

# ポーラ変調と直交変調を用いた パルス密度変調型送信機の実験的比較

7309118 日座 和重

## 1. まえがき

近年無線通信機器が急速に普及し、無線送信機には高い電力効率、線形性が要求されている。無線送信機における電力消費の多くは電力増幅器により発生するが、E級増幅器はスイッチング動作をすることにより理論上100%の効率を得ることができる。このスイッチング動作の性質を利用して、高効率、高線形性のポーラ変調(PM:Polar-Modulation) [1]と直交変調(QM:Quadrature-Modulation) [2]を用いたパルス密度変調型送信機[3]が提案されてきた。これらは過去にシミュレーション上での評価は行われているものの、実際に電力増幅器を用いた実験は行われてこなかった。

本研究では直交振幅変調信号(16QAM)に対してポーラ変調、直交変調を行い、電力増幅器を用いたスケールダウン実験により比較、検証する。

## 2. 変調方式

ポーラ変調

ポーラ変調はベースバンド信号を包絡線成分と位相成分に分け、処理をする(図1)。包絡線成分を $\Delta$ - $\Sigma$ 変調器によりパルス密度変調し、搬送波成分を乗算して出力する。

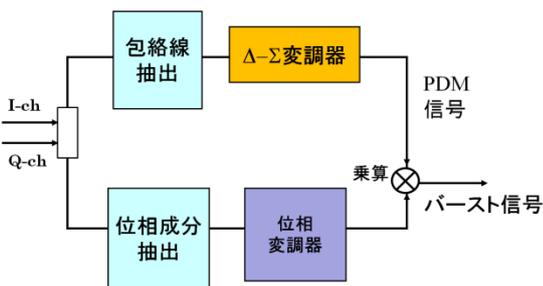


図1 ポーラ変調部の構成

直交変調

本研究では正負1ビット交互出力直交型(図2)の変調方式を用いる。直交変調ではベースバンド信号のI-ch、Q-chを別々に $\Delta$ - $\Sigma$ 変調器によりパルス密度変調する。交互出力によって信号の重なりを防ぎ、量子化雑音を低減させる。

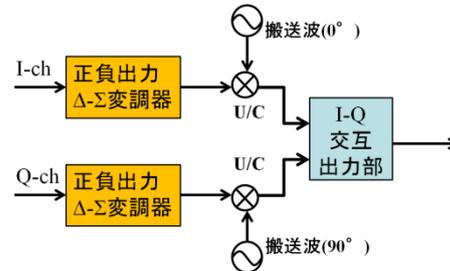


図2 直交変調部の構成

## 3. 実験概要

計算機シミュレーション上で16QAM変調信号をポーラ変調、直交変調により作成、任意波形発生器によりアナログ信号として発生させる。E級電力増幅器で増幅後、オシロスコープで読み取り、計算機シミュレーション上で復調処理を行う。EVM(Error Vector Magnitude; 図3)により変調精度を測定する。EVMは以下の式により算出する。

$$EVM = \frac{\text{誤差ベクトルのR.M.S}}{\text{真値のベクトルのR.M.S}}$$

$$= \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \{(I_n - \hat{I}_n)^2 + (Q_n - \hat{Q}_n)^2\}}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (\hat{I}_n^2 + \hat{Q}_n^2)}}$$

