

C級動作時における電圧制御型発振器の新位相雑音式の提案

A new Phase Noise formula of LC-VCO in Class-C operation

木村 健将 中田 憲吾 岡田 健一 松澤 昭
Kento Kimura Kengo Nakata Kenichi Okada Akira Matsuzawa

東京工業大学 大学院理工学研究科 電子物理学専攻
Department of Physical Electronics, Tokyo Institute of Technology

1 まえがき

ポータブル機器の普及とともに低消費電力な発振器の需要も高まっている。消費電力を抑える手法として、Class-C化 [1] と発振後に動作するフィードバック回路 [2] を用いる手法があるが、位相雑音が劣化してしまう問題があった。本稿では位相雑音が劣化するメカニズムを解明し、その影響を盛り込んだ新たな位相雑音式を提案する。

2 Class-C VCO

通常のLC-VCOから消費電力を削減する回路構成の1つとして、図1(a)のClass-C VCO [1] が挙げられる。Class-C VCOはクロスカップルトランジスタのゲート電圧をしきい値以下にバイアスすることで、トランジスタの導通時間を半周期以下に減らして電力効率を改善できる。

しかしClass-C VCOの欠点として、発振前から小さい電圧をゲートにバイアスしていた場合、発振がそもそも開始できないという問題がある。そのため最初に設定するゲートバイアス電圧は、ある程度大きな値に設定しなくてはならなくなる。

3 ゲートバイアスフィードバック回路

そのため図1(b)のように、発振開始後に動作するフィードバック回路 [2] を用いる。この回路は発振前にはゲート電圧を高め、発振後にはゲート電圧をしきい値やしきい値以下までバイアスするように動作させるため、消費電力をClass-C VCOよりも減らすことができる。

しかし小さなゲート電圧に落としても発振を持続させるために、非常に大きなサイズのクロスカップルトランジスタが必要になる。そのためゲート電圧を落とすほど、トランジスタの寄生容量が大きくなってしまふ。ゲートバイアス部にノイズが乗った時の容量の揺れが大きくなり、位相雑音の劣化として見えてきてしまふ。

ノイズ源としては周期的な揺れよりも、バイアス抵抗の熱雑音やフィードバック回路が持つオペアンプなどの雑音が支配的になる。

4 Class-C 動作時の位相雑音式

上記のノイズ源を盛り込んだ新しい位相雑音式を提案する。

$$\begin{aligned} \mathcal{L}(f_{\text{offset}}) &= 10\log\left\{\frac{2Fk_B T}{P_{\text{sig}}}\left(\frac{\omega_0}{2Q\omega_{\text{offset}}}\right)^2\right\} + 10\log\left\{\frac{P_{\text{noise}}}{P_{\text{sig}}}\right\} \\ &= 10\log\left\{\frac{2Fk_B T}{P_{\text{sig}}}\left(\frac{\omega_0}{2Q\omega_{\text{offset}}}\right)^2 + \left(\frac{V_m K_V g_{\text{bias}}}{2\omega_{\text{offset}}}\right)^2\right\} \quad (1) \end{aligned}$$

ここで、 ω_0 は発振周波数、 ω_{offset} はオフセット周波数、 F を雑音指数、 P_{sig} を信号電力、 k_B はボルツマン定数、 T は絶対温度、 Q は共振器のQ値、 $K_V g_{\text{bias}}$ をノイズに対する感度、 V_m をノイズ電圧とする。

5 結論

Class-C 動作時に位相雑音が劣化する原因を解明し、新たな理論式を提案した。図2のように従来式と比べ、提案式とシミュレーション結果は同じ特性を示すことがわかった。

謝辞

本研究の一部は、総務省委託研究『電波資源拡大のための研究開発』、総務省SCOPE、科学研究費補助金、半導体理工学研究センター、NEDO、キャノン財団、並びに東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通し、日本ケイデンス株式会社およびアジレント・テクノロジー株式会社の協力で行われたものである。

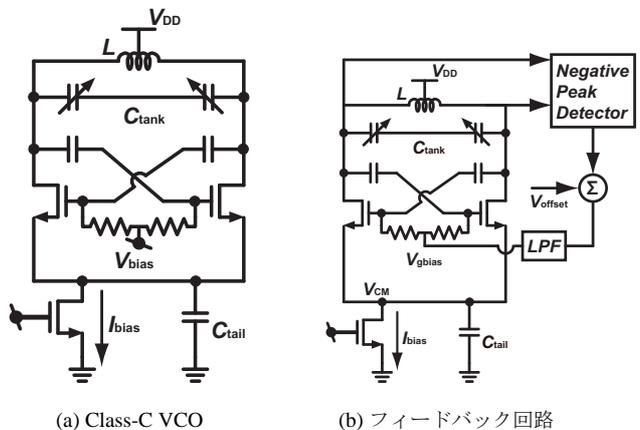


図1 回路構成

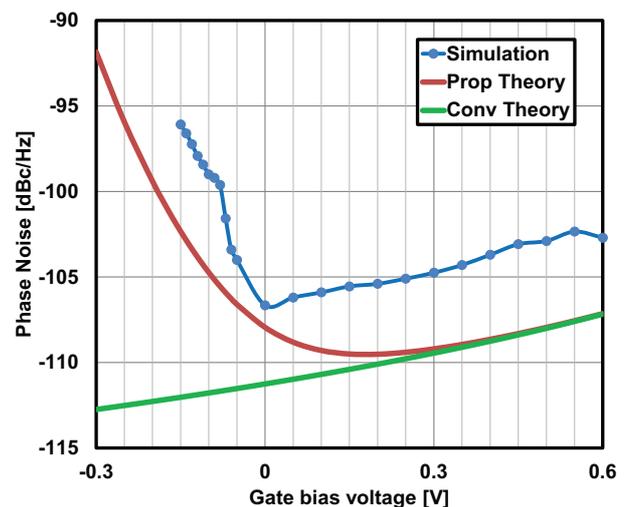


図2 位相雑音

参考文献

- [1] Andrea Mazzanti and Petro Andreani, “Class-C Harmonic CMOS VCOs, With a General Result on Phase Noise “ IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2008.
- [2] Wei Deng, Kenichi Okada, Akira Matsuzawa, “A Feedback Class-C VCO with Robust Startup Condition over PVT Variations and Enhanced Oscillation Swing “ ESSCIRC, 2011.