

包絡線パルス密度変調送信機に用いる コンプリメンタリ型電力増幅器による歪改善

7309078 染谷 和

1. はじめに

無線通信における送信方法には高い電力効率と線形性が要求とされる。近年,その要求に応えるためにさまざまな手法が提案されている。

電力効率と線形性に対する要求に応える送信方式として包絡線パルス密度変調[1][2]という送信方法が提案されている。しかし,包絡線パルス密度変調は増幅器にバースト状の方形波が入力されるため,ドレインバイアスの過渡応答による歪みが発生するという問題がある。

本研究では,コンプリメンタリ動作を行う電力増幅器を実際に回路シミュレーション Advanced Design System で集積回路に向けて設計した.そして,包絡線パルス密度変調を用いた場合に E 級電力増幅器で発生していたドレインバイアスのバースト RF 信号過渡応答による歪みを改善し,その際の効率を EVM を用いて評価および検討することを目的とする。

2. 研究背景

2.1 包絡線パルス密度変調の動作原理

包絡線パルス密度変調送信方式の構成図を図 1 に示し,動作原理について説明する。入力信号を複素包絡線に生成し,入力信号の振幅成分 $A(t)$, 位相成分 $\phi(t)$ を得る。振幅成分 $A(t)$ は f_s Hz で標本化するパルス密度変調(PWM)により,振幅に比例したデューティ比を持つ PWM 信号を生成する。位相成分 $\phi(t)$ は搬送波 f_c [Hz] の周波数成分に変調し,信号を生成する。このとき, $f_s \ll f_c$ が成り立つ。この 2 つの信号を乗算することによってバースト信号が生成される。そして,バースト信号が電力増幅器に入力されることで増幅し,バンドパスフィルタによって基本周波数成分のみの信号を抽出することで増幅された入力信号に復元し,アンテナで送信する方式が包絡線パルス密度変調となる。

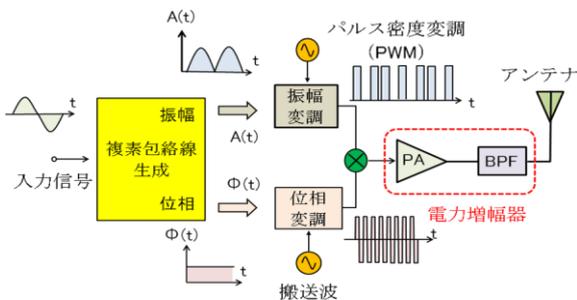


図 1 包絡線パルス密度変調の構成図

包絡線パルス密度変調の利点として,まず 1 つ目に挙げることは電力増幅器に入力される信号がパルス波形であることから,トランジスタが ON と OFF のスイッチング動作を行う。これはトランジスタに流れる電流と加わる電圧が交互に発生するので,消費される電力は理論的に 0 となる。したがって高い電力効率を得られる。2 つ目に振幅成分 $A(t)$ にパルス密度変調を行うことで,ノイズシェーピングが実現し,信号に付帯する量子化雑音を後段のバンドパスフィルタで大幅に除去できることにより,高い SNR(Signal Noise Rate : 雑音に対する信号の比)を得られる。問題点として,電力増幅器にバースト信号が入力されるので PWM による振幅に比例した周期の度に入力信号が発生することでバイアスの過渡応答による歪みが発生してしまうことが挙げられる。

3. シミュレーションによる評価とその評価方法

3.1 シミュレーション構成図

シミュレーションを行ったコンプリメンタリ型電力増幅器の構成を図 2 に示す。前段がパワーアンプで後段がバンドパスフィルタである。

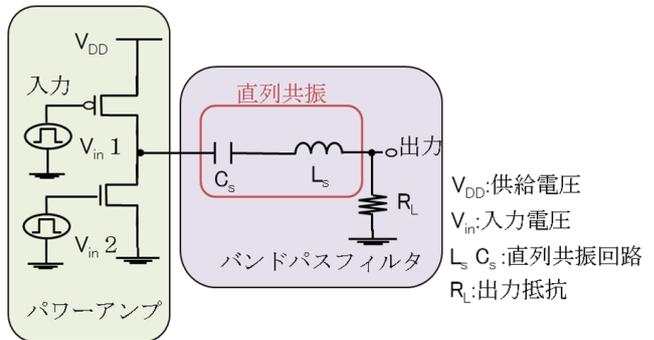


図 2 シミュレーション構成図

表 1 入力の諸元

入力周波数	1 [GHz]
V_{DD}	1.8 [V]

