

スイッチング動作型電力増幅器のボード試作による 周波数スケールダウン伝送実験と評価

7309107 野田駿一

1. はじめに

無線通信の普及に伴い、移動体通信では電力消費の半分以上が送信機における電力増幅器によるものだと問題にされている。したがって、無線通信における送信機には高効率化や線形性、低歪特性を持つことが必要とされている。そこで近年ではこれらの要求を満たす方式として、スイッチング動作型電力増幅器を用いたポーラ変調(Polar-modulation 以下 PM と省略)型送信機や直交変調(Quadrature-modulation 以下 QM と省略)型送信機といった提案が注目されている。その中で、E級電力増幅器[1][2][3]は高動作周波数下で高い電力変換効率を持つという点で注目されている。これはスイッチング動作により高い電力効率を得るとともに、高調波成分を取り除くことを可能にする。しかし、これらの方式ではシミュレーションを行った例は多いが、実験的評価を行った例は少ない。

本研究では、スイッチング動作型電力増幅器をボードレベルで設計・作製して、周波数をスケールダウンさせた伝送実験を行い、評価した。

2. 変調方式

極座標変調とは、入力信号を位相成分と振幅成分に分けて処理することで歪みを抑えることが可能だが、その分位相変調がアナログ回路で構成されているため安定性に問題がある。そこで、入力信号をデジタル的にアップコンバージョンすることで構成を容易化したのが直交座標変調である。

3. 電力増幅器

3.1 E級増幅器

図1にE級増幅器の回路構成を示す。図のようにE級増幅器は一般的に、供給電圧 V_{dd} 、高周波阻止インダクタ L_c 、スイッチング素子としてのトランジスタ、並列容量負荷 C_p 、直列共振回路 L_0 - C_0 - R_L で構成される。この高周波阻止インダクタによって入力電流は強制的に一定値となるが、出力回路に帯域通過フィルタが入っているので出力電流波形は正弦波状となる。トランジスタが ON のときは、ドレイン電圧は零でなければならないため、一定入力電流と出力正弦電流との差がドレイン電流となる。トランジスタが ON となるとその差分が並列容量負荷に流れ込み、それによってドレイン電圧波形が決まる。この並列容量の電荷は、トランジスタが ON になるときに放電される。E級増幅器もスイッチング動作に基づく構成であることから理論的に 100% の効率を可能となる。しかし、実際にはトランジスタのドレイン・ソース間に内部抵抗が存在するため、ドレイン電流が流れているときにドレイン・ソース間電圧は完全に 0 にならないため、効率は下がる。

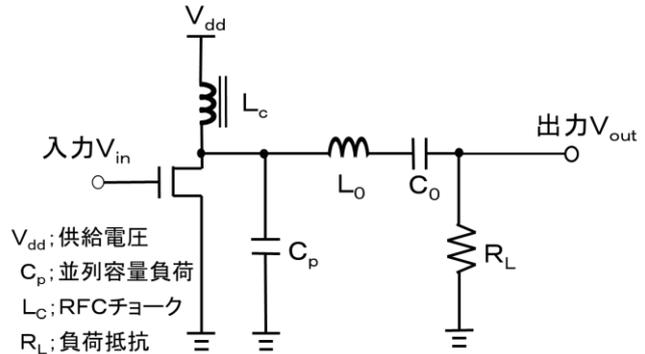


図1, E級増幅回路

4. シミュレーション及び実験

4.1 シミュレーション及び実験構成

Agilent 社の Advanced Design System(ADS)上を用いて周波数 1 GHz で動作していた E 級増幅回路を元に、周波数 50 MHz でスケールダウン化させてパラメータを最適化し[4]、実装に合わせてシミュレーションを行った。また、任意波形発生器により信号を入力し、作製した E 級電力増幅回路を通して、オシロスコープによって出力波形を観測した。表 1, 2 に各パラメータ諸元、図 2 に実験構成を示す。

表 1, パラメータ諸元

Tr(GaAs)	MGF2401A
V_{dd}	5 V
f_0	50 MHz
L_c	910 nH
C_p	22 pF
L_0	430 nH
C_0	150 pF
C_{dd}	2.2 nF
R_L	50 Ω

表 2, 入力信号の諸元

入力波形	PM 信号 QM 信号
ゲートバイアス 電圧	-3 V
入力振幅	3 V _{pp}

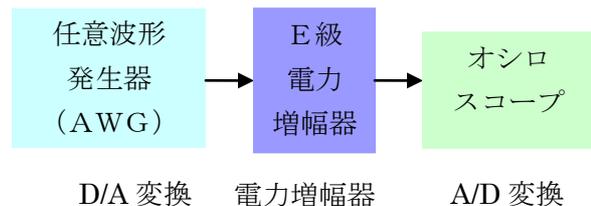


図2, 実験構成

4.2 評価方法

ドレイン効率 η_d を評価方法として用いた。ドレイン効率とは電力変換効率の指標で、トランジスタに供給したDC電力がどれだけRF電力に変換されたかを示す。また、出力電圧 P_{out} 、DC電力 P_{dc} として、下式のように表される。

$$\text{ドレイン効率}; \eta_d = \frac{P_{out}}{P_{dc}} \times 100 [\%]$$

4.3 評価結果

測定結果をPM信号入力時とQM信号入力時について、それぞれ以下の図に示す。また出力波形より出力電圧を読み取り、評価方法を用いてドレイン効率を算出した結果を表3に示す。

