

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-11348

(P2010-11348A)

(43) 公開日 平成22年1月14日(2010.1.14)

|                            |           |             |
|----------------------------|-----------|-------------|
| (51) Int.Cl.               | F I       | テーマコード (参考) |
| <b>H03F 1/32 (2006.01)</b> | H03F 1/32 | 5J500       |
| <b>H03F 3/24 (2006.01)</b> | H03F 3/24 |             |

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 8 頁)

|           |                              |          |                                |
|-----------|------------------------------|----------|--------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2008-171169 (P2008-171169) | (71) 出願人 | 000002130                      |
| (22) 出願日  | 平成20年6月30日 (2008. 6. 30)     |          | 住友電気工業株式会社                     |
|           |                              |          | 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号            |
|           |                              | (74) 代理人 | 110000280                      |
|           |                              |          | 特許業務法人サンクレスト国際特許事務所            |
|           |                              | (72) 発明者 | 大西 政彦                          |
|           |                              |          | 大阪府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 | 戸谷 一幸                          |
|           |                              |          | 大阪府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               |
|           |                              | Fターム(参考) | 5J500 AA01 AA41 AC22 AC26 AF08 |
|           |                              |          | AK33 AS14 AT02 AT03 NG03       |

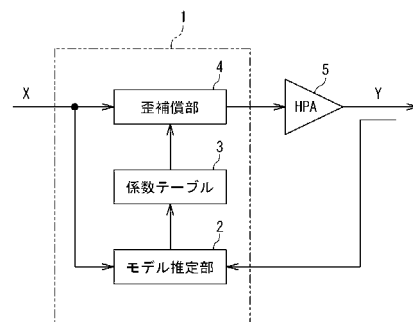
(54) 【発明の名称】歪補償回路及び歪補償方法

(57) 【要約】

【課題】過剰補償を防止する歪補償回路及び歪補償方法を提供する。

【解決手段】増幅器5の出力信号を入力信号Xのn次べき級数の多項式の形で表したモデルを推定するモデル推定部2と、モデルに対する逆モデルを入力信号に付加することにより増幅器5の入出力特性の歪を打ち消す歪補償を行う歪補償部4とを備えた歪補償回路1において、モデル推定部2は、多項式における各次の係数が、次数が大きいくほど小さいという規則性を維持しているか否かに基づいて、nの値を増減する。特に、過剰補償になる場合には最大次数を下げるので、過剰補償を防止することができる。

【選択図】図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

増幅器の出力信号を入力信号の  $n$  次べき級数の多項式の形で表したモデルを推定するモデル推定部と、

前記モデルに対する逆モデルを前記入力信号に付加することにより前記増幅器の入出力特性の歪を打ち消す歪補償を行う歪補償部と、を備えた歪補償回路であって、

前記モデル推定部は、前記多項式における各次の係数が、次数が大きいほど小さいという規則性を維持しているか否かに基づいて、 $n$  の値を増減する機能を有することを特徴とする歪補償回路。

## 【請求項 2】

前記規則性に反する係数が出現した場合、前記モデル推定部は、次数を 1 減少させてモデルを推定する請求項 1 記載の歪補償回路。

## 【請求項 3】

1 から順に各次の係数が前記規則性を維持し、かつ、前記モデルと実際の前記出力信号との誤差が所定値以内となったときの当該次数を、前記モデル推定部は、前記  $n$  の値とする請求項 1 又は 2 に記載の歪補償回路。

## 【請求項 4】

増幅器の出力信号を入力信号の  $n$  次べき級数の多項式の形で表したモデルを推定し、前記モデルに対する逆モデルを前記入力信号に付加することにより前記増幅器の入出力特性の歪を打ち消す歪補償を行う歪補償方法であって、

前記多項式における各次の係数が、次数が大きいほど小さいという規則性を維持しているか否かに基づいて  $n$  の値を増減し、

1 から順に各次の係数が前記規則性を維持し、かつ、前記モデルと実際の前記出力信号との誤差が所定値以内となったときの当該次数を前記  $n$  の値とする

ことを特徴とする歪補償方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、例えば無線送受信機に用いられる高出力増幅器の非線形特性を補償する機能を備えた歪補償回路及びその歪補償方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

