

2 値直交変調型 EPWM 送信機における D 級電力増幅器の定量的評価

7311059 酒井 涼

1. はじめに

スマートフォンやタブレットなどの移動体通信端末の普及により近年の無線通信技術は高速通信かつ大容量伝送が主流となっている。ゆえに、電力増幅器において高い電力効率かつ線形性が求められている。さまざまな提案法が発表されているが、その中でも、包絡線パルス幅変調 (Envelope Pulse Width Modulation 以下 EPWM と略) という送信方法は、電力効率と線形性に対する要求に合っていると見える [1]。

EPWM 送信機はスイッチング動作する電力増幅器を用いる。しかし、スイッチング時にエネルギー損が発生してしまい、これが電力効率低下を招く。

2 値直交変調方式における電力増幅器の電力効率と変調精度についての定量的評価を行った例はないため、本研究では、電力増幅器の Q 値を変化させシミュレーションを行い、評価する。

2. 研究背景

2.1 送信機変調部構成

直交変調型 EPWM 送信機の基本構成を図 1 に示す。この変調方式はベースバンド信号の I-ch, Q-ch を別々に Δf 変調した変調信号をそれぞれ搬送波と乗算した後、交互出力する。交互出力により I, Q-ch の相互の干渉がない構成となる。PA 部分は帯域通過フィルタ (BPF) も兼ねた構成で

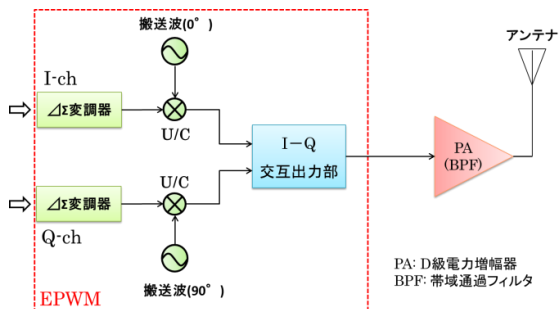


図 1. 2 値直交変調型 EPWM 構成

あり、D 級電力増幅器を用いた。

2.2 EPWM の利点と問題点

EPWM の利点として、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、高い電力効率を得られる。トランジスタが ON と OFF のスイッチング動作を行うことによって、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。

しかし、I-ch, Q-ch の交互出力による電流がトランジスタに流れる場合、I-ch で生成される電流と Q-ch で生成される電流では位相が 90° 異なるため、共振回路によって合成された I-ch, Q-ch の交互出力による電流は、I-ch の電流と比較して位相が 45° 遅れる。このことにより、トランジスタの ON と OFF の切り替え時に電流が流れてしまい、消費電力が発生してしまう。ゆえに、電力効率が低下する [2]。

3. シミュレーションによる評価と評価方法

評価系構成及び D 級電力増幅器の回路構成をそれぞれ図 2, 図 3 に示す。MathWorks 社の MATLAB/Simulink 上で EPWM を構成し変調信号を発生させる。その信号を Keysight Technologies 社の Advanced Design System 上で電力増幅器に通し、再度 MATLAB/Simulink 上で復調処理を行い、評価する。その際のシミュレーション諸元を表 1, 表 2 に示す。