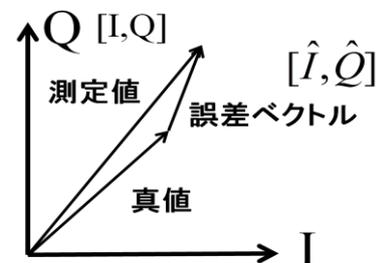


図3 EVMの概念図

実験系に関しては図4に、諸元に関しては表1に示す。

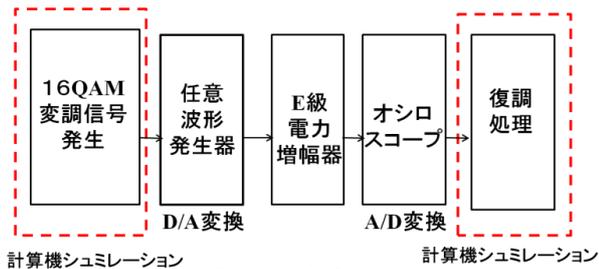


図4 実験系構成図

表1 シミュレーション及び実験諸元

		スケールダウン	GHz帯
変調方式		16QAM	
BBシンボルレート		500 KHz	10 MHz
搬送波の周波数		50 MHz	1 GHz
打ち切りサンプル数		16	
$\Delta-\Sigma$ 変調器の次数		2次	
$\Delta-\Sigma$ 変調器の動作周波数		25 MHz	500 MHz
オーバーサンプリング率		50	
バックオフ		0 dB	
BPF	形式	バターース	
	次数	4次	
	通過帯域	37.5~62.5 MHz	
入力信号のサンプル数		50000	
任意波形発生器の出力電圧		1~-1 Vpp	
バイアスTによる増幅器入力電圧		0~-3 Vpp	
オシロスコープのサンプリング		5 GHz	

#### 4. 実験結果

増幅器を用いた場合と用いない場合のコンスタレーションをそれぞれ図5,図6に示す.

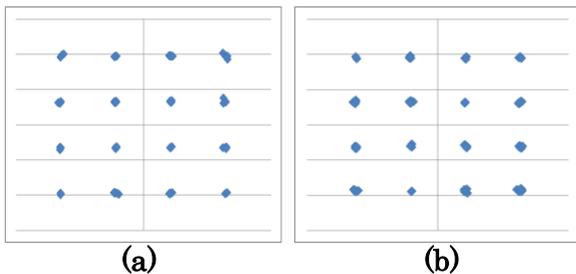


図5 (a)PM (b)QM の増幅器を除いたコンスタレーション

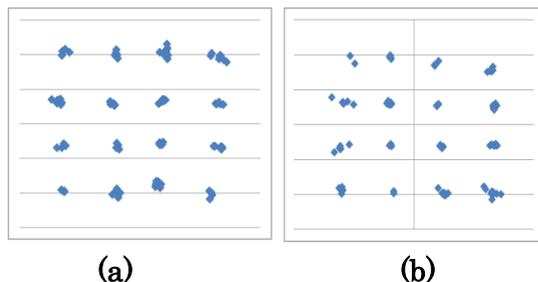


図6 (a)PM (b)QM の増幅器後のコンスタレーション

表2 EVMの値

	EVM	
	PM	QM
増幅器なし	-36.12 dB	-32.63 dB
増幅器あり	-21.90 dB	-23.04 dB

ポーラ変調の波形を図7,図8に示す.

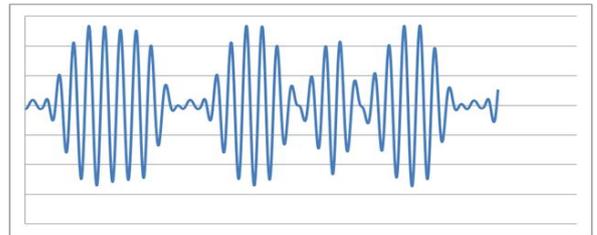


図7 ポーラ変調の増幅器を除いたBPF後の信号波形

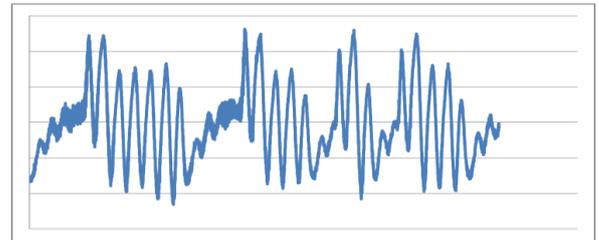


図8 ポーラ変調の増幅器後の信号波形

#### 5. まとめ

電力増幅器を用いない実験では,ポーラ変調,直交変調は共に EVM:-30db 以上の良好な結果が得られた.しかし E 級電力増幅器を用いた実験では,回路の時定数や過渡現象によって図7に示すように波形が歪み,EVM に大きな差が生じた.今後は D 級増幅器などによる歪改善でより高精度に復調することが望まれる.さらに,実験器具の高性能化に伴い信号点の多い GHz 帯への拡張も期待される.

#### 5. 参考文献

- [1] 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 級電力増幅器の歪補償”, 信学技報
- [2] H. Izumi, M. Kojima, Y. Umeda, O. Takyu, “Comparison between Quadrature- and Polar-modulation Switching-mode Transmitter with Pulse-density Modulation”
- [3] M. Liliana, S.Suarez G.Baudoin, M.Villegas, “A Cartesian Sigma-Delta Transmitter Architecture”, IEEE pp.51-54 2009