

スイッチング動作型送信機の量子化雑音低減に向けた

2 経路のトランスバーサルフィルタにおける高次帯域通過特性の利用

7309157 渡邊一陽

1. はじめに

近年、包絡線パルス密度変調[1],[2],[3]等のスイッチング動作型電力増幅器を用いた高効率送信機の研究が活発に行われている。これらの送信機では、出力における量子化雑音を低減するために、RF帯で狭帯域かつ中心周波数及び帯域幅が可変なフィルタが必要である。狭帯域なBPFとしては圧電素子を用いたSAWフィルタやBAWフィルタなどがあるが、これらは広範囲にわたって中心周波数や通過帯域幅を変更できない。この問題を解決するためにトランスバーサルフィルタ(TF)の各経路にスイッチング型電力増幅器を挿入した電力増幅器挿入型TFが提案されている[4]。しかしTFを狭帯域フィルタとして用いるには経路数を増やす必要があるが、その場合、出力に使用するハイブリッド(HYB)合成器の多段構成によって電力ロスが大きくなる問題がある。

本稿では、経路数が2段構成のTFを用い、遅延差を変化させることで得られる高次の帯域通過特性により実効的にフィルタを狭帯域化すること検討を行い、シミュレーション結果と比較した。

2. 包絡線パルス密度変調

図1に包絡線パルス密度変調の送信機構成を示す。この送信機はベースバンド信号を包絡線検波器とリミッターを用いて、包絡線成分と位相成分に分離する。その後それぞれにパルス密度変調、位相変調を施す。そしてこれらの包絡線成分と位相成分は乗算器で合成され、電力増幅器で増幅される。最後にパルス密度変調によって発生した量子化雑音は適当な帯域のRF帯BPFで除去され、送信される。パルス密度変調に Δ - Σ 変調器を用いることでノイズシェーピング特性により所望波帯域内の量子化雑音を低減することができる[1],[2]。信号帯域外へシェーピングされた量子化雑音はRF帯における狭帯域な帯域通過フィルタ(BPF)を用いて除去される。

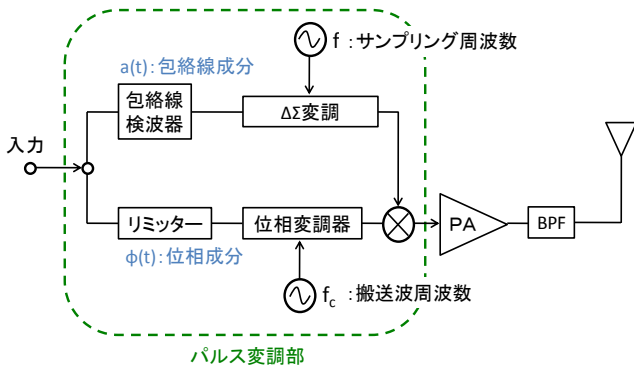


図1 包絡線パルス密度変調の送信機構成

3. 電力増幅器挿入型TF

3-1. 電力増幅器挿入型TF

図2に電力増幅器挿入型TFの構成を示す。包絡線パルス密度変調による変調信号を電力増幅し、かつ量子化雑音を除去するために電力増幅器挿入型TFが提案されている。電力増幅器挿入型TFは、TFの各経路にスイッチング動作型電力増幅器を挿入することにより高効率電力増幅が可能となる。また経路数を変化させることで通過帯域幅を、遅延差を変化させることで中心周波数を変更できる周波数可変フィルタとして用いることができる。

