cdot \dots \cdot (A1)$$

と表わせる。ここで、 $n$  は時刻、 $A(n)$  は  $s(n)$  の振幅、 $j$  は虚数単位、 $\theta(n)$  は  $s(n)$  の位相である。

【0006】

信号分離部 11 は、入力信号  $s(n)$  を、次のように 2 系統の定振幅信号  $s_1(n)$  と  $s_2(n)$  とに分離する。

【0007】

$$s(n) = s_1(n) + s_2(n) \cdot \dots \cdot (A2)$$

$$s_1(n) = V \exp[j(\theta(n) + \phi(n))] \cdot \dots \cdot (A3)$$

40

$$s_2(n) = V \exp[j(\theta(n) - \phi(n))] \cdot \dots \cdot (A4)$$

ここで、 $V$  は一定の振幅である。

【0008】

式 (A1)、(A3)、および (A4) を式 (A2) に代入することにより、

$$A(n) \exp(j \theta(n)) = V \exp(j \theta(n)) (\exp(j \phi(n)) + \exp(-j \phi(n))) = 2V \cos(\phi(n)) \exp(j \theta(n)) \cdot \dots \cdot (A5)$$

となるので、 $V_m = 2V$  とすると、

$$\theta(n) = \cos^{-1}(A(n) / V_m) \cdot \dots \cdot (A6)$$

となる。なお、 $V_m$  は、 $s(n)$  の最大振幅である  $\max[A(n)]$  以上に設定する必要がある。

50

## 【 0 0 0 9 】

非線形増幅器 5 1 は、定振幅信号  $s_1(n)$  を増幅して、第 1 系統の増幅信号  $y_1(n)$  を出力する。非線形増幅器 5 2 は、定振幅信号  $s_2(n)$  を増幅して、第 2 系統の増幅信号  $y_2(n)$  を出力する。非線形増幅器 5 1 および 5 2 の振幅利得を  $G$  とし、位相変化を  $\theta_1(n)$  とすると、第 1 系統の増幅信号  $y_1(n)$  および第 2 系統の増幅信号  $y_2(n)$  は、

$$y_1(n) = G s_1(n) \exp(j\theta_1(n)) = G V \exp[j(\theta_1(n) + \theta_2(n) + \dots)] \quad (A7)$$

$$y_2(n) = G s_2(n) \exp(j\theta_2(n)) = G V \exp[j(\theta_1(n) - \theta_2(n) + \dots)] \quad (A8)$$

と表わされる。

10

## 【 0 0 1 0 】

加算器 1 6 は、第 1 系統の増幅信号  $y_1(n)$  と第 2 系統の増幅信号  $y_2(n)$  とを加算して、出力信号  $y(n)$  を出力する。出力信号  $y(n)$  は、次のように表わされる。

## 【 0 0 1 1 】

$$y(n) = y_1(n) + y_2(n) = G s_1(n) \exp(j\theta_1(n)) + G s_2(n) \exp(j\theta_2(n)) = G s(n) \exp(j\theta(n)) \quad (A9)$$

したがって、出力信号  $y(n)$  は、入力信号  $s(n)$  を  $G$  倍して、位相を  $\theta(n)$  だけ変化させたものとなる。

## 【 0 0 1 2 】

上述の  $s_1(n)$ 、 $s_2(n)$ 、 $s(n)$ 、 $y_1(n)$ 、 $y_2(n)$ 、 $y(n)$  のベクトルで表すと図 8 のようになる。

20

## 【 0 0 1 3 】

L I N C 方式線形増幅器では、上述のように、2 つの非線形増幅器 5 1 および 5 2 の振幅利得および位相特性が同一であれば、2 系統の伝送特性が同一となり、正常に動作する。しかし、実際には、2 つの非線形増幅器 5 1 および 5 2 の振幅利得および位相特性には、製造ばらつきがあると同時に、温度変化や経年変化によって変動するので、非線形増幅器 5 1 および 5 2 の振幅利得および位相特性を補正することによって、2 系統の伝送特性を同一にする必要がある。

## 【 0 0 1 4 】

非特許文献 1 では、2 台の増幅器の間の振幅利得差と位相差を推定して、この推定した値に基づいて、補正を行なうことによって、所望の値を出力する方法が記載されている。

30

## 【 0 0 1 5 】

図 9 は、非特許文献 1 に記載の従来方式線形増幅器の構成を示す。同図を参照して、この従来方式線形増幅器 8 0 は、信号分離部 1 1 と、アンバランス推定部 6 3 と、乗算器 6 4 と、増幅器 6 1、6 2 と、加算器 1 6 とを含む。なお、この従来方式線形増幅器 8 0 は、周波数変換部と、アナログ - デジタル変換部と、デジタル - アナログ変換部と、直交変調部なども含むが、これらの動作は、自明なものなので、ここでは、説明を省略する。

## 【 0 0 1 6 】

信号分離部 1 1 は、図 7 に示したものと同様である。したがって、式 (A1) ~ (A6) が成り立つ。

40

## 【 0 0 1 7 】

増幅器 6 1 は、定振幅信号  $s_1(n)$  を増幅して、第 1 系統の増幅信号  $y_1(n)$  を出力する。増幅器 6 1 の振幅利得を  $G_1$  とし、位相変化を  $\theta_1(n)$  とする。第 1 系統の増幅信号  $y_1(n)$  は、

$$y_1(n) = G_1 s_1(n) \exp(j\theta_1(n)) \quad (A10)$$

と表わされる。

## 【 0 0 1 8 】

乗算器 6 4 は、アンバランス推定部 6 3 から出力される補正係数  $c_2(n)$  と、定振幅信号  $s_2(n)$  とを乗算して、補正された定振幅信号  $s_2'(n)$  を出力する。補正された定振幅信号  $s_2'(n)$  は、

50

$$s_2'(n) = s_2(n) \cdots (A11)$$

と表わされる。

【0019】

増幅器62は、補正された定振幅信号  $s_2'(n)$  を増幅して、第2系統の増幅信号  $y_2(n)$  を出力する。増幅器62の振幅利得を  $G_2$  とし、位相変化を  $\theta_2$  とする。第2系統の増幅信号  $y_2(n)$  は、

$$y_2(n) = G_2 s_2'(n) \exp(j\theta_2) \cdots (A12)$$

と表わされる。

【0020】

加算器16は、第1系統の増幅信号  $y_1(n)$  と第2系統の増幅信号  $y_2(n)$  とを加算して、出力信号  $y(n)$  を出力する。出力信号  $y(n)$  は、次のように表わされる。

【0021】

$$y(n) = y_1(n) + y_2(n) = G_1 s_1(n) \exp(j\theta_1) + G_2 s_2'(n) \exp(j\theta_2) = G_1 s_1(n) \exp(j\theta_1) + G_2 s_2(n) \exp(j\theta_2) \cdots (A13)$$

ここで、増幅器61および増幅器62の振幅利得  $G_1$ 、 $G_2$ 、および、位相変化  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  には、次の関係があるとする。

【0022】

$$G_2 = G_1 + G \cdots (A14)$$

$$\theta_2 = \theta_1 + \theta \cdots (A15)$$

定振幅信号  $s_2(n)$  と補正係数  $a_2$  との乗算によって、振幅利得差  $G$  および位相差が正確に補正されている場合には、出力信号  $y(n)$  は、所望の値、たとえば、

$$y(n) = G_1 s_1(n) \exp(j\theta_1) \cdots (A16)$$

と表わされる。

【0023】

式(A13)～(A16)より、最適な補正係数  $a_2$  は、

$$a_2 = \{ G_1 \exp(j\theta_1) \} / \{ G_2 \exp(j\theta_2) \} = \{ G_1 / (G_1 + G) \} \exp(-j\theta) \cdots (A17)$$

となる。

【0024】

$s_1(n)$ 、 $s_2(n)$ 、 $s_2'(n)$ 、 $s(n)$ 、 $y_1(n)$ 、 $y_2(n)$ 、 $y(n)$  をベクトルで表すと図10のようになる。

【0025】

アンバランス推定部63は、 $s_1(n)$ 、 $s_2(n)$ 、および  $y(n)$  より、最小2乗法を利用して、補正係数  $a_2$  を算出する。この最小2乗法について説明する。

【0026】

まず、式(A13)を次のように表わす。

$$y(n) = G_1 s_1(n) \exp(j\theta_1) + G_2 s_2(n) \exp(j\theta_2) = a_1 s_1(n) + a_2 s_2(n) \cdots (A18)$$

ここで、

$$a_1 = G_1 s_1(n) \exp(j\theta_1) \cdots (A19)$$

$$a_2 = G_2 s_2(n) \exp(j\theta_2) \cdots (A20)$$

とする。最適な補正係数  $a_2$  は、式(A17)で与えられ、式(A17)を(A19)および(A20)を用いて、書換えると、

$$a_2 = a_1 / a_2 \cdots (A21)$$

となる。このとき出力信号  $y(n)$  は、式(A18)および(A21)より、

$$y(n) = a_1 s_1(n) + (a_1 / a_2) a_2 s_2(n) = a_1 [ s_1(n) + s_2(n) ] \cdots (A22)$$

