

# D 級電力増幅器を用いた 2 値直交変調型 EPWM 送信機の実験的評価

東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科  
榎田研究室  
7312135 藤村拓弥

## 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、送信機には高電力効率、線形性が要求されている。高電力効率を得るためには、スイッチング動作型電力増幅器を用いることが望ましいが、スイッチング動作をさせるためには、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) 方式が提案されている[1]。この方式では、スイッチング動作型電力増幅器を用いるので消費電力を抑えることができる。また、PWM をシステム内に用いることで線形性を有している。特に、直交変調型 EPWM 送信機は、全てデジタル的に処理することができる。直交変調型 EPWM には、3 値直交変調型と 2 値直交変調型の二つが提案されている。3 値直交変調型 EPWM 送信機では、出力に電力合成器が必要となり、そこで電力損失が発生してしまう。それに対し、2 値直交変調型 EPWM は、電力合成器が不要で、電力損失を抑えられる[2]。この 2 値直交変調型 EPWM について、シミュレーションによる検討はされており、VHF 帯での実験も行われているが、マイクロ波帯での実験的評価はなされていない。

本研究では D 級電力増幅器を設計・製作し、それに搬送波周波数 500MHz の 2 値直交変調型 EPWM 信号を入力して実験的に評価した。

## 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[3]。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(BPF)を内蔵した D 級電力増幅器に入力する。

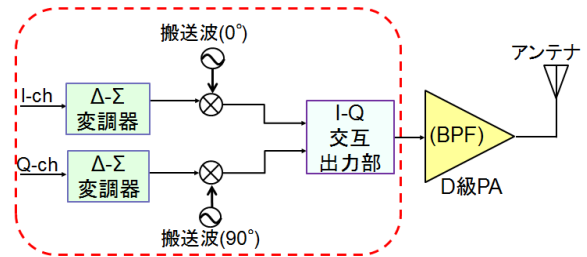


図 1 直交変調型 EPWM 送信機の構成

## 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交互に ON/OFF させる。これによりトランジスタの出力電圧が電源電圧  $V_{DD}$  と 0V のいずれかをとる。それを BPF に通すことで、搬送波周波数成分を負荷に通す。

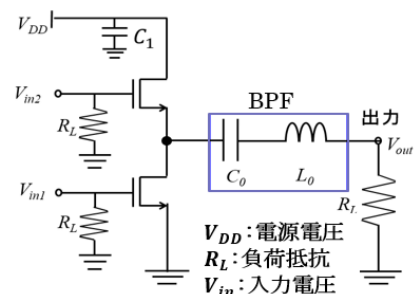


図 2 D 級電力増幅器及び BPF

## 4. 実験概要

### 4.1 実験方法

図 3 は実験系の構成である。MathWorks 社の MATLAB / Simulink 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-HEMT (MGF2407A)	
	$V_{DD}$	5 V	
	$R_L$	50 $\Omega$	
	$C_1$	47 nF	
	BPF	$L_0$	33 nH
		$C_0$	3 pF
入力	搬送波周波数 $f_0$	500 MHz	
	振幅 ( $V_{in2}$ )	7.5 V <sub>pp</sub>	
	振幅 ( $V_{in1}$ )	3.0 V <sub>pp</sub>	

表2 MATLAB 諸元

変調方式	16QAM	
BB シンボルレート	10 MHz	
搬送波周波数	500 MHz	
シンボル数	1000	
$\Delta$ - $\Sigma$ 変調器	オーバーサンプリング率	4
	次数	2
	動作周波数	250 MHz

## 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、 $P_{out}$  を出力電力、 $P_{dc}$  を電源からの供給電力、 $R_L$  を負荷抵抗、 $I_d$  をドレイン電流とする。

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

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

$$\text{供給電力: } P_{dc} = \bar{I}_d \times V_{DD} \quad (3)$$

### 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。シミュレーション及び、製作した電力増幅器による実験についてそれぞれ評価する。

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

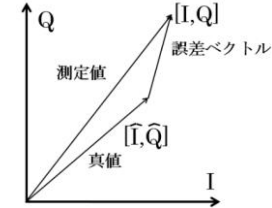


図4 EVM の概念図

## 5. 実験結果

表3に実験結果を示す。測定の結果、電力増幅器のドレイン効率は41.1%、EVMは-22.2dBとなった。

表3 ドレイン効率  $\eta_d$  及び EVM の値

	$\eta_d$	EVM
シミュレーション値	52.5%	-35.5 dB
実測値	41.1%	-22.2 dB

## 6. まとめ

本研究では、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、マイクロ波帯での効率と変調精度の実験的評価を行った。

結果として、ドレイン効率は RF 電力増幅器としては高効率な数値となり、変調精度も 16QAM での使用を前提とするなら、実用的な値となった。

## 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] 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
- [3] 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