一般的に、高出力増幅器（HPA: High Power Amplifier）は、効率特性を優先するが故に、入出力特性の線形性が低い。従って、このような増幅器を用いて電力を増幅すると、入出力特性の歪により、所望の出力が得られない場合がある。そこで、このような歪を補償するための歪補償方式として、増幅器の入力信号に対して、増幅器の歪特性とは逆の、逆歪特性をデジタル信号処理により生成して増幅器の入力に付加する DPD（Digital Pre-Distortion）処理を施すことにより、所望の増幅器出力を得る手法が提案されている（例えば、非特許文献 1 参照。）。

## 【0003】

また、広帯域信号を増幅する高出力増幅器に対して精度の高い DPD 処理を施すべく、多項式で表される歪補償を行うことが提案されている（例えば、特許文献 1 参照。）。

## 【0004】

【非特許文献 1】 Thesis by Lei Ding, "Digital predistortion of power amplifiers for wireless application", Georgia institute of Technology, March 2004

## 【特許文献 1】 特開 2007-282066 号公報

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

しかしながら、逆歪特性が正しく推定されない場合もあり、その場合には、増幅器の非

10

20

30

40

50

線形特性を助長する結果となる。図 5 は、増幅器の入出力特性の 2 例を示すグラフであり、横軸は入力信号振幅を、縦軸は出力信号振幅を、それぞれ示している。(a) に示す特性は形状が複雑で非線形性が大きく、一方、(b) に示す特性は形状が単純で非線形性が小さい。なお、点線は理想的な直線状の特性を示す。(a)、(b) の特性について、所定次数のべき級数の多項式でモデルの推定を行い、その逆モデルを求めると、図 6 の (a)、(b) に示す破線のようにになる。実線は、図 5 の (a)、(b) と同一の入出力特性を示す。

#### 【0006】

図 6 の (a) の場合には、入出力特性の歪を補償するに適切な逆モデルが与えられ、その結果、(c) に示すように歪が取り除かれた直線性の高い入出力特性が得られる。ところが、図 6 の (b) の場合には、逆モデルが不適切となり、過剰な補償を行う。その結果、(d) に示すように、点線の反対側に歪が出る。このような原因は、単純な形状の歪を、高次多項式によって過剰補償することにあると考えられる。このような過剰補償への着眼と、その解決策は、未だ提案されていない。

#### 【0007】

かかる従来の課題に鑑み、本発明は、過剰補償を防止する歪補償回路及び歪補償方法を提供することを目的とする。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0008】

本発明は、増幅器の出力信号を入力信号の  $n$  次べき級数の多項式の形で表したモデルを推定するモデル推定部と、前記モデルに対する逆モデルを前記入力信号に付加することにより前記増幅器の入出力特性の歪を打ち消す歪補償を行う歪補償部とを備えた歪補償回路であって、前記モデル推定部は、前記多項式における各次の係数が、次数が大きいほど小さいという規則性を維持しているか否かに基づいて、 $n$  の値を増減する機能を有するものである。

#### 【0009】

上記のように構成された歪補償回路では、多項式の最大次数である  $n$  を固定値とせず、係数の規則性に着目してモデルの適否を判定し、適切なモデルとなるように増減することができる。特に、過剰補償になる場合には最大次数を下げることができる。

#### 【0010】

上記歪補償回路において、規則性に反する係数が出現した場合、モデル推定部は、次数を 1 減少させてモデルを推定するようにしてもよい。

この場合、過剰補償になる直前の次数で、モデルの推定を行うことができる。

#### 【0011】

また、上記歪補償回路において、1 から順に各次の係数が前記規則性を維持し、かつ、モデルと実際の出力信号との誤差が所定値以内となったときの当該次数を、モデル推定部は、 $n$  の値とすることができる。

この場合、規則性の維持によって過剰補償を排除し得る範囲内で、正確なモデルを推定することができる。

#### 【0012】

一方、本発明は、増幅器の出力信号を入力信号の  $n$  次べき級数の多項式の形で表したモデルを推定し、前記モデルに対する逆モデルを前記入力信号に付加することにより前記増幅器の入出力特性の歪を打ち消す歪補償を行う歪補償方法であって、前記多項式における各次の係数が、次数が大きいほど小さいという規則性を維持しているか否かに基づいて  $n$  の値を増減し、1 から順に各次の係数が前記規則性を維持し、かつ、前記モデルと実際の前記出力信号との誤差が所定値以内となったときの当該次数を前記  $n$  の値とするものである。