と表わされる。

【0027】

10

20

30

40

50

は、未知の値なので、最初は、 $w_1 = 1$ とする。 $w_2 = 1$ のとき、式(A 1 8)を変形すると、

$$s_1(n) + (a_2/a_1)s_2(n) - (1/a_1)y(n) = 0 \cdots (A 2 3)$$

となる。式(A 2 3)を用いて、誤差信号 $e(n)$ を次のように定義する。

【0 0 2 8】

$$e(n) = s_1(n) - w_1^* s_2(n) - w_2^* y(n) \cdots (A 2 4)$$

ここで、

$$w_1^* = -(a_2/a_1) \cdots (A 2 5)$$

$$w_2^* = (1/a_1) \cdots (A 2 6)$$

である。ここで、 $*$ は、共役複素演算を表わす。

10

【0 0 2 9】

(A 2 4)をベクトルで表わすと、

$$e(n) = s_1(n) - W^H X(n) \cdots (A 2 7)$$

となる。ここで、

$$W = [w_1, w_2]^T \cdots (A 2 8)$$

$$X(n) = [s_2(n), y(n)]^T \cdots (A 2 9)$$

である。ここで、 $[...]^T$ は、 $[...]$ の転置を示し、 $[...]^H$ は、 $[...]$ の共役転置を示す。

【0 0 3 0】

評価関数 $J$ を

20

$$J = \sum |e(n)|^2 \cdots (A 3 0)$$

とする。ここで、 $\sum$ は、総和を示す。最小2乗法とは、結局のところ、この評価関数 $J$ を最小とする $w_1$ と $w_2$ とを求めることである。

【0 0 3 1】

最適な解は、

$$W = R^{-1} r \cdots (A 3 1)$$

として与えられる。ここで、

$$R = \{X(n)X^H(n)\} \cdots (A 3 2)$$

$$r = \{X(n)s_1^*(n)\} \cdots (A 3 3)$$

である。 $[...]^{-1}$ は、 $[...]$ の逆行列を示す。

30

【0 0 3 2】

式(A 3 1) ~ (A 3 3)によって、 $N$ 個の $s_1(n)$ 、 $s_2(n)$ 、および $y(n)$ から $W$ を計算する。

【0 0 3 3】

$W$ を計算した後、式(A 2 8)から $w_1$ が得られる。さらに、式(A 2 5)より、 $w_1$ の複素共役をとると、 $-(a_2/a_1)$ が得られる。さらに、これに、 $(-1)$ を乗算して、 $(a_2/a_1)$ が得られる。この得られた $(a_2/a_1)$ は、式(A 2 1)によると、補正係数である。以上により、補正係数が推定されたことになる。

【0 0 3 4】

ところで、非特許文献1に記載の増幅器6 1および6 2は、線形動作することを前提としている。つまり、式(A 1 0)および(A 1 2)に示すように、増幅器の振幅利得を $G$ 、位相変化を $\theta$ としたときに、増幅器の出力は、増幅器の入力を $G \exp(j\theta)$ 倍した値となる。

40

【0 0 3 5】

このような線形動作が可能な増幅器には、たとえばA級増幅器やA B級増幅器がある。図1 1は、A級またはA B級増幅器の入出力信号の関係を示す図である。同図に示すように、これらの増幅器は、飽和特性を示す。すなわち、増幅器の入力信号が $P_{in}$ 以下のときには、入力信号に対して出力信号は線形性を示すが、増幅器の入力信号が $P_{in}$ を越えたときには、入力信号に対して出力信号は非線形を示す。

【0 0 3 6】

50

図12(a)は、入力信号の時間変化を示す。同図に示すように、入力信号は、 $P_{in}$ を越える時間帯がある。図12(b)は、出力信号の時間変化を示す。同図に示すように、増幅器の飽和特性によって、出力信号の振幅は削られる(クリッピング)。

【0037】

このような増幅器の飽和特性によって、出力信号の振幅が削られると、図13に示すように、出力信号は、所望の信号帯域成分外に新たな周波数成分をもつことになる。このような所望の信号帯域外の周波数成分は、別の通信に影響を与えることになる。

【0038】

したがって、このような信号帯域外の周波数成分の発生を防止するために、図11に示すようなバックオフを設けることによって、線形領域内に動作点を設けることが必要となる。

10

【0039】

【非特許文献1】

流田理一郎、府川和彦、鈴木博、「最小2乗法によるLINC用送信電力増幅器の振幅・位相バランス調整法」、電子情報通信学会技術報告、2001、Vol.101、No.436、p.7-12

【0040】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、A級増幅器およびAB級増幅器では、一般に電力効率が低いところ、このようなバックオフを設けることによって、さらに電力効率が低下してしまう。

20

【0041】

そこで、LINC方式線形増幅器における増幅器として、D級増幅器、E級増幅器、またはF級増幅器のような電力効率の高い非線形増幅器を用いることが有効と考えられる。

【0042】

たとえば、D級増幅器は、非線形の動作を行なう。すなわち、D級増幅器は、入力信号が0のときには、0を出力するが、入力信号が0以外のときには、入力の大きさに無関係に定振幅信号を出力する。

【0043】

2台の非線形増幅器の出力振幅をそれぞれ $V_1$ 、 $V_2$ とし、位相変化をそれぞれ $\phi_1$ 、 $\phi_2$ とすると、 $V_1 = V_2$ 、および $\phi_1 = \phi_2$ である場合には、これらの非線形増幅器を用いたLINC方式線形増幅器は正常に動作する。

30

【0044】

一方、製造ばらつき、温度変化、または経年変化などによって、 $V_1$ 、 $V_2$ 、または $\phi_1$ 、 $\phi_2$ である場合には、正常に動作しない。

【0045】

図14は、2台の非線形増幅器の出力振幅および位相特性にばらつきがないときの出力信号 $y(n)$ と、ばらつきがあるときの出力信号 $y^*(n)$ とを示す。同図に示すように、2台の非線形増幅器の出力振幅と位相変化が、いずれも $V_1$ および $\phi_1$ であるときには、一方の非線形増幅器の増幅信号 $y_1(n)$ と、他方の非線形増幅器の増幅信号 $y_2(n)$ とが合成されて、出力信号 $y(n)$ が得られる。出力信号 $y(n)$ の大きさは、所望の値である $(V_1/V)A(n)$ となる。

40

【0046】

一方の非線形増幅器の出力振幅が $V_1$ で位相変化が $\phi_1$ であり、他方の非線形増幅器の出力振幅が $V_2$ ( $V_1$ )で位相変化が $\phi_2$ ( $\phi_1$ )のときには、一方の非線形増幅器の増幅信号 $y_1^*(n)$ と、他方の非線形増幅器の増幅信号 $y_2^*(n)$ とが合成されて、出力信号 $y^*(n)$ が得られる。出力信号 $y^*(n)$ の大きさは、所望の値である $(V_1/V)A(n)$ とならない。

【0047】

したがって、 $V_1$ 、 $V_2$ 、または $\phi_1$ 、 $\phi_2$ である場合には、非特許文献1のように補正が必要となる。非特許文献1の増幅器62では、式(A4)、(A11)および(A12)に

50

示すように、出力振幅は、 $G_2 | \quad | V$ となり、補正係数 による補正の効果が出力振幅に現れる。

【0048】

ところが、非線形増幅器に対して、非特許文献1のような補正では、非線形増幅器の出力振幅は、補正係数 の大きさに無関係に一定であるため、補正係数 による補正の効果は現れない。

【0049】

それゆえ、本発明の目的は、高い電力効率で動作する複数台の非線形増幅器を用いて線形増幅を行ない、複数台の非線形増幅器の間に振幅差または位相差がある場合においても、適切な補正によって所望の値に近い値を出力することができるLINC方式の線形増幅器を提供することである。

10

【0050】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、この発明に係わるLINC方式線形増幅器は、入力信号を複数の定振幅信号に分離する信号分離部と、各系統の分離された定振幅信号を指定された位相量だけ回転して位相補正を行なう位相補正部と、各系統の位相補正された定振幅信号を増幅して、一定振幅の信号を出力する非線形増幅器と、各系統の非線形増幅器の出力を合成して出力信号として出力する加算部と、各系統の非線形増幅器の出力振幅および位相の相違を示す相違量に基づいて、出力信号が所望の値となるように、各系統の前記位相補正部で補正すべき位相量を算出する位相補正量計算部とを備える。

20

【0051】

好ましくは、信号分離部は、入力信号を二系統の定振幅信号に分離し、 $n$ を時刻、入力信号 $s(n)$ の振幅を $A(n)$ 、各定振幅信号の振幅を $V$ 、第1系統の定振幅信号との入力信号との位相差を $\theta_1(n)$ 、第2系統の定振幅信号との入力信号との位相差を $\theta_2(n)$ 、第1系統の非線形増幅器の出力振幅を $V_1$ 、位相変化を $\phi_1$ 、第2系統の非線形増幅器の出力振幅を $V_2$ 、位相変化を $\phi_2$ とし、 $V_2 = V_1$ 、 $\phi_2 - \phi_1 = \theta_1 - \theta_2$ であって、加算部で出力される出力信号 $y(n)$ を $(V_1/V)s(n)\exp(j\phi_1)$ とするときに、位相補正量計算部は、第1系統の位相補正部で補正すべき位相量 $\theta_1(n)$ を、 $\theta_1(n) = \cos^{-1}[\{A(n)^2 + V^2 - (V\cos\theta_2(n))^2\} / \{2A(n)V\}] - \theta_2(n)$ に基づいて算出し、第2系統の位相補正部で補正すべき位相量 $\theta_2(n)$ を、 $\theta_2(n) = \theta_1(n) - \cos^{-1}[\{A(n)^2 + (V\cos\theta_1(n))^2 - V^2\} / \{2A(n)V\}] - \theta_1(n)$ に基づいて算出する。