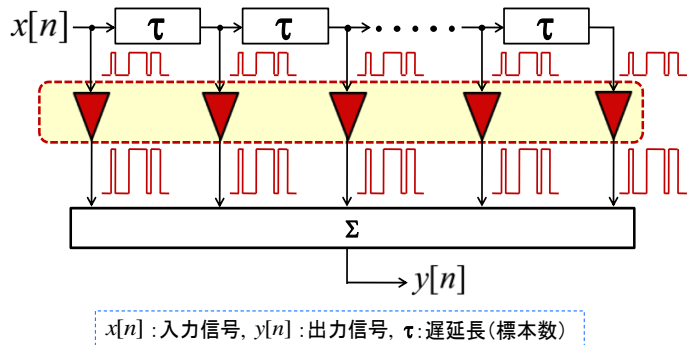


図2 電力増幅器挿入型TF

3-2. TFの高次の帯域通過特性

図3に2経路時のTFで遅延差を変化させた時の周波数特性を示す。経路間の遅延差を入力信号の周期の2倍、4倍と変化させていくと、通過帯域幅は1/2、1/4倍となることがわかる。このことからTF回路において経路間の遅延差を大きくしていくことでフィルタの通過帯域を実効的に狭帯域化することができる。

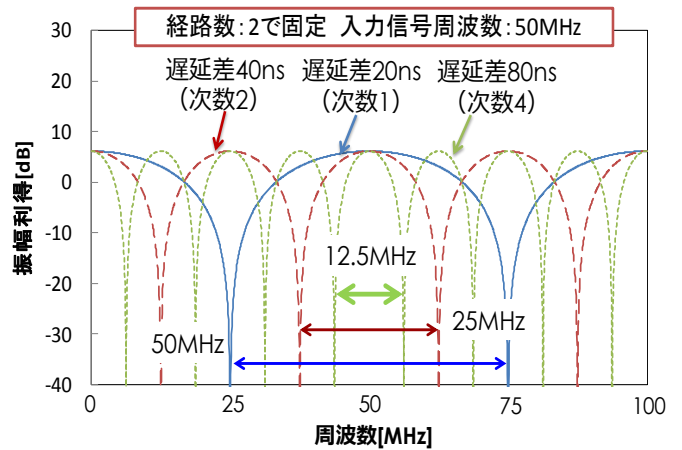


図3 TFの帯域通過特性

4. 2 経路の TF 回路での計算機シミュレーション及び実装

図 4 にシミュレーション及び実験系の構成を、表 1 にその諸元を示す。本稿ではスイッチング動作型電力増幅器を用いずに TF 構成による量子化雑音抑圧効果を評価するため、実装回路では電力増幅器の代わりに減衰器と帯域通過フィルタ (BPF) を用いる。シンボルレート 500kb/s, 16QAM の信号から、2 次の $\Delta \Sigma$ 変調を用いた包絡線パルス密度変調信号を数値計算により発生させ、この信号を任意波形発生器により電気信号に変換したものを減衰器に入力する。2 つの減衰器出力は、それぞれ BPF を通したのち 180° HYB で合成する。その際、2 つの入力信号間の遅延差を調節して TF の通過帯域次数を変化させていき、そのときの出力電力スペクトル密度から所望波と不要波の電力比 (D/U 比) を評価する。通過帯域次数と D/U 比の関係は、HYB 合成後に通す BPF の Q 値をパラメータとして仮定し、評価した。

表 1 シミュレーション及び実験の諸元

入力信号 (MATLAB で作成)	変調方式	16QAM
	シンボルレート	500kb/s
	アップサンプリング率	50
	$\Delta \Sigma$ 変調器次数	2 次
	$\Delta \Sigma$ 変調器の オーバーサンプリング率	50
	搬送波周波数	50MHz
経路数		2 経路
経路間の遅延差 τ		20, 40, 80, 160, 320ns
減衰器(実験)		-10dB
BPF 中心周波数		50MHz
HYB 合成後の BPF の Q 値パラメータ		2.5, 5, 10, 20