表 2 トランジスタの諸元

種類(上部)	PMOS
種類(下部)	NMOS
ゲート長	0.18 [μ m]
ゲート幅(上部)	910 [μ m]
ゲート幅(下部)	350 [μ m]

表 3 受動素子の諸元

R_L	50 [Ω]
C_s	10.0 [pF]
L_s	2.53 [nH]

表 1～3 にシミュレーションの諸元を各部分ごとに示す。

3.2.2 ドレイン効率

効率の評価としてドレイン効率を用いた。
ドレイン効率とは、負荷に伝達された電力 P_{out} を電源から消費した電力 P_{dc} で割ったものである。
ドレイン効率の式を以下に式を示す。

$$\eta_D(\%) = \frac{P_{out}}{P_{dc}} \times 100 \quad (3.1)$$

3.2.3 PAE

電力の効率評価方法として電力付加効率(PAE)を用いた。
PAE とはパワーアンプのパワー変換効率の指標で、理想的にはアンプへ供給されるすべてのパワーが出力パワーに変換されることである。また、式は式(3.2)のようになる。

$$\eta_{add}(\%) = \frac{P_{out} - P_{in}}{P_{dc}} \times 100 \quad (3.2)$$

また、入力電力を P_{in} とする。

3.2.4 EVM

評価方法として EVM(Error Vector Magnitude)を用いた。
EVM とは所望信号に対する誤差ベクトルの割合であり図 3 のように示される。また式は式(3.3)のようになる。

$$EVM_{RMS} = \left[\frac{\frac{1}{N} \sum_{r=1}^N |S_{ideal,r} - S_{meas,r}|^2}{\frac{1}{N} \sum_{r=1}^N |S_{ideal,r}|^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

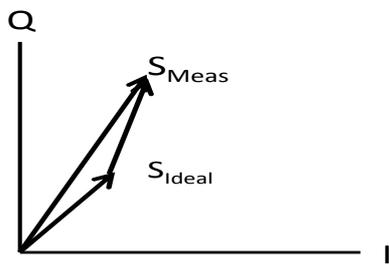


図 3 EVM の概念図

4 評価結果

評価結果を表 4 に示す。コンプリメンタリ型電力増幅器および E 級電力増幅器のドレイン効率,PAE,EVM をそれぞれに示す。

図 4 のコンスタレーションをみると歪みが改善していることがわかる。また表 4 の評価結果からも E 級電力増幅器の EVM が 23.1 [dB] に対してコンプリメンタリ型電力増幅器の場合は 32.4 [dB] と大幅に改善されている。このことから、歪みが改善されていることが確認できる。しかし、その一方でドレイン効率および PAE はともに E 級電力増幅器の方が良い値となってしまうている。

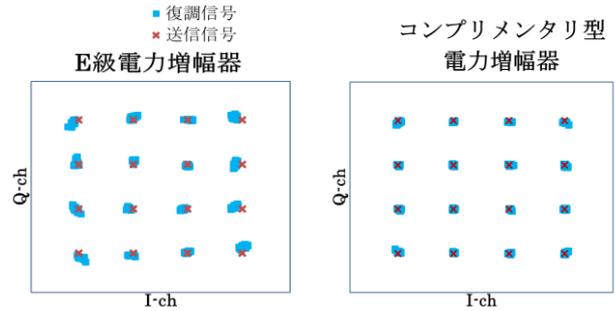


図 4 コンスタレーション

表 4 評価結果

動作	ドレイン効率 [%]	PAE [%]	EVM [dB]
コンプリメンタリ型	58.5	55.4	32.4
E 級	85.7	84.8	23.1

5 まとめ

本実験では、シミュレーション上で E 級電力増幅器にバースト信号入力することで発生していたバイアスの過渡応答による振幅位相歪みの改善を目的とした、コンプリメンタリ動作を行う電力増幅器を設計した。その結果、EVM による評価では歪の改善がみられた。しかしその一方で、電力効率の著しい低下がみられた。

今後の課題としては、歪の小ささを保持しつつ電力効率の高さを得ることが必要となる。また、今回シミュレーションを行ったコンプリメンタリ型電力増幅器を実際に試作し計測することによる評価を行っていく。

参考文献

- [1] 松丸 慎吾, 榎田 洋太郎, “I, Q チャンネルを交互に出力する全デジタル直行アップコンバージョン送信機” 修士論文 2009 年
- [2] 大岩 朝洋, 山尾 泰, “ Δ - Σ 包絡線変調による飽和形高効率線形増幅法” 電子情報通信学会総合大会講演論文集 2007 年