30

【0052】

好ましくは、位相補正量計算部は、 $x = [\{A(n)^2 + V^2 - (V\cos\theta_2(n))^2\} / \{2A(n)V\}]$ としたときに、 $x > 1$ のときに、 $\cos^{-1}(x) = 0$ として、 $\theta_1(n)$ を算出し、 $x < -1$ のときに、 $\cos^{-1}(x) = \pi$ として、 $\theta_1(n)$ を算出し、 $x = [\{A(n)^2 + (V\cos\theta_1(n))^2 - V^2\} / \{2A(n)V\}]$ としたときに、 $x > 1$ のときに、 $\cos^{-1}(x) = 0$ として、 $\theta_2(n)$ を算出し、 $x < -1$ のときに、 $\cos^{-1}(x) = \pi$ として、 $\theta_2(n)$ を算出する。

40

【0053】

好ましくは、LINC方式線形増幅器は、さらに、出力信号と、位相補正された第1系統の定振幅信号と、位相補正された第2系統の定振幅信号とに基づいて、最小2乗法によって、 $\theta_1$ および $\theta_2$ を推定するアンバランス推定部を備える。

【0054】

また、この発明に係わるLINC方式線形増幅器は、入力信号を複数の定振幅信号に分離する信号分離部と、第1系統を除く各系統の分離された定振幅信号を指定された位相量だけ回転して位相補正を行なう位相補正部と、各系統の定振幅信号または位相補正された定振幅信号を増幅して、一定振幅の信号を出力する非線形増幅器と、各系統の非線形増幅器の出力の振幅を指定された減衰量だけ減衰させる振幅減衰部と、各系統の振幅減衰部の出力を合成して、出力信号として出力する加算部と、第1系統の非線形増幅器の位相変化と

50



、各系統の非線形増幅器の位相変化との差を、位相補正部で補正すべき位相量として位相補正部に与える指定部と、各系統の非線形増幅器の出力振幅の相違を示す相違量に基づいて、出力信号が所望の値となるように、各振幅減衰部で減衰すべき減衰量を算出する振幅減衰量計算部とを備える。

【0055】

好ましくは、信号分離部は、入力信号を二系統の定振幅信号に分離し、 $n$ を時刻、入力信号 $s(n)$ の振幅を $A(n)$ 、各定振幅信号の振幅を $V$ 、第1系統の定振幅信号と入力信号との位相差を $\phi_1(n)$ 、第2系統の定振幅信号と入力信号との位相差を $\phi_2(n)$ 、第1系統の非線形増幅器の出力振幅を $V_1$ 、位相変化を $\theta_1$ 、第2系統の非線形増幅器の出力振幅を $V_2$ 、位相変化を $\theta_2$ 、第1系統の振幅減衰部による振幅減衰量を $\alpha_1$ 、第2系統の振幅減衰部による振幅減衰量を $\alpha_2$ とし、 $V_2 = V_1$ 、 $\theta_2 - \theta_1 = \phi_1 - \phi_2$ であって、加算部で出力される出力信号 $y(n)$ を $(V_1/V) \alpha_1 s(n) \exp(j\theta_1)$ とするとときに、位相補正部は、第2系統の定振幅信号を $\phi_2$ だけ回転し、振幅減衰量計算部は、 $(\alpha_1/\alpha_2) = \exp(j(\theta_2 - \theta_1))$ の関係を満たすように、 $\alpha_1$ および $\alpha_2$ を算出する。

10

【0056】

好ましくは、振幅減衰量計算部は、 $\alpha = 1$ のときに、 $\alpha_1 = 1$ 、かつ $\alpha_2 = 1$ とし、 $\alpha < 1$ のときに、 $\alpha_1 = \alpha$ 、かつ $\alpha_2 = 1$ とし、 $\alpha > 1$ のときに、 $\alpha_1 = 1$ 、かつ $\alpha_2 = 1/\alpha$ とする。

【0057】

好ましくは、LINC方式線形増幅器は、さらに、出力信号と、第1系統の定振幅信号と、第2系統の定振幅信号とに基づいて、最小2乗法によって、 $\alpha_1$ および $\alpha_2$ を推定するアンバランス推定部を備える。

20

【0058】

以上のように、この発明に係るLINC方式線形増幅器によれば、高い電力効率で動作する複数台の非線形増幅器を用いて線形増幅を行ない、複数台の非線形増幅器の間に振幅差または位相差がある場合においても、適切な補正によって所望の値を出力することができる。

【0059】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について、図面を用いて説明する。

30

【0060】

<第1の実施形態>

本実施の形態は、2系統の定振幅信号の位相を補正するLINC方式線形増幅器に関する。

【0061】

図1は、第1の実施形態に係るLINC方式線形増幅器の構成を示す。同図を参照して、このLINC方式線形増幅器100は、信号分離部11と、位相補正部12、13と、非線形増幅器14、15と、加算器16と、位相補正量計算部17と、アンバランス推定部18とを含む。なお、このLINC方式線形増幅器100は、周波数変換部と、アナログ-デジタル変換部と、デジタル-アナログ変換部と、直交変調部なども含むが、これらの動作は、自明なものであるため、ここでは、説明を省略する。

40

【0062】

信号分離部11には、入力信号 $s(n)$ が入力される。入力信号 $s(n)$ は、複素信号であり、

$$s(n) = A(n) \exp(j\phi(n)) \cdots (B1)$$

と表わせる。ここで、 $n$ は時刻、 $A(n)$ は、 $s(n)$ の振幅、 $\phi(n)$ は、 $s(n)$ の位相である。

【0063】

信号分離部11は、入力信号 $s(n)$ を、次のように二系統の定振幅信号 $s_1(n)$ と $s_2(n)$ とに分離する。

50

## 【0064】

$$s(n) = s_1(n) + s_2(n) \cdots (B2)$$

$$s_1(n) = V \exp [j(\theta_1(n) + \phi_1(n))] \cdots (B3)$$

$$s_2(n) = V \exp [j(\theta_2(n) - \phi_2(n))] \cdots (B4)$$

式(B1)、(B3)、および(B4)を式(B2)に代入することにより、

$$A(n) \exp(j\theta(n))$$

$$= V \exp(j\theta(n)) (\exp(j\phi_1(n)) + \exp(-j\phi_2(n)))$$

$$= 2V \cos(\phi(n)) \exp(j\theta(n)) \cdots (B5)$$

となるので、 $V_m = 2V$ とすると、

$$\theta(n) = \cos^{-1}(A(n)/V_m) \cdots (B6)$$

となる。なお、 $V_m$ は、 $s(n)$ の最大振幅である $\max[A(n)]$ 以上に設定する必要がある。

10

## 【0065】

位相補正部12は、定振幅信号 $s_1(n)$ の位相を、位相補正量計算部17から出力される位相補正量 $\phi_1(n)$ だけ回転して、補正された定振幅信号 $s_1'(n)$ を出力する。

## 【0066】

$$s_1'(n) = s_1(n) \exp(j\phi_1(n)) \cdots (B7)$$

と表わされる。

## 【0067】

位相補正部13は、定振幅信号 $s_2(n)$ の位相を、位相補正量計算部17から出力される位相補正量 $\phi_2(n)$ だけ回転して、補正された定振幅信号 $s_2'(n)$ を出力する。

20

## 【0068】

$$s_2'(n) = s_2(n) \exp(j\phi_2(n)) \cdots (B8)$$

と表わされる。

## 【0069】

非線形増幅器14は、補正された定振幅信号 $s_1'(n)$ を増幅して、第1系統の増幅信号 $y_1(n)$ を出力する。非線形増幅器14の振幅利得を $(V_1/V)$ とし、位相変化を $\phi_1$ とする。第1系統の増幅信号 $y_1(n)$ は、

$$y_1(n) = V_1 [j(\theta_1(n) + \phi_1(n) + \phi_1(n) + \phi_1)] \cdots (B9)$$

と表わされる。

30

## 【0070】

非線形増幅器15は、補正された定振幅信号 $s_2'(n)$ を増幅して、第2系統の増幅信号 $y_2(n)$ を出力する。非線形増幅器15の振幅利得を $(V_2/V)$ とし、位相変化を $\phi_2$ とする。第2系統の増幅信号 $y_2(n)$ は、

$$y_2(n) = V_2 [j(\theta_2(n) - \phi_2(n) + \phi_2(n) + \phi_2)] \cdots (B10)$$

と表わされる。

## 【0071】

加算器16は、第1系統の増幅信号 $y_1(n)$ と第2系統の増幅信号 $y_2(n)$ とを加算して、出力信号 $y(n)$ を出力する。出力信号 $y(n)$ は、次のように表わされる。

## 【0072】

$$y(n) = y_1(n) + y_2(n) = V_1 [j(\theta_1(n) + \phi_1(n) + \phi_1(n) + \phi_1)] + V_2 [j(\theta_2(n) - \phi_2(n) + \phi_2(n) + \phi_2)] \cdots (B11)$$

ここで、非線形増幅器14および非線形増幅器15の出力振幅 $V_1$ 、 $V_2$ 、および、位相変化 $\phi_1$ 、 $\phi_2$ には、次の関係があるとする。

## 【0073】

$$V_2 = V_1 \cdots (B12)$$

$$\phi_2 = \phi_1 \cdots (B13)$$

位相補正量計算部17は、以下のようにして、アンバランス推定部18で推定された $\theta$ に基づいて、位相補正量 $\phi_1(n)$ および $\phi_2(n)$ を算出する。なお、 $\theta$ が推定される前には、 $\phi_1(n) = 0$ 、 $\phi_2(n) = 0$ としておく。

40

50

## 【0074】

位相補正部12および13による補正によって、適切に補正されている場合には、出力信号 $y(n)$ は、所望の値、たとえば、

$$y(n) = (V_1/V) s(n) \exp(j\theta_1) \cdots (B14)$$

と表わされる。

## 【0075】

式(B1)、(B12)および(B13)により、式(B11)および(B14)を整理すると、次式が成り立つ。

## 【0076】

$$A(n) = V \exp[j(\theta_1(n) + \theta_2(n))] + V \exp[j(-\theta_1(n) + \theta_2(n) + \dots)] \cdots (B15) \quad 10$$

