

AS-4-1

3テールセル回路を用いた2乗回路の雑音解析と高周波特性の検討

Noise Analysis and RF Characteristics of Squaring Circuit Based on 3-tail Cell

遠藤勇太
Yuta Endoh

谷本洋
Hiroshi Tanimoto

北見工業大学
Kitami Institute of Technology

1 まえがき

携帯電話の機能ブロックのひとつである電波のパワー検出器内の2乗回路に着目し、1[V]程度の低電圧で動作するマルチテールセル回路を用いた2乗回路について解析する。今回は、マルチテールセル回路の中でも最も簡単な3テールセル回路を用いた2乗回路の雑音解析と、高周波特性について検討する。

2 雑音解析

3テールセル回路の雑音解析は [3] で行っているが、[3] では図1の分圧抵抗 R からくる熱雑音が考慮されておらず、解析法にも不備があった。本解析では、修正節点方程式を用いた解析法により、図1のトランジスタ $Q_1 \sim Q_4$ から生じる熱雑音とショットノイズ、分圧抵抗 R から生じる熱雑音の出力への寄与とを計算し、シミュレーションと比較する。トランジスタの熱雑音は、ベース抵抗による熱雑音のみを考えた。計算に用いる回路は、図1のトランジスタを r_b, r_n, g_m のみから成るハイブリッド π 型の小信号モデルにして構成した。

計算の結果、出力における熱雑音とショットノイズの寄与は次式のようにになった。

$$\overline{I_{thermal}^2} = 4kT \frac{(KG\beta)^2 \left\{ \frac{R}{K} + R + (2r_b + \frac{R}{K} + R) \cosh \frac{V_{in}}{2V_T} \right\}}{\left\{ I_Q K \cosh \frac{V_{in}}{2V_T} + 2GV_T (K + \cosh \frac{V_{in}}{2V_T})^2 \right\}^2} I_Q^2 \quad (1)$$

$$\overline{I_{shot}^2} = \frac{2qI_Q}{(1+\beta)^2} \left[1 - \frac{2I_Q K^3 G V_T \cosh V_{in} 2V_T \beta^3}{\left\{ I_Q K \cosh \frac{V_{in}}{2V_T} + 2GV_T (K + \cosh \frac{V_{in}}{2V_T})^2 \right\}^2} \right. \\ \left. - \frac{2KGV_T \beta^2 \left(-2 \cosh \frac{V_{in}}{2V_T} + K\beta \right)}{I_Q K \cosh \frac{V_{in}}{2V_T} + 2GV_T (K + \cosh \frac{V_{in}}{2V_T})^2} + \frac{K(-1+\beta)}{K + \cosh \frac{V_{in}}{2V_T}} \right] \quad (2)$$

計算値とシミュレーション値を比較したのが図2である。ここで、使用したエミッタ面積比は2乗特性の範囲が最大になる $K=5$ [1] とし、シミュレーションで用いたトランジスタのモデルパラメータは Intersil 社の HFA3096 のパラメータ [2] を使用した。図2より計算値とシミュレーション値はよく合っているが、図2のピーク時に 4[%] 程度の誤差がある。これは計算で用いた等価回路とシミュレーションで用いた回路が違うために生じたと考えられる。

3 高周波特性の検討

3テールセル回路を用いた2乗回路が携帯電話の使用周波数 800[MHz], 1.5[GHz], 2[GHz] といった高周波の領域まで2乗特性を保って動作するかをシミュレーションで確認する。

シミュレーション方法は、入力に正弦波を入力して図1の I_{out} に出てきた信号の離散フーリエ変換を行いDC成分をとる。入力する正弦波の周波数は 100[MHz]~3[GHz] とした。結果を図3に示す。図3より、高周波になるにつれ、寄生容量の影響によって利得が目減りしているものの、3[GHz] においても2乗特性が保たれていることがわかる。

4 まとめ

3テールセル回路を用いた2乗回路の雑音解析を行い、定量的に出力雑音を求めることができた。また、既製のトランジスタのパラメータを用いたシミュレーションにより2乗特性が高周波領域において、どの程度変化するかを明らかにした。今後、エミッタ面積のばらつきによるオフセットの変動の影響や温度特性について明らかにする。

参考文献

- [1] ヨハネス・オット・フォルマン, “トランスコンダクタンス増幅器”, 特公平 8-34393, 1996年3月29日公告
- [2] Intersil&Co., Application NoteMM3046.1, “HFA3046/3096/3127/3128 Transistor Array Spice Models”, February 1994.
- [3] 松平和也, 谷本洋, “3-tailcell による2乗回路の雑音解析”, 電気関係学会北海道支部連合大会講演論文集 7, 2003年10月

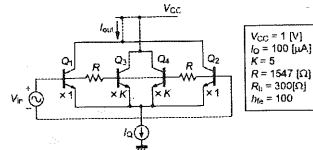


図1 3テールセル回路

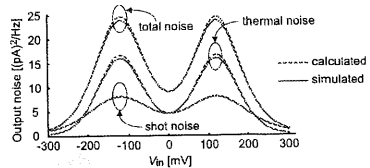


図2 出力雑音の計算値とシミュレーション値の比較

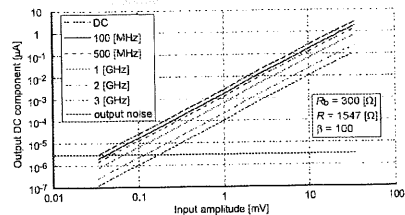


図3 出力のDC成分と出力雑音