#### 【0013】

上記のような歪補償方法によれば、多項式の最大次数である  $n$  を固定値とせず、係数の規則性に着目してモデルの適否を判定し、適切なモデルとなるように増減することができ

10

20

30

40

50

る。特に、過剰補償になる場合には最大次数を下げるができる。また、規則性の維持によって過剰補償を排除し得る範囲内で、正確なモデルを推定することができる。

【発明の効果】

【0014】

本発明の歪補償回路によれば、過剰補償になる場合には最大次数を下げるができるので、過剰補償を防止することができる。このようにして必要以上に次数を上げないことにより、比較的低次の演算が増加することになり、高速な歪補償に寄与する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

図1は、本発明の一実施形態に係る歪補償回路1の主要部を示すブロック図である。歪補償回路1は、高出力増幅器（HPA、以下、単に増幅器という。）5の出力信号Yを入力信号Xのn次べき級数の多項式の形で表したモデルを推定するモデル推定部2と、モデルの係数を一時的に記憶する係数テーブル3と、モデルに対する逆モデル（モデルの逆関数）を入力信号Xに付加することにより増幅器5の入出力特性の歪を打ち消す歪補償を行う歪補償部4とを備えている。モデル推定部2、係数テーブル3及び歪補償部4は、例えば、DSP（Digital Signal Processor）によって構成されている。なお、モデル推定部2には、入力信号X及び出力信号Yの両方が入力されている。

【0016】

増幅器5の非線形特性は、入力信号Xのべき級数多項式で表される。すなわち、出力信号をYとすると、以下のように表すことができる。なお、 $a_i$ は各次の係数である。

【0017】

【数1】

$$Y = \sum_{i=1}^n X(a_i \times |X|^{i-1})$$

【0018】

ここで、Xの係数 $a_i$ の値（絶対値）は、本来、次数が大きいほど小さくなる、ということが実験によりわかっている。すなわち、 $|a_1| > |a_2| > \dots > |a_{n-1}| > |a_n|$ という規則性がある。

図2の（a）は、強い非線形性を有する増幅器の高調波スペクトルを示すグラフである。高調波スペクトルは、増幅器の非線形特性と密接な関係があり、高調波スペクトルの強度が大きな増幅器は非線形性が強い。この場合、モデルの多項式は高次（例えば $n=10$ ）まで必要である。

【0019】

一方、図2の（b）は、弱い非線形性を有する増幅器の高調波スペクトルを示すグラフである。このような弱い非線形性の場合、例えば4次以上のスペクトル強度が小さく、あまり高い次数成分は不要である。必要以上に高い次数における係数を無理矢理定めようとすると、係数が発散する。すなわち、次数が1次下の係数より大きい $a_i$ が出現し、上記の規則性は維持できなくなる。このようなモデルに対する逆モデルによって歪補償を行うと、過剰補償になる。すなわち、上記のように係数が発散する場合は、過剰補償の状態である。

【0020】

そこで、多項式における各次の係数が、次数が大きいほど小さいという規則性を維持しているか否かに基づいて、nの値を増減する機能をモデル推定部2に持たせる。

図3は、モデル推定部2における処理を示すフローチャートである。処理の開始後、モデル推定部2は、nの初期値を1として（ステップS1）、モデルの推定を行う（ステップS2）。その後、モデル推定部2は、過剰補償か否かの判断を行う（ステップS3）。ここでは係数が $a_1$ だけであるので、 $a_1$ より大きい $a_2$ が存在するという事象は起こりえず、ステップS3の判断結果は「No」となる。

10

20

30

40

50

## 【0021】

次に、モデル推定部2は、モデルによって表された出力と、実際の出力との誤差が所定値以内（僅差）であるか否か、すなわち、モデルが適切かどうかの判断を行う（ステップS4）。この時点ではまだモデルは適切なレベルに達していないので、判断結果は「No」となる。従って、モデル推定部2は、 $n$ を1加算して（ステップS6）、再度モデル推定を行う（ステップS2）。このような処理が繰り返され、最初に誤差が所定値以内となった場合（ステップS4のYes）、一旦その次数に決定され、その次数でのモデル推定（ステップS2）が繰り返し行われる。