式(B15)の関係を図示すると、図3のようになる。図3に示す幾何的な関係に、三角関数の余弦定理を利用すると、 $\theta_1(n)$ および $\theta_2(n)$ は、次のように表わされる。

## 【0077】

$$\theta_1(n) = \cos^{-1}[\{A(n)^2 + V^2 - (V)^2\} / \{2A(n)V\}] - \theta_2(n) \cdots (B16)$$

$$\theta_2(n) = \theta_1(n) - \cos^{-1}[\{A(n)^2 + (V)^2 - V^2\} / \{2A(n)V\}] \cdots (B17)$$

ただし、式(B16)における、 $\cos^{-1}(x)$ において、 $x > 1$ のときには、強制的に $\cos^{-1}(x) = 0$ とし、 $x < -1$ のときには、強制的に $\cos^{-1}(x) = \pi$ とすることによって、計算値が異常になるのを防止する。ここで、 $x = [\{A(n)^2 + V^2 - (V)^2\} / \{2A(n)V\}]$ である。 20

## 【0078】

また、式(B17)における、 $\cos^{-1}(x)$ において、 $x > 1$ のときには、強制的に $\cos^{-1}(x) = 0$ とし、 $x < -1$ のときには、強制的に $\cos^{-1}(x) = \pi$ とすることによって、計算値が異常になるのを防止する。ここで、 $x = [\{A(n)^2 + (V)^2 - V^2\} / \{2A(n)V\}]$ である。

## 【0079】

つまり、位相補正量計算部17は、各時刻 $n$ ごとに、式(B16)および(B17)によって、位相補正量 $\theta_1(n)$ および $\theta_2(n)$ を算出し、位相補正部12および13は、式(B7)および(B8)のように、それぞれの定振幅信号をこの算出された位相補正量 $\theta_1(n)$ または $\theta_2(n)$ だけ回転する。 30

## 【0080】

図2は、 $y_1^*(n)$ 、 $y_2^*(n)$ 、および $y^*(n)$ と、 $y_1(n)$ 、 $y_2(n)$ 、および $y(n)$ の相違を示す図である。

## 【0081】

図14に示したように、一方の非線形増幅器の出力振幅が $V_1$ で位相変化が $\theta_1$ であり、他方の非線形増幅器の出力振幅が $V_2$ で位相変化が $\theta_2$ のときには、一方の非線形増幅器の増幅信号 $y_1^*(n)$ と、他方の非線形増幅器の増幅信号 $y_2^*(n)$ とが合成されて、出力信号 $y^*(n)$ が得られる。出力信号 $y^*(n)$ の大きさは、所望の値である $(V_1/V)A(n)$ とならない。 40

## 【0082】

位相補正部12による位相補正によって、非線形増幅器14の増幅信号 $y_1(n)$ は、補正なしの増幅信号 $y_1^*(n)$ を $\theta_1(n)$ だけ回転したものとなる。位相補正部13による補正によって、非線形増幅器15の増幅信号 $y_2(n)$ は、補正なしの増幅信号 $y_2^*(n)$ を $\theta_2(n)$ だけ回転したものとなる。この2つの非線形増幅器の増幅信号 $y_1(n)$ と $y_2(n)$ とが合成されて出力信号 $y(n)$ が得られる。

## 【0083】

位相補正部12および13による位相補正によって、出力信号 $y(n)$ の出力振幅と位相 50

を所望の値に設定することができる。

【0084】

つまり、出力信号  $y(n)$  の出力振幅（つまり、ベクトルの大きさ）は、増幅信号  $y_1(n)$  と増幅信号  $y_2(n)$  との位相差（つまり、ベクトルのなす角度）に依存する。したがって、位相補正部 12 および 13 による位相補正によって、増幅信号  $y_1(n)$  と  $y_2(n)$  の位相差を調整することで、出力信号  $y(n)$  の出力振幅を所望の値に設定することができる。

【0085】

また、出力信号  $y(n)$  の位相（つまり、ベクトルの方向）は、増幅信号  $y_1(n)$  の位相（つまり、ベクトルの方向）と増幅信号  $y_2(n)$  の位相（つまり、ベクトルの方向）とに依存する。したがって、位相補正部 12 および 13 による位相補正によって、増幅信号  $y_1(n)$  の位相と  $y_2(n)$  の位相とを調整することで、出力信号  $y(n)$  の位相を所望の値に設定することができる。

10

【0086】

以上のように位相補正部 12 による位相補正量  $\phi_1(n)$  および  $\phi_2(n)$  は、出力信号  $y(n)$  の出力振幅と位相とを同時に補正するための補正量である。

【0087】

ただし、位相補正が可能なのは、入力信号  $s(n)$  の振幅  $A(n)$  と、2つの非線形増幅器の出力振幅の差  $V = |V_2 - V_1|$  との間に、 $A(n) \geq V$  という条件が満たされているときに限られる。以下にこの理由について説明する。

20

【0088】

たとえば、入力信号の振幅  $A(n) = 0$  のときには、図 4(a) に示すように、第 1 系統の定振幅信号  $s_1(n)$  と第 2 系統の定振幅信号  $s_2(n)$  の位相差は  $\theta$  である。また、入力信号の振幅  $A(n) = 0$  なので、出力信号  $y(n) = 0$  とならなければならない。

【0089】

一方、第 1 系統の非線形増幅器 14 によって、増幅信号  $y_1(n)$  は、 $V_1$  となり、第 2 系統の非線形増幅器 15 によって、増幅信号  $y_2(n)$  は、 $V_2$  となり、位相補正によって得られる出力信号  $y(n)$  の最小値は、図 4(b) に示すように、 $(V_2 - V_1)$  である。したがって、この場合には、位相補正によっては、出力信号  $y(n) = 0$  にすることができない。

30

【0090】

さらに、より一般的に説明すると次のようになる。出力信号  $y(n)$  が式 (B14) のように表されるときには、出力信号  $y(n)$  の振幅は  $(V_1/V)A(n)$  となる。

【0091】

したがって、この出力信号  $y(n)$  の振幅  $(V_1/V)A(n)$  は、位相補正による出力信号の振幅の最小値である  $V$  以上でなければならない。つまり、 $(V_1/V)A(n) \geq V$  でなければならない。任意の  $V_1 (> V)$  について、これが成り立つためには、 $A(n) \geq V$  でなければならない。

【0092】

アンバランス推定部 18 は、 $s_1'(n)$ 、 $s_2'(n)$ 、および  $y(n)$  より、最小 2 乗法を利用して、 $\phi_1(n)$  および  $\phi_2(n)$  を算出する。この  $\phi_1(n)$  と  $\phi_2(n)$  の算出は、温度変化や経年変化に対応するために、適当な時間間隔で行なうものとする。

40

【0093】

以下に、この最小 2 乗法について説明する。

まず、式 (B11) を、式 (B3) および (B4) により書換えると、

$$y(n) = (V_1/V) s_1(n) \exp(j\phi_1(n)) \exp(j\theta_1) + (V_2/V) s_2(n) \exp(j\phi_2(n)) \exp(j\theta_2) \cdots \quad (\text{B18})$$

ここで、

$$s_1'(n) = s_1(n) \exp(j\phi_1(n)) \cdots \quad (\text{B19})$$

$$s_2'(n) = s_2(n) \exp(j\phi_2(n)) \cdots \quad (\text{B20})$$

50

とすると、出力信号  $y(n)$  は、

$$y(n) = (V_1/V) s_1'(n) \exp(j\omega_1 n) + (V_2/V) s_2'(n) \exp(j\omega_2 n) \cdots (B21)$$

となる。さらに、

$$b_1 = (V_1/V) \exp(j\omega_1 n) \cdots (B22)$$

$$b_2 = (V_2/V) \exp(j\omega_2 n) \cdots (B23)$$

とすると、出力信号  $y(n)$  は、

$$y(n) = b_1 s_1'(n) + b_2 s_2'(n) \cdots (B24)$$

と表わされる。式 (B24) を変形すると、

$$s_1'(n) + (b_2/b_1) s_2'(n) - (1/b_1) y(n) = 0 \cdots (B25)$$

10

となる。式 (B25) を用いて、誤差信号  $e(n)$  を次のように定義する。

【0094】

$$e(n) = s_1'(n) - w_1^* s_2'(n) - w_2^* y(n) \cdots (B26)$$

ここで、

$$w_1^* = -(b_2/b_1) \cdots (B27)$$

$$w_2^* = (1/b_1) \cdots (B28)$$

である。ここで、 $*$  は、共役複素演算を表わす。

【0095】

(B26) をベクトルで表わすと、

$$e(n) = s_1'(n) - W^H X(n) \cdots (B29)$$

20

となる。ここで、

$$W = [w_1, w_2]^T \cdots (B30)$$

$$X(n) = [s_2'(n), y(n)]^T \cdots (B31)$$

である。ここで、 $[...]^T$  は、 $[...]$  の転置を示し、 $[...]^H$  は、 $[...]$  の共役転置を示す。

【0096】

評価関数  $J$  を

$$J = \sum |e(n)|^2 \cdots (B32)$$

とする。ここで、 $\sum$  は、総和を示す。最小 2 乗法とは、結局のところ、この評価関数  $J$  を最小とする  $w_1$  と  $w_2$  とを求めることである。

