発振器の信号出力位置に着目した位相雑音特性に関する検討

学生員 今池 健* 正員 作田 幸憲**
正員 関根 好文**

A Study on Phase Noise Characteristics of Oscillation Circuits Focused Signal Output Position

Takeshi Imaike*, Student Member, Yukinori Sakuta**, Member, Yoshifumi Sekine**, Member

This paper discusses phase noise characteristics of an Fr oscillator focusing on a signal output position. Oscillation circuits can be divided into an amplifier and a feedback circuit. We compared that phase noise characteristics before passing through a feedback circuit or a after. As a result, it turned out that the slope of the phase noise characteristic does not relate to the signal output position.

キーワード：位相雑音，Fr 発振回路，出力位置，SAW，インピーダンス整合

Keywords：phase noise, Fr oscillator, output position, SAW, impedance matching

1. はじめに

周波数基準源の高安定化技術は，計測分野における測定精度の向上や，通信分野における周波数有効利用に貢献できることから重要な課題となっている。特に近年では，位相変調方式に基づいた通信方式も多く，情報量の増大に伴う高能率変調方式の高度化のためには発振周波数近傍の位相雑音を低減する必要がある。

我々は，低位相雑音化が可能な発振回路構成として，増幅回路と帰還回路のインピーダンス整合を重視し，SAW 共振子のインピーダンスが最小となる無誘導周波数（以下，Fr 周波数と記す）で発振させる構成の Fr 発振回路を提案した⁽¹⁾。Fr 発振回路は，帰還回路での損失が小さく，電力伝送利得が大きいと，低利得の増幅回路で発振条件を満足できる。従って，効率よく発振信号電力を大きくしつつ，雑音電力を抑えられるため高い CN 比を実現できる⁽¹⁾。

本検討では Fr 発振回路の位相雑音特性改善のため，信号の出力位置に着目し，その特性について検討を行った。

2. 発振回路の構成と信号出力位置

〈2・1〉 信号出力位置 Fig. 1 に検討を行った Fr 発振

回路のブロック図を示す。

同図は，増幅回路，周波数選択回路，位相調整用の遅延線，信号出力用のパワースプリッタより構成される。(a) の構成は，帰還回路を通過した信号を出力する構成，(b) の構成は増幅回路の直後から信号を出力する構成である。

発振器の位相雑音は，発振信号電力と発振周波数近傍の雑音電力との比で評価される⁽²⁾ことから，(a) の構成では，帰還回路がフィルタとして作用し雑音電力の抑圧が期待されるが，帰還回路の損失により発振信号電力は減少する。これに対し，(b) の構成では，増幅器の直後から出力するた

(a) Output after feedback circuit

(b) Output after amplifier

Fig. 1. Oscillator configuration

* 日本大学大学院理工学研究科電子工学専攻
〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1
Program in Electronic Engineering, Graduate School of Science
and Technology, Nihon University,
7-24-1 Narashinodai, Funabashi, Chiba 274-8501

** 日本大学理工学部電子情報工学科
〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1
Department of Electronics & Computer Science, College of
Science and Technology, Nihon University,
7-24-1 Narashinodai, Funabashi, Chiba 274-8501

め、最大の発振信号電力が得られるものの、雑音が増幅されて出力されるため雑音電力も増加する。このため、どちらの構成が低位相雑音化に有効であるのか明確ではない。そこで、2通りの発振回路を作製し、その特性を比較した。

〈2・2〉 発振回路構成 Fig. 2 に、使用した帰還回路の構成を示す。同図は電圧制御による周波数可変機能を持たせた構成で、入出力インピーダンスは 50Ω となっている。バラクタダイオードを対向させることで、大振幅による整流作用を防ぐとともに、容量の非線形性による位相雑音の増加を防ぐ構成⁽³⁾とし、測定を容易に行うため SAW 共振子より低周波の水晶振動子 (10MHz) を使用した。

増幅回路には 50Ω 系の MMIC (G ; 19dB, NF ; 3dB, P_o ; 13dBm), パワースプリッタには分配損失 3.5dB のハイブリッドトランスを使用した。

遅延線は同軸ケーブル (RG-58A/U) を使用した。遅延線の電気長は、増幅回路の非線形性を考慮し、Fig. 1 の遅延線の出力において閉回路を切り離し、ネットワークアナライザにより、Fr 周波数における一巡電力伝送利得が 0dB となる信号電力の下で測定された位相差から決定した。

3. 位相雑音特性

Fig. 3 は作製した Fr 発振回路の位相雑音特性を示している。(i) のグラフは制御電圧源にリプルノイズを持つ電源を使用した場合の結果である。 f^{-n} ($n = 0, 1, 3$) の傾斜が顕著に現れているが、これらの傾斜に着目すると、位相雑音のレベルは両者ともほぼ一致していることがわかる。一方スプリアスに着目すると、増幅回路の後から出力したほうが低雑音であることがわかる。これは、帰還回路の後から信号を出力した場合には、制御電圧 V_c の持つ雑音によってバラクタダイオードの容量が変動し、その結果帰還回路のインピーダンスや損失が変化するために発振信号が振幅変調され振幅雑音として現れたことが原因であると思われる。一方、(b) の場合、増幅器によって振幅は制限され、振幅雑音が比較的抑えられたため低雑音となったといえる。

Fig. 3(ii) は電圧制御端子に低雑音電圧源を使用した場合の結果である。この場合、スプリアスレベルは減少し、両者ともその大きさがほぼ等しくなったことから、制御電圧の雑音が、信号を出力する位置によって異なる影響を与えることが確認できた。

以上のことから、Fr 発振回路から信号を出力する場合、帰還回路の前後から出力しても位相雑音の傾斜そのものには大きな変化はないが、スプリアスを考慮すると増幅回路の後から出力したほうがよいことが明らかとなった。

4. ま と め

発振器の信号出力位置に対する位相雑音の特性について検討を行った結果、位相雑音の傾斜には変化がないことがわかった。VCXO として使用する場合、制御電圧のもつ雑音によって発振信号が変調されるため、この影響が少ない増幅回路の後から出力したほうが位相雑音特性はよいこと

Fig. 2. Configuration of the feedback circuit

(i) Phase noise characteristics of Fr oscillator used as VCXO

(ii) Phase noise characteristics of Fr oscillator controlled low noise voltage source

Fig. 3. Phase noise characteristics of Fr oscillator

がわかった。今後は、 50Ω 系以外のインピーダンスにおける特性を明らかにし、より低位相雑音となる構成について検討する予定である。

(平成 20 年 2 月 1 日受付)

文 献

- (1) Y. Sakuta, Y. Arai, and Y. Sekine: "A Study on Configuration of Oscillator Circuits for Improving Phase Noise", *IEEJ Trans. EIS*, Vol.125, No.8, pp.1173-1178 (2005-8) (In Japanese)
作田幸憲・新井優路・関根好文:「低位相雑音化に着目した発振回路の構成に関する検討」, 電学論 C, **125**, 8, pp.1173-1178 (2005-8)
- (2) D. J. Glaze: "Improvements in Atomic Cesium Beam Frequency Standards at the National Bureau of Standards", *IEEE Trans. I.M.*, Vol.19, No.3, pp.156-160 (1970)
- (3) 小西良弘:「実用マイクロ波技術講座理論と実際第5巻」, p.234, 日刊工業新聞社 (2002)