

## 2 値直交変調型 EPWM 送信機の実験的評価

7311030 小田切次郎

### 1. はじめに

近年、移動通信システムにおいて、大容量化、高速通信化に伴い電力消費が大きくなっており、その中で送受信機における電力増幅器の占める電力消費の割合は大きい。その為、電力増幅器には高電力効率、線形性が要求されている。高電力効率な電力増幅器として、スイッチング動作を行う電力増幅器があげられるが、スイッチング動作を行う為には、入力信号が方形のパルス信号である必要がある。そこで、入力信号をパルス信号にして処理を行う方式として、包絡線パルス幅変調 (EPWM:Envelope Pulse-Width Modulation) 方式[1]が提案されている。この方式では、消費電力を抑えることができる。また、電源電圧の変動がない定電圧であるためドレインバイアスが一定になり歪の発生を抑えることができる。そのため、EPWM 送信機は、高い電力効率と線形性を備えていると言える。特に、直交変調型 EPWM 送信機[2]-[3]は、パルス幅変調時に非線形性による量子化雑音の増加が起きない利点をもつ。しかし、直交変調型 EPWM 送信機では電力増幅器の入力に正負と零の 3 値の信号を用いる場合、零値が精度よく出力できないという問題がある。この問題を解決するため、直交変調型 2 値 EPWM 送信機が提案されている[4]。また、この方式では 3 値 $\Delta$ - $\Sigma$ 変調器を用いている。3 値 $\Delta$ - $\Sigma$ 変調器ではオフ状態も表現することができる為、電力消費を抑えられる。この送信方式において、シミュレーションを行った検討はあるが、実験的評価はない。

本研究では D 級電力増幅器を設計製作し、3 値 $\Delta$ - $\Sigma$ 変調器を用いた 2 値直交変調型 EPWM 送信方式に適用し、実験的評価を行う。

### 2. 変調方式

図 1 は直交変調型 EPWM 送信機の構成図である。直交変調方式では、I,Q チャネルを別々に 3 値 $\Delta$ - $\Sigma$ 変調器に入力する。本研究では、3 値 $\Delta$ - $\Sigma$ 変調器を用いた 2 値 EPWM 変調器において 2 値出力を行う[5]。この方式では構成が簡単な上、貫通電流も少なくすることができ、電力効率を向上させられる。出力されたパルス信号に搬送波を掛け合わせる事で、RF 信号を得て、直交変調として I,Q チャネルの信号を交互に出力する。その後バンドパスフィルタを内蔵した D 級電力増幅器に入力する。

直交変調型は、変調処理をすべて正負デジタル信号で行うので、環境変化や回路構成の経年劣化による電力効率の低下を抑制できるという特徴がある。

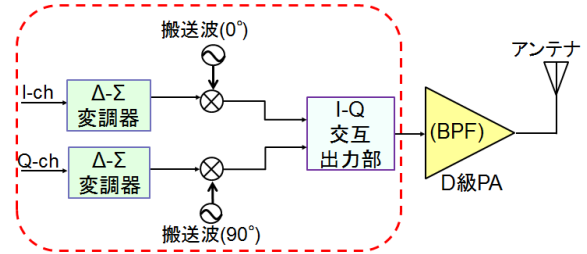


図 1 直交変調型 EPWM 送信機の構成

### 3. D 級電力増幅器

図 2 に本研究に用いた D 級電力増幅器の回路構成を示す。この電力増幅器は、2 つのトランジスタ及び  $C_0$  と  $L_0$  から成る BPF で構成されている。直列接続された 1 対のトランジスタに互いに逆相の矩形搬送波を入力することで、2 つのトランジスタを相補的にオン/オフさせる。これによりトランジスタの出力電圧が電源電圧と 0 の 2 値のいずれかをとる。

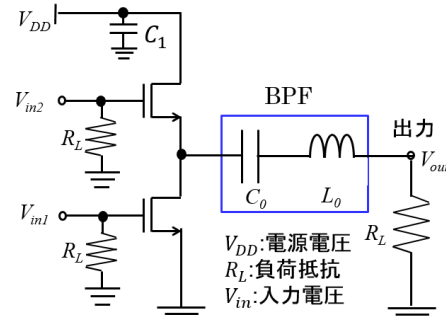


図 2 D 級電力増幅器及び BPF

### 4. 実験概要

#### 4.1 実験方法

図 3 は実験系の構成である。MATLAB 上で EPWM 信号を作成し、任意波形発生器でアナログ信号として発生させる。

D 級電力増幅器は Keysight 社の ADS(Advance Design System)で設計し、実際に製作した。D 級増幅器で増幅後、オシロスコープにより信号を読み取る。読み取った信号は MATLAB で復調処理を行う。D 級増幅器の諸元を表 1 に、MATLAB 諸元を表 2 に記す。