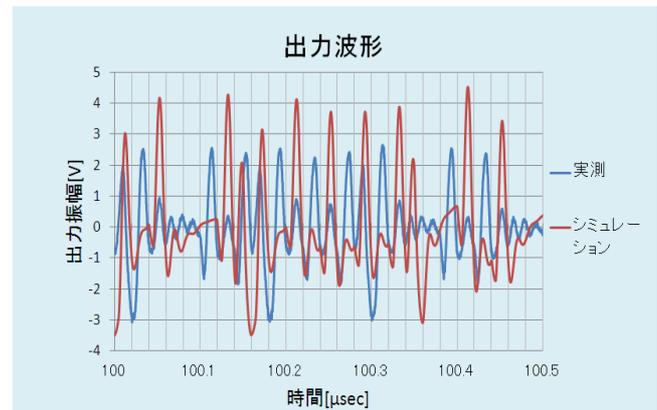


図3(b)QM信号入力時の入出力波形

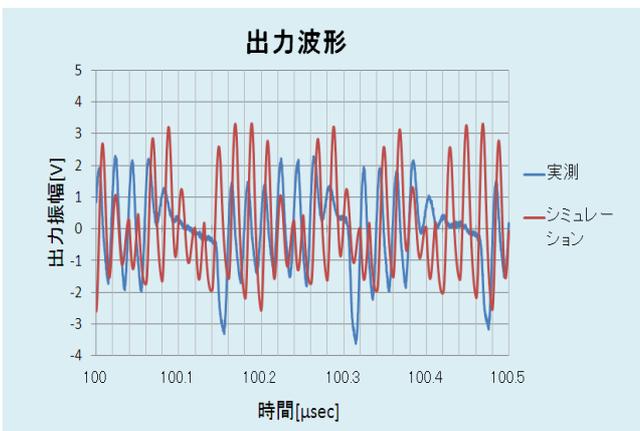
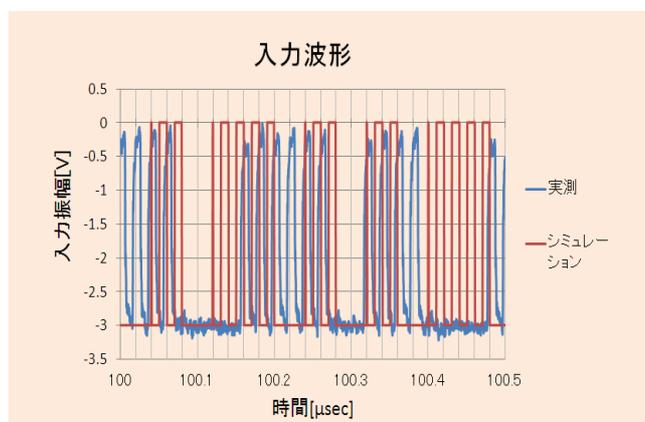


図3(a),PM信号入力時の入出力波形

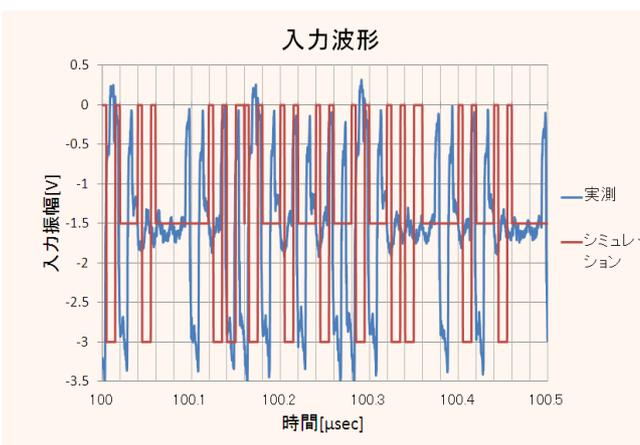


表3,評価結果

	PM 信号		QM 信号	
	P_{out} [W]	η_d [%]	P_{out} [W]	η_d [%]
シミュレーション値	0.041	69.2	0.051	22.2
実測値	0.023	44.6	0.032	15.9

5. まとめ

本研究では、E級電力増幅回路を周波数のスケールダウンに合わせてパラメータを設定し、PM信号とQM信号について伝送実験を行い、それを評価した。その結果、双方出力波形はシミュレーションどおりに出力された。また、ドレイン効率は実測においてもPM信号の方がQM信号より高いことが確認できた。したがって、高効率においてE級電力増幅器にはPM信号が適しているといえる。

今後の課題としては、QM方式でも高い電力効率をもつ電力増幅器の設計方法を検討する。また、その他の級の電力増幅器も同様の伝送実験を行い、比較検討をする。

参考文献

- [1] Behzad Razavi, “RF マイクロエレクトロニクス,” 黒田忠広 (監訳), pp.334-353, 丸善株式会社, 2002
- [2] 藤岡翔太, 榎田洋太郎, 田久修, “直交振幅変調信号を包絡線パルス幅変調した時のE級増幅器の歪補償”, 信学技報, vol.111, no.374, pp.41-46, Jan.2012
- [3] Andrei Grebennikov, Nathan O. Sokal, “Switchmode RF Power Amplifiers” Newnes, 2007
- [4] Andrei Grebennikov, RF and Microwave Power Amplifier Design, pp., McGraw-Hill