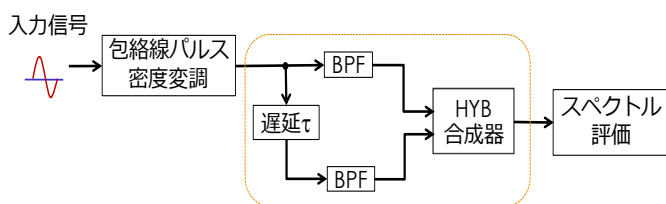


図 4 シミュレーション/実験構成図

5. シミュレーション及び実験結果

図 5, 図 6 にそれぞれシミュレーション及び実験から得た通過帯域次数-D/U 比の関係を示す。シミュレーションと実験の結果は概ね一致した。通過帯域次数を大きくしていくと、次数 4 まではどの Q 値においても D/U 比は改善されていくが、次数をそれ以上にすると、Q が低い (Q=2.5, 5) 場合 D/U 比は劣化し、Q が高い (Q=10, 20) 場合は更に改善される。このことから HYB 合成後に付加する BPF の Q 値に合わせて、最適な通過帯域次数を選択することにより、EPWM 信号の信号帯域近傍の雑音を効果的に除去できると考えられる。

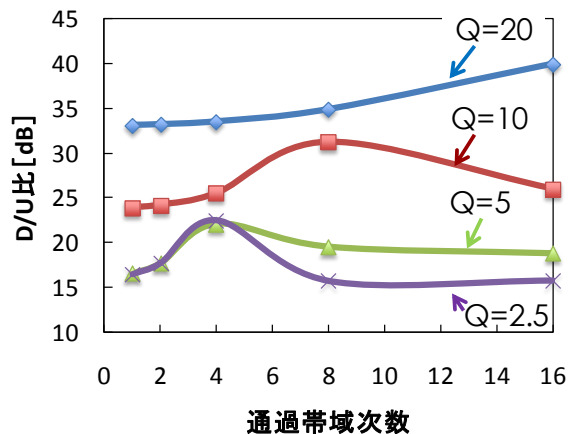


図 5 シミュレーションから得た通過帯域次数-D/U 比の関係

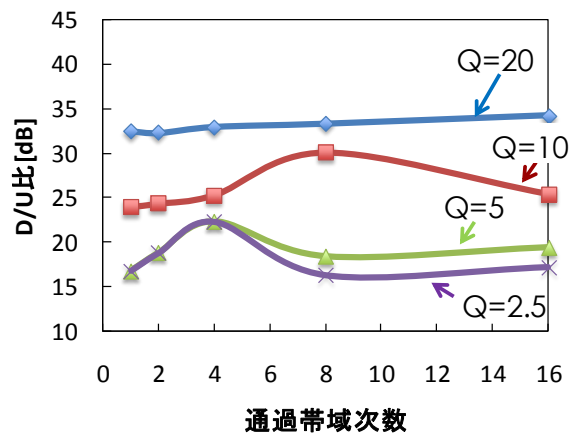


図 6 実験から得た通過帯域次数-D/U 比の関係

6. まとめ

本研究では TF において経路数を増やすことなく、隣接経路間の遅延差を変化させることで、通過帯域幅の狭帯域化し量子化雑音を低減することを検討した。その結果、電力合成後に用いる高周波除去用 BPF の Q 値に応じて TF の遅延差を変化させ、適切な高次の通過帯域次数を利用することで、パルス変調部で発生した量子化雑音を効率良く除去できる見通しを得た。

参考文献

- [1] 太郎丸真, “後段バースト幅変調による振幅変調を電力増幅回路の高効率化~信号処理とスプリアス特性の基礎検討” 信学技報, RCS2006-179, pp25, 2007 年 1 月
- [2] 大岩 朝洋他, “ $\Delta \Sigma$ 包絡線変調による飽和型高効率線形増幅法” 2007 信学総大, A-1-45, pp45, 2007 年 3 月
- [3] E. Umali, Y. Toyama and Y. Yamao, “Delta-Sigma Envelope Pulse-Width Modulation (EPWM) Transmitter for High Efficiency Linear Amplification,” 信学技報, vol.107, no.441, pp.37-42, Nov.2007.
- [4] Fujioka Shota, “Power-amplifier Inserted Transversal Filter for Applying to Pulse-Density-Modulation Switching-Mode Transmitter” ISCIT, p.239-244, 2012