

ウェーバー方式イメージ抑圧機能を有する Low-IF 方式送信機の全デジタル化設計

7313042 加茂 巧

1. はじめに

移動体通信用送信機において、電力増幅器(PA)には高い電力効率と線形性が求められている。これらの要求を満たすために、包絡線パルス幅変調 (EPWM) 送信機が特に直交変調型(QM)低域通過(LP)-EPWM 送信機[1]が研究されている。しかし、ローパス型(LP) $\Delta \Sigma$ 変調器を用いているためマルチチャンネル伝送に適さない。一方、マルチバンド、マルチチャンネルに対応可能なバンドパス型(BP) $\Delta \Sigma$ 変調器を用いたヘテロダイン方式送信機[2]が報告されている。また、ヘテロダイン方式の問題点であるイメージ信号の抑圧法としてウェーバー方式を用いた Low-IF 方式送信機[3][4]が報告されている。従来の研究では送信機のデジタル化は IF 段までに留まっており、電力増幅器を含めた効率及び変調精度については評価されていない。

本稿では、BP $\Delta \Sigma$ 変調器を用い RF 段までデジタル化したウェーバー方式イメージ抑圧法を用いた Low-IF 方式送信機の具体的な構成を提案し、電力増幅器を含めた効率及び変調精度についてシミュレーションにより評価を行う。

2. ウェーバー方式イメージ抑圧型 Low-IF 方式送信機

本稿で検討する送信機の構成を図 1 に示す。Low-IF 方式送信機では二段階に分けてアップコンバージョンを行う。I-ch, Q-ch のベースバンド信号を $\pi/2$ の位相差を持つ周波数 f_{IF} の搬送波により IF 信号にアップコンバージョンし、合成したものを $\Delta \Sigma$ 変調器によりパルス幅変調する。次段では $\Delta \Sigma$ 変調器の出力信号をそれぞれ $\pi/2$ の位相差を持つ周波数 f_{RF} の方形搬送波によりデジタル RF 信号にアップコンバージョンし合成する。ウェーバー方式ではアップコンバージョン時の複素信号処理により本来搬送波の上下に現れるアップコンバージョンされた信号は、搬送波の上下いずれかの成分のみ出力される。

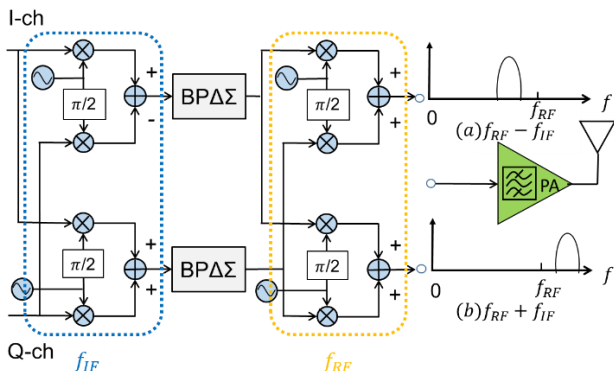


図 1 送信機構成

3. シミュレーション概要

3.1 評価系構成

図 2 に評価系構成を示す。信号生成部、送信機及び復調部は数値解析用ソフト MATLAB/Simulink、D 級電力増幅器は回路設計用ソフト Advanced Design System(ADS)を用いてシミュレーションを行った。シミュレーション諸元を表 1、表 2 に示す。

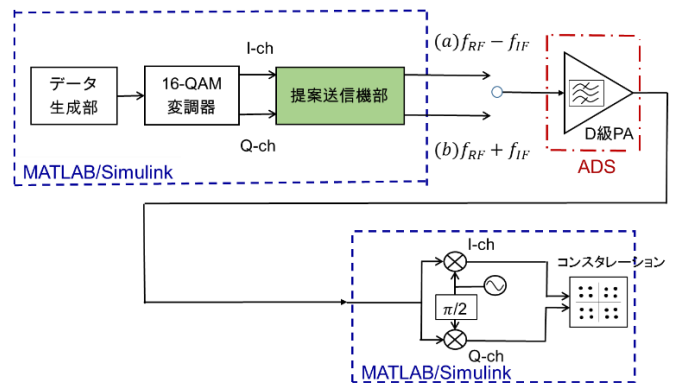


図 2 評価系構成

表 1 MATLAB/Simulink 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
BP $\Delta\Sigma$ 変調器 (DSM)	次数	2
	オーバーサンプリングレシオ	4
	サンプリング周波数 (f_s)	500MHz
搬送波周波数 (f_{RF})		1GHz
交互出力周波数 (f_i)		$2f_c$
中間周波数 (f_{IF})		125MHz

表 2 ADS 諸元

タイムステップ		$1 / (100 f_c)$
n-MOSFET	ゲート長	0.18 μm
	総合ゲート幅 (W_g)	10 $\mu\text{m} \times 30$ finger
電源電圧 (V_{DD})		1.8 V
入力電圧上段 ($V_{in2}, V_{in2'}$)		0.2 ~ 2.5 V
入力電圧下段 ($V_{in1}, V_{in1'}$)		0.2 ~ 0.9 V
直列共振回路	C_s	1.41 pF
	L_s	14.1 nH
	Q値	2
負荷抵抗 (R_L)		50 Ω