## 【0022】

一方、誤差が所定値以内になる前に過剰補償となってしまった場合や、上記のように一旦次数が決定された後、温度変化等により増幅器5の特性変化が生じたために過剰補償となった場合、すなわち、次数が1次下の係数より大きい係数が出現したときは、モデル推定部2は、 $n$ を1減じる処理を行う（ステップS5）。例えば、5次のモデル推定を行った結果、5次の係数 $a_5$ が、4次の係数 $a_4$ 以上となった場合は、4次のモデル推定に戻る。従って、過剰補償になった場合には次数が1下がり、その結果、必要以上の次数でのモデル推定は行われず、ということになる。

## 【0023】

また、上記のように一旦次数が決定された後、温度変化等により増幅器5の特性変化が生じたためにモデルが不適切となり、誤差が所定値以内でなくなった場合には、モデル推定部2は、 $n$ を1加算する処理を行う（ステップS6）。これにより、適切なモデルが再構築される。

## 【0024】

以上のような処理によって、高次が必要な場合は高次になり、逆に、必要以上の高次にはならないようにモデルが推定される。推定されたモデルの係数は、係数テーブル3に一時的に記憶される。歪補償部4は係数テーブル3を参照しながら逆モデルを求め、これを入力信号に付加することにより、歪補償を行う。

なお、上記とは別に、モデル推定部2で逆モデルまで求め、その係数を係数テーブル3に記憶させ、歪補償部4は係数テーブル3を参照しながら歪補償を行う、という構成であってもよい。

## 【0025】

図4の（a）、（b）は、増幅器の入出力特性（実線）及び逆モデル（破線）の2例を示すグラフであり、横軸は入力信号振幅を、縦軸は出力信号振幅を、それぞれ示している。（a）に示す特性は形状が複雑で非線形性が大きく、逆モデルの次数は10次に達し、適切な逆モデルが与えられる。一方、（b）に示す特性は形状が単純で非線形性が小さく、逆モデルの次数は3次にとどまり、適切なモデルが与えられる。なお、点線は理想的な直線状の特性を示す。このような補償の結果、（a）及び（b）いずれの場合も、それぞれ（c）及び（d）に示すように、歪が取り除かれた入出力特性が得られる。

## 【0026】

（b）の場合は次数が低いことにより、モデル推定の演算が簡単になり、その分、演算速度が速くなる。すなわち、必要以上に次数を上げないことにより、比較的低次の演算が増加することになり、高速な歪補償に寄与する。

## 【0027】

以上のように、本実施形態に係る歪補償回路1又は当該回路1によって実行される歪補償方法では、多項式の最大次数である $n$ を固定値とせず、係数の規則性に着目してモデルの適否を判定し、適切なモデルとなるように増減することができる。特に、過剰補償になる場合には最大次数を下げるできるので、過剰補償を防止する歪補償回路1又は歪補償方法を提供することができる。

## 【0028】

また、規則性に反する係数が出現した場合、モデル推定部2が、次数を1減少させてモデルを推定することにより、過剰補償になる直前の次数で、モデルの推定を行うことがで

10

20

30

40

50

きる。

また、1 から順に各次の係数が規則性を維持し、かつ、モデルと実際の出力信号との誤差が所定値以内となったときの当該次数を、モデル推定部 2 が、 $n$  の値とすることにより、規則性の維持によって過剰補償を排除し得る範囲内で、正確なモデルを推定することができる。

#### 【0029】

この論理は、メモリ効果補償を必要とする増幅器への歪補償にも、同様に適応される。つまり、過去の状態が現在の非直線性に影響を与える増幅器においても、現在の非直線性に影響を与えている任意の過去時の逆モデル特性のべき級数の各次数の係数が、次数が小さくなるに従って係数の値が小さくならなければ、次数を減らすことにより過剰補償を防ぐことができる。

10

#### 【0030】

なお、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、上記した意味ではなく、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及び範囲内での全ての変更が含まれることが意図される。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0031】

