

直交変調型包絡線パルス幅変調送信機における 振幅雑音補償を用いた量子化雑音低減

7309155 吉原孝

1. まえがき

近年、移動体通信の急増に伴い送信機における消費電力が問題となっているが、その約半分は電力増幅器によるものである。そのため、移動体通信の消費電力低減には電力増幅器の消費電力抑制が不可欠となっている。そこで提案された方式として包絡線パルス幅変調(EPWM)送信機がある。EPWM 送信機は電力増幅器の飽和電力からのバックオフが大きい場合であっても、スイッチング動作により高い電力効率を維持しながら直線的に信号を増幅することが可能である。EPWM 送信機にはポーラ変調型 EPWM 送信機と直交変調型 EPWM 送信機があるが、両者とも問題点のひとつとして変調時に発生する量子化雑音がある。この解決法として $\Delta\Sigma$ 変調後の振幅を幾らか補償することで信号近傍帯域の量子化雑音を低減する方法がポーラ変調型 EPWM 送信機では提案されているが(参考文献[1])、直交変調型 EPWM 送信機で試されることはなかった。本研究では直交変調型 EPWM 送信機において振幅雑音補償を用いた量子化雑音低減を実現し、その効果を Coding Efficiency と電圧変動率によって評価する。

2. 直交変調型 EPWM 送信機

図1に直交変調型 EPWM 送信機の構成を示す。まず入力信号の I_{ch} と Q_{ch} に対し直接 $\Delta\Sigma$ 変調する。直交変調型 EPWM に用いる $\Delta\Sigma$ 変調器は3値出力型で正側には+1 と 0 が出力され負側には-1 と 0 が出力される。3値出力の後、clock 型の搬送波に乗せることでアップコンバージョンする。そして I_{ch} と Q_{ch} を合成すると変調完了となり、変調後 BPF 付きのスイッチング動作型電力増幅器で電力増幅し送信する。

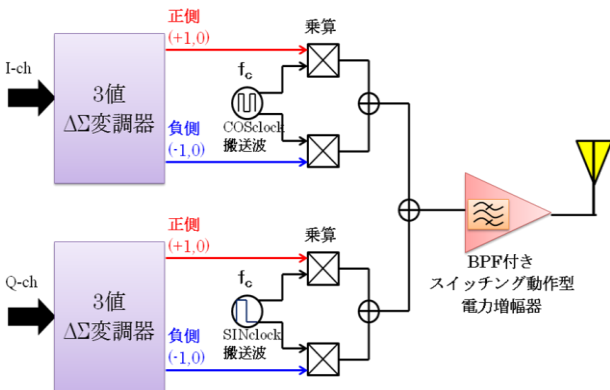


図1 直交変調型 EPWM 送信機の構成

3. 直交変調型 EPWM に振幅補償を用いた 量子化雑音低減法

今回用いる振幅雑音補償による量子化雑音低減法の構成と電力スペクトルの推移モデルを図2に示す。アナログ入力信号に $\Delta\Sigma$ 変調をかけると図中で示したように電力スペクトルモデルの赤の部分のような量子化雑音が広帯域に発生する。そこで $\Delta\Sigma$ 変調の正側出力には入力信号の正側と差をとることで量子化雑音を抽出する。そして抽出した量子化雑音に対し LPF にかける $\Delta\Sigma$ 変調の正側出力に補償することで LPF がなかった信号近傍帯域において雑音を低減する。負側も同様にして雑音補償を行う。その後補償した振幅を clock 波でアップコンバージョンすることで搬送波周波数を中心とした信号近傍帯域で量子化雑音を低減する。

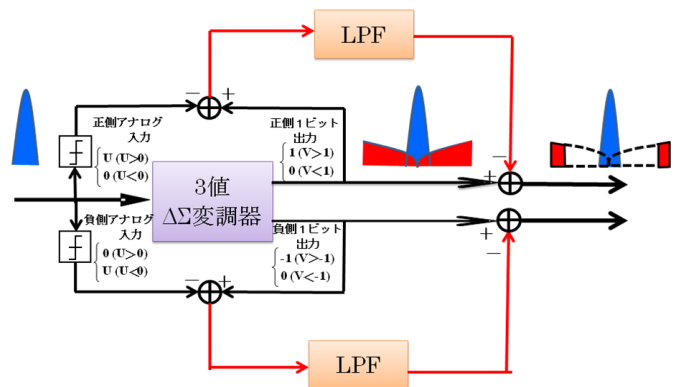


図2 直交変調型 EPWM に振幅雑音補償を用いた量子化雑音低減法の構成

4. シミュレーション概要

シミュレーションの諸元を表1に、構成図を図3に示す。変調後の波形とスペクトルで評価する。

表1 シミュレーション諸元

BBシンボルレート	10 Msymbol/s
$\Delta-\Sigma$ 変調器の動作周波数	500 MHz
雑音補正帯域フィルタ	ブラックマン窓関数による 64次LPF
搬送波周波数	1 GHz
電力増幅器内蔵BPF	0.9GHz~1.1GHz