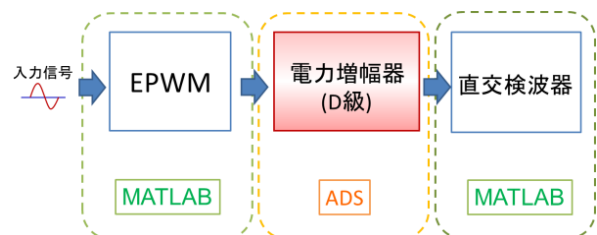


図 2. 評価系

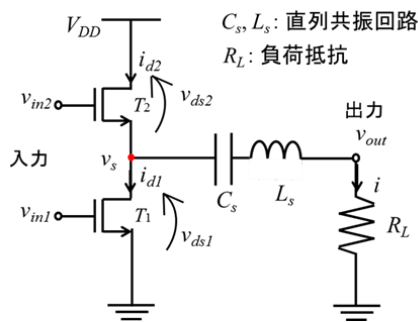


図 3. D 級電力増幅器

表 1. MATLAB/Simulink の諸元

変調方式		16-QAM
シンボルレート (f_{sym})		10 Msymbol/s
シンボル数		1000 symbols
ロールオフフィルタ	システム	ルートコサインフィルタ
	ロールオフファクタ	0.7
	サンプリング周波数 (f_s)	$0.5f_c$
	打ち切りサンプル数	16
	アップサンプリングファクター	f_s / f_{sym}
搬送波周波数 (f_c)		1 GHz
3値 $\Delta\Sigma$ 変調器	次数	2
	オーバーサンプリングレシオ	4

表 2. ADS の諸元

タイムステップ		$1 / (100f_c)$
n-MOSFET	ゲート長	0.18 μm
	総合ゲート幅 (W_g)	10 $\mu\text{m} \times 30$ finger
負荷抵抗 (R_L)		50 Ω
電力増幅器	電源電圧	1.8 V
	入力電圧 (V_{in2}, V_{in2}')	-0.6 ~ 2.9 V
	入力電圧 (V_{in1}, V_{in1}')	0.2 ~ 0.9 V
	C_s	0.637 ~ 3.18pF
	L_s	7.96 ~ 39.8nH
	Q値	1.0 ~ 5.0

送信機の評価方法として電力負荷効率 (PAE: Power Added Efficiency) 及び変調精度 (EVM: Error Vector Magnitude) を用いる。PAE は、電力増幅器の効率を示す指標として用いる。EVM は、元の信号点と復調した信号点においてどれほどの誤差性能を有するかを示す。

4. 結果

シミュレーションにより求めた PAE 及び EVM は図 4 のようになった。

図 4 から、Q 値の増加に対して PAE が減少していること

がわかる。これは、Q 値に比例して共振器の L_s 値が増加し、トランジスタのスイッチング時に流れる電流の減衰度が、Q 値が低い時と比較して減少するためオーバーラップが増加し、消費電力が増加するためではないかと考えられる。

また、EVM に関しては一定となっている。一般的に Q 値を極端に増加させた場合、ロールオフフィルタの帯域がベースバンド信号の帯域よりも狭くなるため、信号が劣化してしまう。今回の Q 値幅においては、影響がないことがわかる。ゆえに、この結果から EPWM が伝送系で正しく動作していることが確認できる。

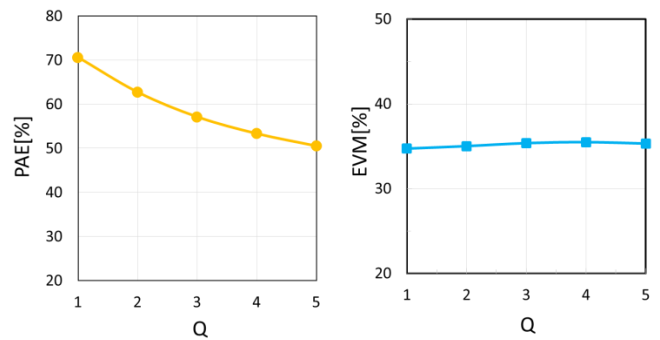


図 4. シミュレーション結果

5. 結論

本研究では、2 値直交変調型 EPWM 送信機を構成し、電力増幅器の定量的評価を行った。シミュレーションでは、Q 値増加に伴い PAE は減少し、EVM は一定であった。PAE が減少していることから、トランジスタのスイッチング時によるエネルギー損が増加していると考えられる。

今後の課題として、エネルギー損のうち、トランジスタのスイッチング時によるエネルギー損を測定し、特性の定量的評価を行う。

[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] Sayed-Amr El-Hamamsy, "Design of High-Efficiency RF Class-D Power Amplifier," Proc. of IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, Vol. 9, No. 3, May 1994.