30

【0097】

最適な解は、

$$W = R^{-1} r \cdots (B33)$$

として与えられる。ここで、

$$R = \{X(n) X^H(n)\} \cdots (B34)$$

$$r = \{X(n) s_1'^*(n)\} \cdots (B35)$$

である。 $[...]^{-1}$  は、 $[...]$  の逆行列を示す。

【0098】

式 (B33) ~ (B35) によって、 $N$  個の  $s_1'(n)$ 、 $s_2'(n)$ 、および  $y(n)$  から  $W$  を計算する。

40

【0099】

$W$  を計算した後、式 (B30) から  $w_1$  が得られる。さらに、式 (B27) より、 $w_1$  の複素共役をとると、 $-(b_2/b_1)$  が得られる。さらに、これに、 $(-1)$  を乗算して、 $(b_2/b_1)$  が得られる。

【0100】

(B12)、(B13)、(B22) および (B23) より、

$$(b_2/b_1) = (V_2/V_1) \exp(j\omega_2 n) / \exp(j\omega_1 n) = \exp(j(\omega_2 - \omega_1)n) \cdots (B36)$$

が成り立つ。したがって、得られた  $(b_2/b_1)$  の絶対値が  $V_2/V_1$  であり、位相が  $(\omega_2 - \omega_1)n$  となる。以上により、 $\omega_2 - \omega_1$  と  $V_2/V_1$  とが得られたことになる。

50

## 【0101】

以上のように、本実施の形態に係るL I N C方式線形増幅器によれば、位相補正部12および13によって、2系統の定振幅信号の位相を補正することによって、補正を行わない場合と比べて、出力信号の波形歪み、すなわち、実際の出力信号と所望の出力信号との差を小さくすることができ、その結果、出力信号の帯域外成分を小さくすることができる。

## 【0102】

<第2の実施形態>

本実施の形態は、1系統の定振幅信号の位相を補正するとともに、2系統の非線形増幅器の出力信号の振幅を減衰させるL I N C方式線形増幅器に関する。

10

## 【0103】

図5は、第2の実施形態に係るL I N C方式の線形増幅器の構成を示す。同図を参照して、このL I N C方式線形増幅器200は、信号分離部11と、位相補正部21と、非線形増幅器14, 15と、振幅減衰部24, 25と、加算器16と、アンバランス推定部22と、振幅減衰量計算部23と、乗算器26とを含む。なお、このL I N C方式線形増幅器200は、周波数変換部と、アナログ-デジタル変換部と、デジタル-アナログ変換部と、直交変調部なども含むが、これらの動作は、自明なものなので、ここでは、説明を省略する。

## 【0104】

信号分離部11には、入力信号 $s(n)$ が入力される。入力信号 $s(n)$ は、複素信号であり、

20

$$s(n) = A(n) \exp(j\theta(n)) \cdots (C1)$$

と表わせる。ここで、 $n$ は時刻、 $A(n)$ は、 $s(n)$ の振幅、 $\theta(n)$ は、 $s(n)$ の位相である。

## 【0105】

信号分離部11は、入力信号 $s(n)$ を、次のように二系統の定振幅信号 $s_1(n)$ と $s_2(n)$ とに分離する。

## 【0106】

$$s(n) = s_1(n) + s_2(n) \cdots (C2)$$

$$s_1(n) = V \exp[j(\theta(n) + \phi(n))] \cdots (C3)$$

30

$$s_2(n) = V \exp[j(\theta(n) - \phi(n))] \cdots (C4)$$

式(C1)、(C3)、および(C4)を式(C2)に代入することにより、 $A(n) \exp(j\theta(n)) = V \exp(j\theta(n)) (\exp(j\phi(n)) + \exp(-j\phi(n))) = 2V \cos(\phi(n)) \exp(j\theta(n)) \cdots (C5)$

となるので、 $V_m = 2V$ とすると、

$$\phi(n) = \cos^{-1}(A(n)/V_m) \cdots (C6)$$

となる。なお、 $V_m$ は、 $s(n)$ の最大振幅である $\max[A(n)]$ 以上に設定する必要がある。

## 【0107】

乗算器26は、アンバランス推定部22から出力される位相補正量 $\phi(n)$ に-1を乗算して、 $-\phi(n)$ を出力する。

40

## 【0108】

位相補正部21は、定振幅信号 $s_2(n)$ の位相を、乗算器26から出力される $-\phi(n)$ だけ回転して、補正された定振幅信号 $s_2'(n)$ を出力する。補正された定振幅信号 $s_2'(n)$ は、

$$s_2'(n) = s_2(n) \exp(j(-\phi(n))) \cdots (C7)$$

と表わされる。

## 【0109】

非線形増幅器14は、定振幅信号 $s_1(n)$ を増幅して、第1系統の増幅信号 $y_1(n)$ を出力する。非線形増幅器14の振幅利得を $(V_1/V)$ とし、位相変化を $\phi_1$ とする。第1

50

系統の増幅信号  $y_1(n)$  は、

$$y_1(n) = V_1 [ j(\theta_1(n) + \phi_1(n) + \theta_1) ] \cdots (C8)$$

と表わされる。

【0110】

非線形増幅器 15 は、補正された定振幅信号  $s_2'(n)$  を増幅して、第 2 系統の増幅信号  $y_2(n)$  を出力する。非線形増幅器 15 の振幅利得を  $V_2$  とし、位相変化を  $\theta_2$  とすると、第 2 系統の増幅信号  $y_2(n)$  は、

$$y_2(n) = V_2 [ j(\theta_2(n) - \phi_2(n) - \theta_2) ] \cdots (C9)$$

と表わされる。

【0111】

振幅減衰部 24 は、第 1 系統の増幅信号  $y_1(n)$  の振幅を減衰させる。振幅減衰部 24 での振幅減衰量を  $\alpha_1(\theta_1)$  とすると、第 1 系統の減衰した増幅信号  $y_1'(n)$  は、

$$y_1'(n) = \alpha_1 y_1(n) \cdots (C10)$$

と表わされる。

【0112】

振幅減衰部 25 は、第 2 系統の増幅信号  $y_2(n)$  の振幅を減衰させる。振幅減衰部 25 での振幅減衰量を  $\alpha_2(\theta_2)$  とすると、第 2 系統の減衰した増幅信号  $y_2'(n)$  は、

$$y_2'(n) = \alpha_2 y_2(n) \cdots (C11)$$

と表わされる。

【0113】

加算器 16 は、第 1 系統の減衰した増幅信号  $y_1'(n)$  と第 2 系統の減衰した増幅信号  $y_2'(n)$  とを加算して、出力信号  $y(n)$  を出力する。出力信号  $y(n)$  は、次のように表わされる。

【0114】

$$y(n) = y_1'(n) + y_2'(n) \cdots (C12)$$

式 (C8) ~ (C12) より、次式が成り立つ。

【0115】

$$y(n) = V_1 \alpha_1 \exp [ j(\theta_1(n) + \phi_1(n) + \theta_1) ] + V_2 \alpha_2 \exp [ j(\theta_2(n) - \phi_2(n) - \theta_2) ] \cdots (C13)$$

振幅減衰量計算部 21 は、以下のようにして、式 (C13) に基づいて、振幅減衰量  $\alpha_1$  および  $\alpha_2$  を算出する。

【0116】

ここで、非線形増幅器 14 および非線形増幅器 15 の出力振幅  $V_1$ 、 $V_2$ 、および、位相変化  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  には、次の関係があるとする。

【0117】

$$V_2 = V_1 \cdots (C14)$$

$$\theta_2 = \theta_1 + \phi_2 \cdots (C15)$$

位相補正部 21 および振幅減衰部 24、25 による補正によって、適切に補正されている場合には、出力信号  $y(n)$  は、たとえば、

$$y(n) = (V_1/V) s(n) \exp(j\theta_1) \cdots (C16)$$

と表わされる。

【0118】

式 (C1)、(C6)、(C14)、(C15) を用いて、式 (C13) および (C16) を整理すると、次式が成り立つ。

【0119】

$$2 \cos(\theta_2(n)) = \exp(j\theta_2(n)) + (\alpha_2/\alpha_1) \exp(-j\theta_2(n)) \cdots (C17)$$

式 (C17) が常に成り立つためには、

$$(\alpha_2/\alpha_1) = 1 \cdots (C18)$$

でなければならない。(C18) を変形すると、

10

20

30

40

50

$$1/2 = \dots (C19)$$

となる。振幅減衰量計算部23は、式(C19)を満たした上で、出力信号  $y(n)$  が大きくなるように、振幅減衰量  $\alpha_1$  および  $\alpha_2$  を次のようにして算出する。

【0120】

1)  $\alpha = 1$  のとき、

このときには、(C19)より、 $\alpha_1 = \alpha_2$  となる。 $\alpha_1 \geq 1$ 、かつ  $\alpha_2 \geq 1$  なので、出力  $y(n)$  を大きくするために、

$$\alpha_1 = 1, \text{ かつ } \alpha_2 = 1 \dots (C20)$$

とする。

【0121】

このときには、第1系統の減衰した増幅信号  $y_1'(n)$  の振幅  $\alpha_1 V_1$  は、 $V_1$  となり、第2系統の減衰した増幅信号  $y_2'(n)$  の振幅  $\alpha_2 V_2$  は、 $V_2$  となる。 $\alpha = 1$  より、 $V_2 = V_1$  なので、第1系統の減衰した増幅信号  $y_1'(n)$  の振幅  $\alpha_1 V_1$  と、第2系統の減衰した増幅信号  $y_2'(n)$  の振幅  $\alpha_1 V_2$  とは、等しくなる。