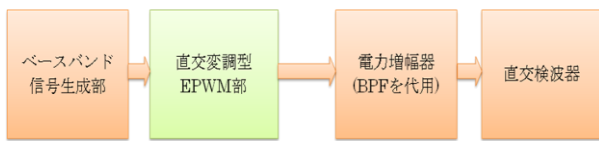


図3 シミュレーション構成図

5. 評価方法

5.1 Coding Efficiency

量子化雑音の評価には Coding Efficiency を用いる。Coding Efficiency は以下の式(1)で示したように変調後の雑音付き電力に対する信号電力の割合で表される。100% に近づくほど雑音が低減されていることを示す。

$$\text{Coding Efficiency} = \frac{\text{信号電力}}{\text{変調後雑音付き電力}} \times 100$$

$$= \frac{\sum(S \times \Delta f_s)}{\sum(S \times \Delta f_s + N \times \Delta f_s)} \times 100 \quad \dots (1)$$

S:信号電力
N:変調後の雑音電力
 Δf_s :サンプリング周波数

5.2 電圧変動率

雑音補償による振幅の発散具合が大きくなるほど後段のスイッチング動作型電力増幅器で効率の低下が生じる。そこで振幅の発散具合を電圧変動率で評価する。電圧変動率は以下の式(2)のように表され補償値の最大値より求まる。0%に近づくほど発散を抑制していることになり増幅器での効率低下を防ぐことになる。

$$\varepsilon = \frac{2 \times \Delta A_{\max}}{A_0} \times 100 \quad \dots (2)$$

A_0 :補償前のパルス波の振幅
 ΔA_{\max} :振幅補償に使う最大値

6. シミュレーション結果

シミュレーション結果を示す。まず図4に雑音補償帯域フィルタ周波数が60MHzの時を例にとった電力スペクトル密度を雑音補償がなかった場合と比較して示す。これより雑音補償をかけた信号近傍帯域で雑音が低減できていることが確認できる。図5には Coding Efficiency と電圧変動率の計算結果を示す。ただしこのときの Coding Efficiency は搬送波周波数(1GHz)を中心に前後100MHz帯域での計算結果としている。図5から雑音補償帯域幅を広げると Coding Efficiency は向上するが、電圧変動率は悪くなるというトレードオフの関係がわかる。

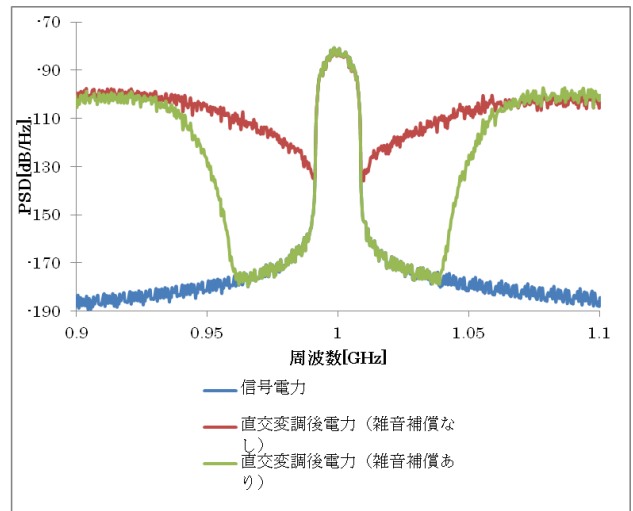


図4 電力スペクトル密度比較による雑音低減効果 (雑音補償帯域フィルタ周波数 60MHz)

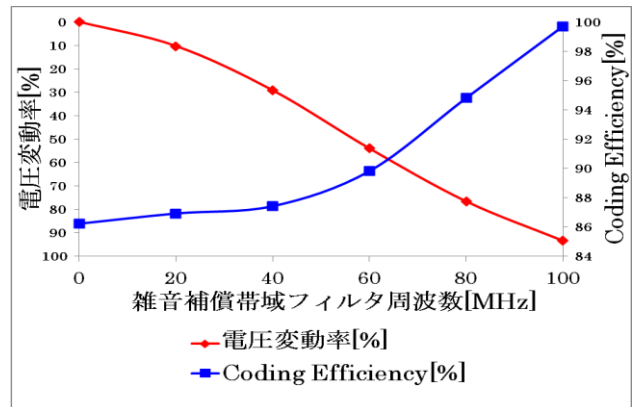


図5 雑音補償帯域フィルタ周波数に対する Coding Efficiency と電圧変動率の関係

7. まとめ

直交変調型 EPWM 送信機において振幅雑音補償による量子化雑音低減をシミュレーションで実現し、その効果を Coding Efficiency と電圧変動率で評価した。今後、電圧変動に対応する準スイッチング型電力増幅器の考案とその電力増幅器における電圧変動の許容範囲の調査が課題である。

[参考文献]

[1] 横澤 真介, 山尾 泰 ”電力増幅器の飽和特性を考慮した EPWM 送信法における量子化雑音の低減法とその効果” 信学技法, IEICE Technical Report, RCS2011-261, 2011-12