図 3 実験系の構成

表1 D級増幅器シミュレーション及び実験諸元

D 級電力増幅器	トランジスタ:GaAs FET(MGF2407A)	
	$V_{DD}$	5 V
	$R_L$	50 $\Omega$
	$C_1$	47 nF
	BPF	$L_0$
$C_0$		33 pF
入力	搬送波周波数 $f_0$	50 MHz
	振幅( $V_{in2}$ )	-3.25 to 3.75 V
	振幅( $V_{in1}$ )	-4 to 0 V

表2 MATLAB 諸元

変調方式		16QAM
シンボル数		100
搬送波周波数		50 MHz
BB シンボルレート		500 kHz
打ち切りサンプル数		16
$\Delta$ - $\Sigma$ 変調器	オーバーサンプリング率	4
	次数	2
BPF (PA なし)	中心周波数	50 MHz
	Q 値	2

## 4.2 評価方法

### 4.2.1 効率の指標

電力増幅器の効率を表す指標としてドレイン効率  $\eta_d$  を用いる。これは以下の式により算出する。ただし、 $V_{out}$  を出力電力、 $R_L$  を負荷抵抗、 $I_d$  をドレイン電流とする。

$$\text{ドレイン効率} \eta_d = \frac{P_{out}}{P_{dc}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{出力電力} P_{out} = \frac{\bar{V}_{out}^2}{R_L} \quad (2)$$

$$\text{直流電力} P_{dc} = \bar{I}_d \times V_{DD} \quad (3)$$

### 4.2.2 変調精度の指標

歪みの評価方法として変調精度 EVM(Error Vector Magnitude)を用いる。EVM とは、所望の信号に対する誤差ベクトルの割合であり、以下の式により算出し、図4の様に示される。シミュレーションにおいて増幅器がない場合とある場合について、及び、製作した電力増幅器に適用した実験についてそれぞれ評価する。

$$\text{EVM} = \frac{\text{誤差ベクトルの R.M.S.}}{\text{真値ベクトルの R.M.S.}} = -20 \log \left[ \frac{\frac{1}{N} \sum_{r=1}^N |S_{ideal,r} - S_{means,r}|^2}{\frac{1}{N} \sum_{r=1}^N |S_{ideal,r}|^2} \right] \quad (4)$$

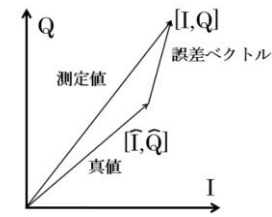


図4 EVM の概念図

## 5. 実験結果

表3に実験結果を示す。電力増幅器のドレイン効率はシミュレーションと実験で得られた値とほぼ同じとなった。変調精度は電力増幅器を用いることで劣化した。これは、電力増幅器前で生じていた低周波数成分が電力増幅器の非線形性によりアップコンバージョンされた為と考えられる。しかしながら、シミュレーションと実験それぞれにおいて-30dB前後となり良好な結果を得られた。

表3 ドレイン効率及び EVM の値

		$\eta_d$	EVM
シミュレーション値	増幅器なし		-37 dB
	増幅器あり	64.0%	-32 dB
実測値		62.9%	-29 dB

## 6. まとめ

本研究では、3値 $\Delta$ - $\Sigma$ 変調器を用いた2値出力直交変調型 EPWM 送信機に、製作した D 級電力増幅器を適用し、効率と変調精度の実験的評価を行った。

今回のシミュレーション及び実験では、信号を増幅器に通した場合、変調精度が劣化した。今後は、より高い変調精度と高効率を両立した D 級電力増幅器の構成を検討し、実験的評価を行う。

## 7. 参考文献

- [1]E. M. Umali, Y. Toyama and Y. Yamao, "Power Spectrum Analysis of Envelope Pulse-Width Modulation (EPWM) Transmitter for High Efficiency Amplification of OFDM Signals," Proc. of IEEE VTC2008-Spring, Singapore, May 2008.
- [2]Y. Wang, "An improved Kahn Transmitter Architecture Based on Delta-Sigma Modulation," 2003 IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig., vol. 2, pp.1327-1330, June 2003.
- [3]Y. Wang, "A class-s RF amplifier architecture with envelope deltasigma modulation," IEEE Radio & Wireless Conference, RAWCON2002, pp. 177-179, 2002.
- [4]染谷和, 野田昂志, 榎田洋太郎, 小澤佑介, "3 値出力  $\Delta$   $\Sigma$  変調器を用いた直交変調型 EPWM 送信機における D 級増幅器の 2 値および 3 値駆動の比較" 2014 信学技報, vol.114 No.391b pp.99-104, January. 2015
- [5]野田昂志, 染谷和, 飯倉祥晴, 榎田洋太郎, 小澤佑介 "3 値  $\Delta$   $\Sigma$  変調器により生成した 2 値包絡線パルス幅変調信号を用いる直交変調型送信機" 2014 信学技法 vol.114 No.318MW2014-139, pp.83-88, Novenver, 2014