10

【0122】

2)  $\alpha < 1$  のとき、

このときには、(C19)より、 $\alpha_1 < \alpha_2$  となる。 $\alpha_1 \geq 1$ 、かつ  $\alpha_2 \geq 1$  であり、出力  $y(n)$  を大きくするために、

$$\alpha_1 = \alpha, \text{ かつ } \alpha_2 = 1 \dots (C21)$$

とする。このときには、第1系統の減衰した増幅信号  $y_1'(n)$  の振幅  $\alpha_1 V_1$  は、 $\alpha V_1$  となり、第2系統の減衰した増幅信号  $y_2'(n)$  の振幅  $\alpha_2 V_2$  は、 $V_2$  となる。 $V_2 = V_1$  なので、第1系統の減衰した増幅信号  $y_1'(n)$  の振幅  $\alpha_1 V_1$  と、第2系統の減衰した増幅信号  $y_2'(n)$  の振幅  $\alpha_1 V_2$  とは、等しくなる。

20

【0123】

3)  $\alpha > 1$  のとき、

このときには、(C19)より、 $\alpha_1 > \alpha_2$  となる。 $\alpha_1 \geq 1$ 、かつ  $\alpha_2 \geq 1$  であり、出力  $y(n)$  を大きくするために、

$$\alpha_1 = 1, \text{ かつ } \alpha_2 = 1/\alpha \dots (C22)$$

とする。

【0124】

このときには、第1系統の減衰した増幅信号  $y_1'(n)$  の振幅  $\alpha_1 V_1$  は、 $V_1$  となり、第2系統の減衰した増幅信号  $y_2'(n)$  の振幅  $\alpha_2 V_2$  は、 $(1/\alpha) V_2$  となる。 $V_2 = V_1$  なので、第1系統の減衰した増幅信号  $y_1'(n)$  の振幅  $\alpha_1 V_1$  と、第2系統の減衰した増幅信号  $y_2'(n)$  の振幅  $\alpha_1 V_2$  とは、等しくなる。

30

【0125】

図6は、 $y_1^*(n)$ 、 $y_2^*(n)$ 、および  $y^*(n)$  と、 $y_1(n)$ 、 $y_2(n)$ 、および  $y(n)$  の相違を示す図である。

【0126】

図14に示したように、一方の非線形増幅器の出力振幅が  $V_1$  で位相変化が  $\theta_1$  であり、他方の非線形増幅器の出力振幅が  $V_2$  で位相変化が  $\theta_2$  のときには、一方の非線形増幅器の増幅信号  $y_1^*(n)$  と、他方の非線形増幅器の増幅信号  $y_2^*(n)$  とが合成されて、出力信号  $y^*(n)$  が得られる。出力信号  $y^*(n)$  の大きさは、所望の値である  $(V_1/V)A(n)$  とならない。

40

【0127】

振幅減衰部24による補正によって、第1系統の減衰した増幅信号  $y_1'(n)$  は、補正なしの増幅信号  $y_1^*(n)$  を  $\alpha_1 (= 1)$  だけ減衰したものとなる。位相補正部21および振幅減衰部25による補正によって、第2系統の減衰した増幅信号  $y_2'(n)$  は、補正なしの増幅信号  $y_2^*(n)$  を  $-\theta_2$  だけ回転し、かつ  $\alpha_2 (= 1/\alpha < 1)$  だけ減衰したものとなる。

【0128】

50



この2つの減衰した増幅信号  $y_1'(n)$  と  $y_2'(n)$  とが合成されて出力信号  $y(n)$  が得られる。

【0129】

振幅減衰部 24, 25 および位相補正部 21 による補正によって、出力信号  $y(n)$  の出力振幅と位相を所望の値に設定することができる。

【0130】

つまり、出力信号  $y(n)$  の出力振幅（つまり、ベクトル大きさ）は、減衰した増幅信号  $y_1'(n)$  の振幅（つまり、ベクトルの大きさ）と、減衰した増幅信号  $y_2'(n)$  の振幅（つまり、ベクトルの大きさ）と、2つの減衰した増幅信号  $y_1'(n)$  と  $y_2'(n)$  との位相差（つまり、ベクトルのなす角度）に依存する。したがって、振幅減衰部 24 および 25 による振幅減衰と、位相補正部 21 による位相補正とによって、出力信号  $y(n)$  の出力振幅を所望の値に設定することができる。

10

【0131】

また、出力信号  $y(n)$  の位相（つまり、ベクトルの方向）は、減衰した増幅信号  $y_1'(n)$  の振幅（つまり、ベクトルの大きさ）と、減衰した増幅信号  $y_2'(n)$  の振幅（つまり、ベクトルの大きさ）と、2つの減衰した増幅信号  $y_1'(n)$  と  $y_2'(n)$  との位相差（つまり、ベクトルのなす角度）に依存する。したがって、振幅減衰部 24 および 25 による振幅減衰と、位相補正部 21 による位相補正によって、出力信号  $y(n)$  の位相を所望の値に設定することができる。

20

【0132】

アンバランス推定部 22 は、 $s_1(n)$ 、 $s_2(n)$ 、および  $y(n)$  より、最小 2 乗法を利用して、 $\hat{s}_1(n)$  および  $\hat{s}_2(n)$  を算出する。この最小 2 乗法について説明する。

【0133】

まず、式 (C13) を、式 (C3) および (C4) により書換えると、

$$y(n) = (V_1/V) s_1(n) \exp(j\omega_1 n) + (V_2/V) s_2(n) \exp(j\omega_2 n) \cdots (C23)$$

と表わされる。

【0134】

最初は、 $\hat{s}_1(n) = 0$ 、 $\hat{s}_2(n) = 1$ 、および  $\hat{y}(n) = 1$  とすると、出力信号  $y(n)$  は、 $y(n) = (V_1/V) s_1(n) \exp(j\omega_1 n) + (V_2/V) s_2(n) \exp(j\omega_2 n) \cdots (C24)$

30

と表わされる。

【0135】

ここで、

$$c_1 = (V_1/V) \exp(j\omega_1 n) \cdots (C25)$$

$$c_2 = (V_2/V) \exp(j\omega_2 n) \cdots (C26)$$

とすると、出力信号  $y(n)$  は、

$$y(n) = c_1 s_1(n) + c_2 s_2(n) \cdots (C27)$$

となる。式 (C27) を変形すると、

$$s_1(n) + (c_2/c_1) s_2(n) - (1/c_1) y(n) = 0 \cdots (C28)$$

40

となる。式 (C28) を用いて、誤差信号  $e(n)$  を次のように定義する。

【0136】

$$e(n) = s_1(n) - w_1^* s_2(n) - w_2^* y(n) \cdots (C29)$$

ここで、

$$w_1^* = -(c_2/c_1) \cdots (C30)$$

$$w_2^* = (1/c_1) \cdots (C31)$$

である。ここで、 $*$  は、共役複素演算を表わす。

【0137】

(C29) をベクトルで表わすと、

$$e(n) = s_1(n) - W^H X(n) \cdots (C32)$$

50

となる。ここで、

$$W = [w_1, w_2]^T \cdots (C33)$$

$$X(n) = [s_2(n), y(n)]^T \cdots (C34)$$

である。ここで、 $[ \dots ]^T$  は、 $[ \dots ]$  の転置を示し、 $[ \dots ]^H$  は、 $[ \dots ]$  の共役転置を示す。

【0138】

評価関数  $J$  を

$$J = |e(n)|^2 \cdots (C35)$$

とする。ここで、 $\sum$  は、総和を示す。最小 2 乗法とは、結局のところ、この評価関数  $J$  を最小とする  $w_1$  と  $w_2$  とを求めることである。

10

【0139】

最適な解は、

$$W = R^{-1} r \cdots (C36)$$

として与えられる。ここで、

$$R = \{X(n)X^H(n)\} \cdots (C37)$$

$$r = \{X(n)s_1^*(n)\} \cdots (C38)$$

である。 $[ \dots ]^{-1}$  は、 $[ \dots ]$  の逆行列を示す。

【0140】

式 (C36) ~ (C38) によって、 $N$  個の  $s_1(n)$ 、 $s_2(n)$ 、および  $y(n)$  から  $W$  を計算する。

20

【0141】

$W$  を計算した後、式 (C33) から  $w_1$  が得られる。さらに、式 (C30) より、 $w_1$  の複素共役をとると、 $-(c_2/c_1)$  が得られる。さらに、これに、 $(-1)$  を乗算して、 $(c_2/c_1)$  が得られる。

【0142】

(C14)、(C15)、(C25) および (C26) より、

$$(c_2/c_1) = (V_2/V_1) \exp(j\theta_2) / \exp(j\theta_1) = \exp(j\theta) \cdots (C39)$$

が成り立つ。したがって、得られた  $(c_2/c_1)$  の絶対値が  $V_2/V_1$  であり、位相が  $\theta_2 - \theta_1$  となる。以上により、 $\theta_2$  と  $\theta_1$  が得られたことになる。

30

【0143】

以上のように、本実施の形態に係る LIN C 方式線形増幅器によれば、位相補正部 21、および振幅減衰部 24、25 によって、1 系統の定振幅信号の位相を補正するとともに、2 系統の増幅信号の振幅を補正することによって、補正を行わない場合と比べて、出力信号の波形歪み、すなわち、実際の出力信号と所望の出力信号との差を小さくすることができ、その結果、出力信号の帯域外成分を小さくすることができる。

【0144】

また、振幅減衰量計算部 23 は、 $V_2/V_1 = 1$  のときに、 $\theta_1 = 1$ 、かつ  $\theta_2 = 1$  とし、 $V_2/V_1 < 1$  のときに、 $\theta_1 = 1$ 、かつ  $\theta_2 = 1$  とし、 $V_2/V_1 > 1$  のときに、 $\theta_1 = 1$ 、かつ  $\theta_2 = 1/V_2/V_1$  とするので、出力信号の出力振幅を大きくすることができる。