【図1】本発明の一実施形態に係る歪補償回路の主要部を示すブロック図である。

【図2】(a)は、強い非線形性を有する増幅器の高調波スペクトルを示すグラフ、(b)は、弱い非線形性を有する増幅器の高調波スペクトルを示すグラフである。

20

【図3】モデル推定部における処理を示すフローチャートである。

【図4】増幅器の入出力特性(実線)及び逆モデル(破線)の2例を示すグラフである。

【図5】増幅器の入出力特性の2例を示すグラフである。

【図6】増幅器の入出力特性の2例についての逆モデル及び歪補償後の特性を示すグラフ(従来例)である。

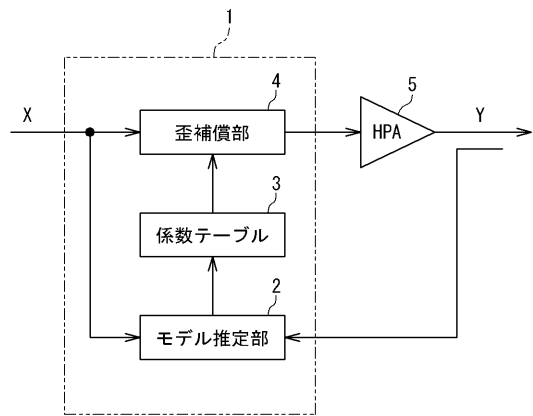
#### 【符号の説明】

#### 【0032】

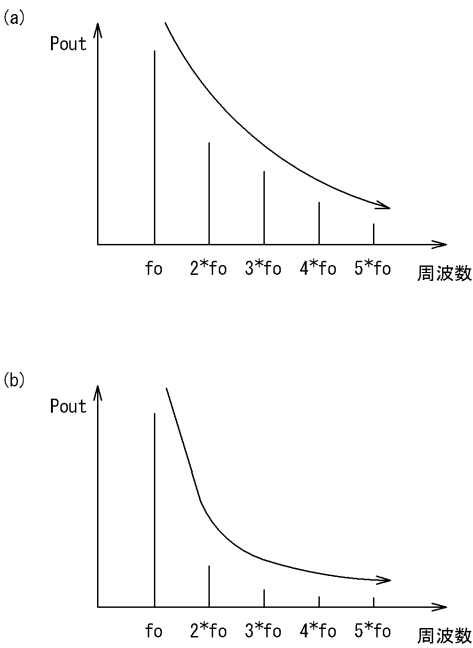
- 1 歪補償回路
- 2 モデル推定部
- 3 係数テーブル
- 4 歪補償部
- 5 増幅器

30

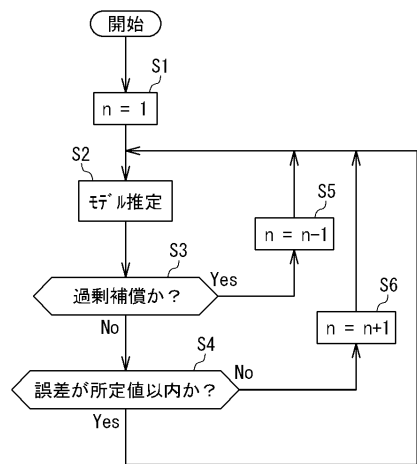
【図 1】



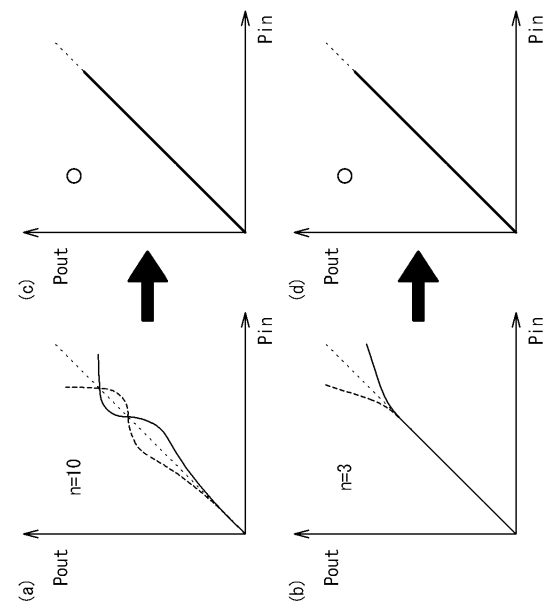
【図 2】



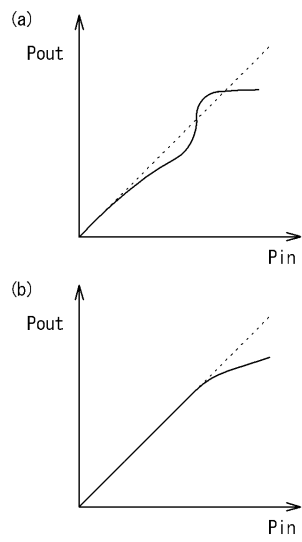
【図 3】



【図 4】



【図 5】



【図 6】