3.2. 評価方法

3.2.1 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 η_d 、電力付加効率 η_{add} を用いる。ただし、 P_{in} を入力電力、 P_{out} を出力電力、 P_{dc} を電源からの供給電力とする。

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

$$\text{電力付加効率: } \eta_{add} = \frac{P_{out} - P_{in}}{P_{dc}} \quad (2)$$

3.2.2 変調精度の指標

歪み評価方法として変調精度 EVM(Error Vector Magnitude)を用いる。EVM は、送信側の信号点と復調側の信号点の誤差性能を示す。

$$\begin{aligned} \text{EVM} &= \frac{\text{誤差ベクトルの R.M.S.}}{\text{真値ベクトルの R.M.S.}} \\ &= \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \{(I_n - \hat{I}_n)^2 + (Q_n - \hat{Q}_n)^2\}}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (\hat{I}_n^2 + \hat{Q}_n^2)}} \quad (3) \end{aligned}$$

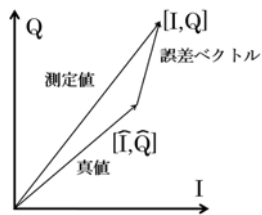
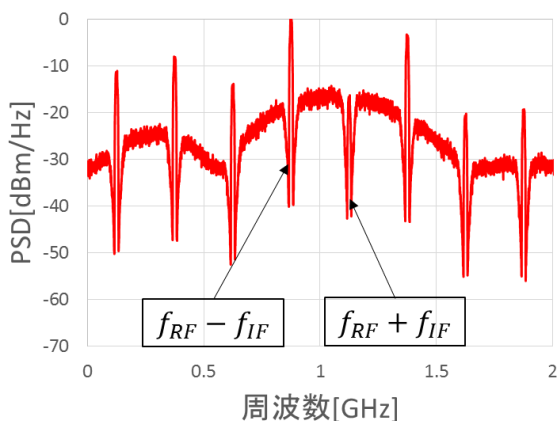


図3 EVM 概念図

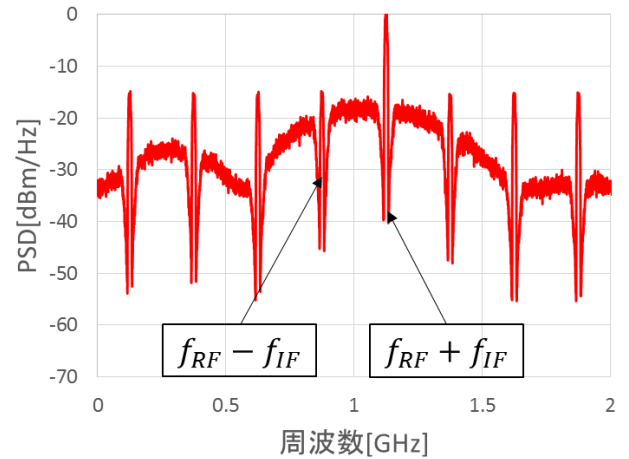
4. 結果

送信機の実出力スペクトルを図4に示す。(a)では搬送波の下側 $f_{RF} - f_{IF}$ が、(b)では上側 $f_{RF} + f_{IF}$ が出力されていることが確認できる。搬送波の下側を出力するとき、スプリアスが発生している。

電力増幅器の効率および変調精度を表3に示す。スプリアスが影響し搬送波の下側を出力するときの効率は上側を出力するときと比較して低下している。



(a)



(b)

図4 送信機出力スペクトル(a)下側(b)上側

表3 シミュレーション結果

	(a)下側成分	(b)上側成分
ドレイン効率[%]	61.6	66.1
PAE[%]	52.4	58.3
EVM[dB]	-34.9	-36.1

5. 結論

本稿では、ウェーバー方式イメージ抑圧法を用いた全デジタル Low-IF 方式送信機の具体的な構成について提案し、符号化効率、電力増幅器の効率、変調精度を評価した。

参考文献

- [1]野田昂志, 染谷和, 飯倉祥晴, 榎田洋太郎, 小澤祐介, "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", 電子情報通信学会技術研究報告, vol.114, no.318, pp. 83-88, 2014.
- [2] B. Razavi, "RF MICROELECTRONICS" 2nd edition, Sec, 12.3.2, Prentice Hall, 2012.
- [3] B. Razavi, "A 900-MHz/1.8-GHz CMOS Transmitter for Dual-Band Applications", *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 34, no. 5, pp. 573-579, May.1999.
- [4]Y. Kim, C-S Lee, "A Novel Method to Remove the Mismatch of the up-conversion Mixer for a Low IF Transmitter", *IEEE The 2004 47th Midwest Symposium on Circuits and Systems*, July. 2004.