40

【0145】

また、位相補正部 21 における位相補正量  $\theta$ 、振幅減衰部 24、25 における振幅減衰量  $\theta_1$  および  $\theta_2$  は、各時刻ごとに計算する必要がないので、補正のための処理負担を軽くすることができる。

【0146】

<変形例>

本発明は、上記実施の形態に限定されるものではなく、以下の変形例も当然ながら包含する。

【0147】

(アンバランス推定部)

50

第1および第2の実施形態では、アンバランス推定部18, 22によって、およびの値を推定するものとしたが、およびの値が既知の場合には、アンバランス推定部18, 22によるこれらの値の推定は不要である。また、アンバランス推定部18, 22によっておよびの値を一度推定し、それ以降これらの値が変動しない場合には、それ以降のこれらの値の推定は不要である。

【0148】

アンバランス推定部18が不要のときには、図示しない指定部が、およびを保持し、これらを位相補正量計算部17に与えるものとすることができる。

【0149】

また、アンバランス推定部22が不要のときには、図示しない指定部が、およびを保持し、を振幅減算量計算部23に与え、を位相補正部21に与えるものとする

10

【0150】

(3以上の複数系統への分離)

本発明の実施形態では、入力信号を2系統の定振幅信号に分離して、各系統の定振幅信号に対して、位相の補正、または振幅の補正を行なうことによって、出力信号の振幅と位相を所望の値に設定したが、これに限定されるものではない。たとえば、入力信号を3系統以上の定振幅信号に分離して、そのうちの2系統の定振幅信号に対して、位相の補正、または振幅の補正を行なうことによって、出力信号の振幅と位相を所望の値に設定するもの

20

【0151】

あるいは、入力信号を3系統以上の定振幅信号に分離して、分離した各系統の定振幅信号に対して、位相の補正、または振幅の補正を行なうことによって、出力信号の振幅と位相を所望の値に設定するものとしてもよい。

【0152】

第1の実施形態では、各系統の位相補正部が、分離された各系統の定振幅信号の位相の補正、つまり、図2のベクトル平面において各系統の定振幅信号を示すベクトルを回転する補正を行なう。この位相補正量(回転量)は、補正後のベクトルを合成したベクトルが所望の出力信号 $y(n)$ を示すベクトルと一致するように位相補正量計算部が計算すればよい。

30

【0153】

第2の実施形態では、位相補正部が、第1系統を除く各系統の分離された定振幅信号の位相の補正、つまり、図6のベクトル平面において各系統の定振幅信号を示すベクトルを回転する補正を行なう。この位相補正量(回転量)は、第1系統の非線形増幅器の位相変化と、各系統の非線形増幅器の位相変化との差とする。そして、非線形増幅器で増幅された各系統の増幅信号の振幅を減衰させる補正、つまり、図6のベクトル平面において、各系統の増幅信号を示すベクトルの大きさを縮小する補正を行なう。この縮小率(振幅減衰量)は、補正後のベクトルを合成したベクトルが所望の出力信号 $y(n)$ を示すベクトルと一致するように振幅減衰量計算部が計算すればよい。

【0154】

そして、これら3系統以上の定振幅信号に分離するときには、アンバランス推定部は各系統のおよびを推定し、指定部は各系統のおよびを保持する。アンバランス推定部および指定部は、これらのまたはの値を、位相補正量計算部、振幅減算量計算部、または位相補正部に与えるものとする

40

【0155】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【0156】

50

【発明の効果】

この発明に係るにLINC方式線形増幅器によれば、入力信号を複数の定振幅信号に分離する信号分離部と、各系統の分離された定振幅信号を指定された位相量だけ回転して位相補正を行なう位相補正部と、各系統の位相補正された定振幅信号を増幅して、一定振幅の信号を出力する非線形増幅器と、各系統の非線形増幅器の出力を合成して出力信号として出力する加算部と、各系統の非線形増幅器の出力振幅および位相の相違を示す相違量に基づいて、出力信号が所望の値となるように、各系統の前記位相補正部で補正すべき位相量を算出する位相補正量計算部とを備えるので、高い電力効率で動作する複数台の非線形増幅器を用いて線形増幅を行ない、複数台の非線形増幅器の間に振幅差または位相差がある場合においても、適切な補正によって所望の値に近い値を出力することができる。

10

【0157】

また、この発明に係るLINC方式線形増幅器によれば、入力信号を複数の定振幅信号に分離する信号分離部と、第1系統を除く各系統の分離された定振幅信号を指定された位相量だけ回転して位相補正を行なう位相補正部と、各系統の定振幅信号または位相補正された定振幅信号を増幅して、一定振幅の信号を出力する非線形増幅器と、各系統の非線形増幅器の出力の振幅を指定された減衰量だけ減衰させる振幅減衰部と、各系統の振幅減衰部の出力を合成して、出力信号として出力する加算部と、第1系統の非線形増幅器の位相変化と、各系統の非線形増幅器の位相変化との差を、位相補正部で補正すべき位相量として位相補正部に与える指定部と、各系統の非線形増幅器の出力振幅の相違を示す相違量に基づいて、出力信号が所望の値となるように、各振幅減衰部で減衰すべき減衰量を算出する振幅減衰量計算部とを備えるので、高い電力効率で動作する複数台の非線形増幅器を用いて線形増幅を行ない、複数台の非線形増幅器の間に振幅差または位相差がある場合においても、適切な補正によって所望の値に近い値を出力することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【図1】 第1の実施形態に係るLINC方式線形増幅器の構成を示す図である。

【図2】  $y_1^*(n)$ 、 $y_2^*(n)$ 、および $y^*(n)$ と、 $y_1(n)$ 、 $y_2(n)$ 、 $y(n)$ の相違を示す図である。

【図3】 式(B15)の関係を表す図である。

【図4】 (a)は、入力信号の振幅 $A(n) = 0$ のときの、2系統の定振幅信号の状態を示す図であり、(b)は、位相補正による出力信号が最小となるときの、2系統の増幅信号の状態を示す図である。

30

【図5】 第2の実施形態に係るLINC方式線形増幅器の構成を示す図である。

【図6】  $y_1^*(n)$ 、 $y_2^*(n)$ 、および $y^*(n)$ と、 $y_1(n)$ 、 $y_2(n)$ 、および $y(n)$ の相違を示す図である。

【図7】 従来のLINC方式線形増幅器の構成を示す図である。

【図8】 図7に示す従来のLINC方式線形増幅器における $s_1(n)$ 、 $s_2(n)$ 、 $s(n)$ 、 $y_1(n)$ 、 $y_2(n)$ 、 $y(n)$ をベクトルで表した図である。

【図9】 非特許文献1に記載の従来方式線形増幅器の構成を示す図である。

【図10】 図9に示す従来方式線形増幅器における $s_1(n)$ 、 $s_2(n)$ 、 $s_2'(n)$ 、 $s(n)$ 、 $y_1(n)$ 、 $y_2(n)$ 、 $y(n)$ をベクトルで表した図である。

40

【図11】 A級またはAB級増幅器の入出力信号の関係を示す図である。

【図12】 (a)は、入力信号の時間変化を示し、(b)は、出力信号の時間変化を示す波形図である。

【図13】 出力信号の周波数を示す図である。

【図14】 2台の非線形増幅器の出力振幅および位相特性にばらつきがないときの出力信号 $y(n)$ と、ばらつきがあるときの出力信号 $y^*(n)$ とを示す図である。

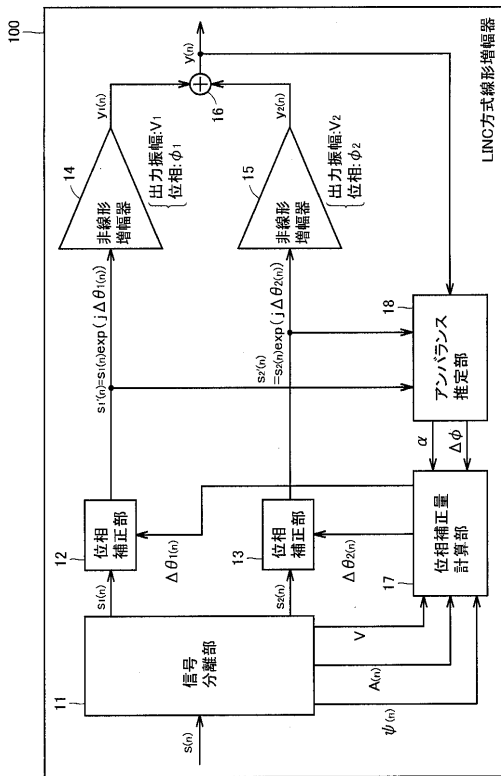
【符号の説明】

- 11 信号分離部、12, 13 位相補正部、14, 15、51, 52 非線形増幅器、
- 16 加算器、17 位相補正量計算部、18, 22, 63 アンバランス推定部、23 振幅減衰量計算部、24, 25 振幅減衰部、26 乗算器、61, 62, 64 増幅

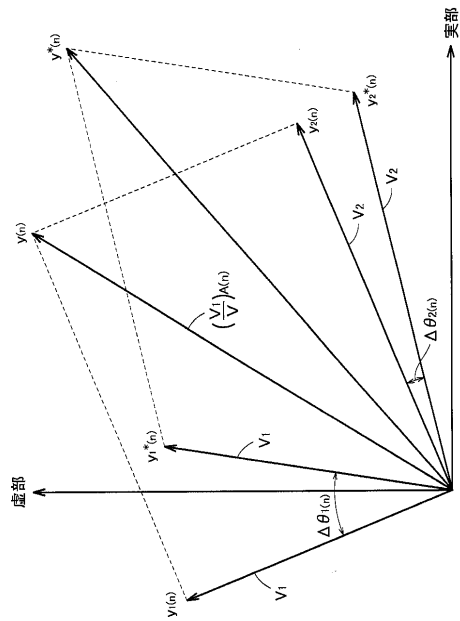
50

器、70 従来のLINC方式線形増幅器、80 従来方式線形増幅器、100, 200 LINC方式線形増幅器。

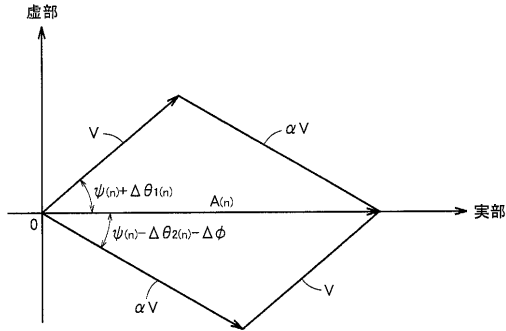
【図1】



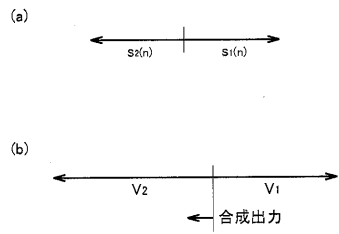
【図2】



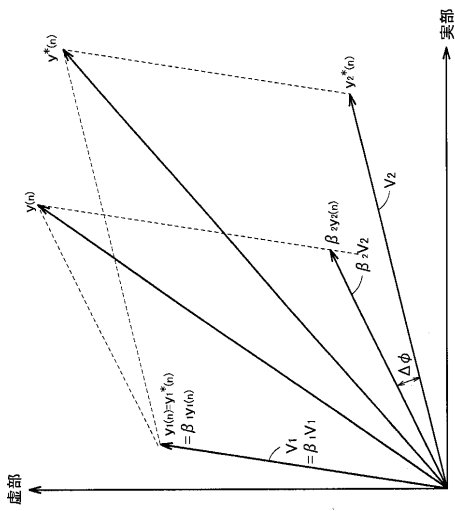
【図3】



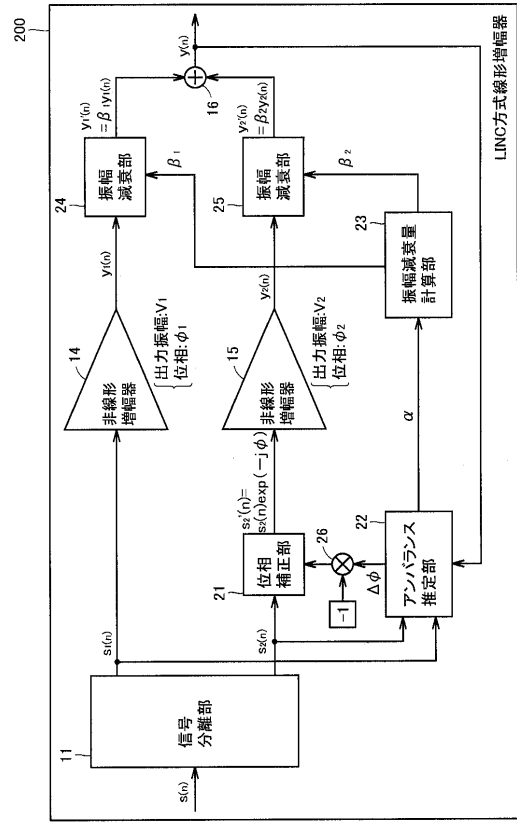
【図4】



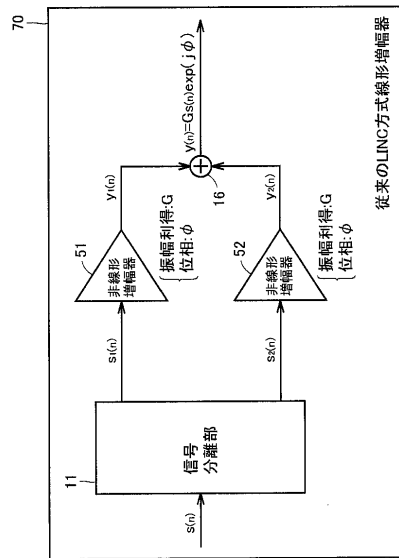
【図6】



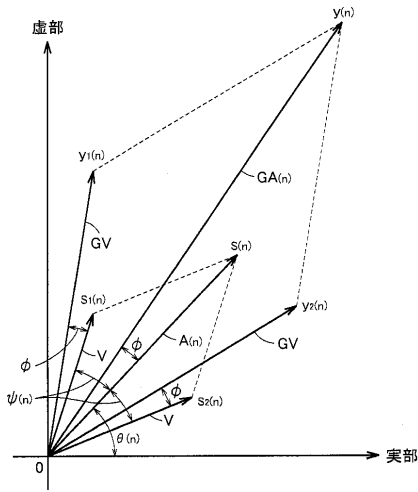
【図5】



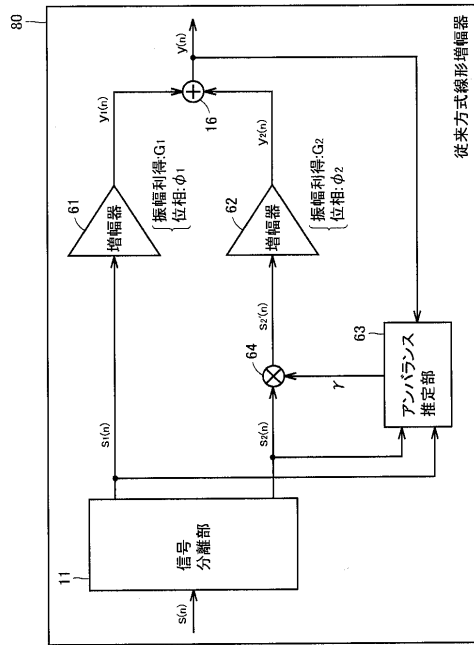
【図7】



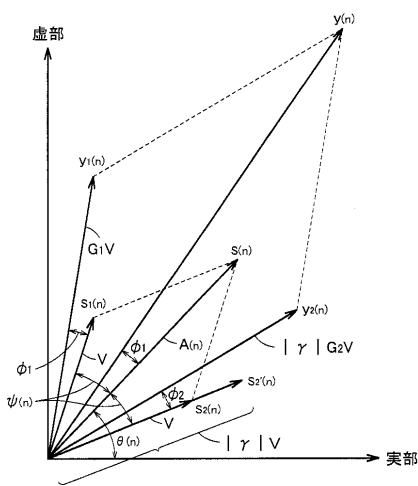
【図 8】



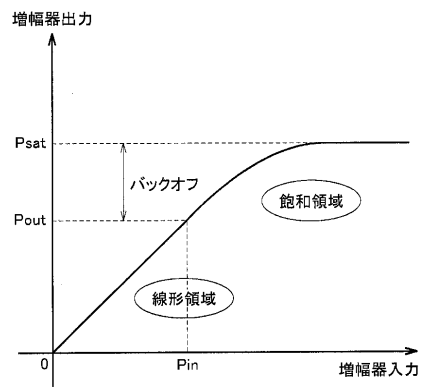
【図 9】



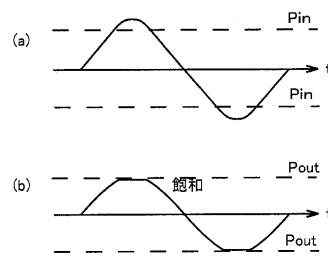
【図 10】



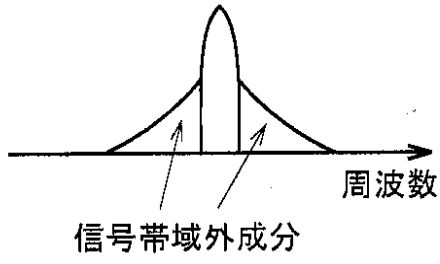
【図 11】



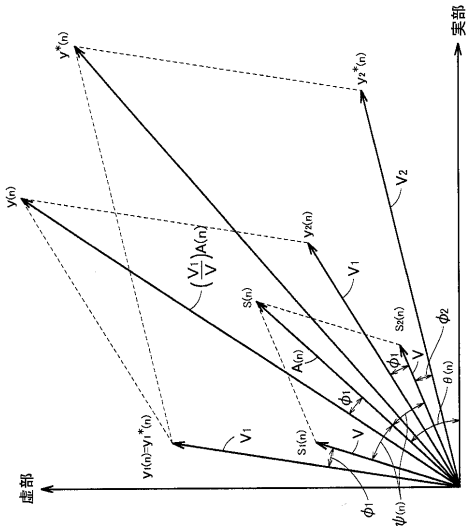
【図 12】



【 图 1 3 】



【 图 1 4 】





---

フロントページの続き

- (72)発明者 平川 満  
大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内
- (72)発明者 前畠 貴  
大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内
- (72)発明者 岡田 洋侍  
大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内
- (72)発明者 杉本 充生  
大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内

審査官 石原 由晴

- (56)参考文献 特表2002-506309(JP,A)  
米国特許第05901346(US,A)  
特開平11-330868(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H03F 1/00-3/45  
H03F 3/50-3/52  
H03F 3/62-3/64  
H03F 3/68-3/72  
H04B 1/02-1/04