

位相同期回路 (PLL) の位相雑音とその一低減法

高樹 慶次[†] 芹川 聖一[†] 奥野 篤志[†] 田村 亮子[†]
茶屋道宏貴[†]

A Method to Reduce the Phase Noise in PLL Systems

Keiji TAKAGI[†], Seiichi SERIKAWA[†], Atsushi OKUNO[†], Ryoko TAMURA[†],
and Hiroataka CHAYAMICHI[†]

あらまし 位相同期回路 (PLL) の位相雑音の低減のため、電圧制御発振器に使用する能動デバイスであるトランジスタの位相と振幅 (平均電流) の揺らぎの相関を用いる方法を提案して、実証の結果、十分有効な方法であることが判明した。

キーワード 位相雑音, 振幅雑音, 相関, 雑音低減法, PLL

1. まえがき

近年、移動体通信機器などの急速な発達や普及に伴い、位相同期回路 (Phase Locked Loop, 以下、略してPLLと記す) は、広く、各種通信機器、測定機器に應用されているが、その際、その精度上、問題となる位相雑音については、その測定の高精度化に関するものなど [1] の研究はあるが、未解決の問題も多い。筆者らは、低周波の $1/f$ 雑音の研究を行っており、トランジスタにおいては、その振幅雑音 (コレクタ平均電流の揺らぎ) と位相雑音には、相関のあることをつきとめ [2], その相関を用いると、発振器の周波数揺らぎの低減が可能であることも述べた [3]。このレター論文では、更にこの考えを発展させて、PLL の位相雑音の低減が、可能であることを、約 10MHz の発振周波数の実験結果で示す。

2. PLL の位相雑音

PLL 出力の位相雑音は、入力位相雑音と PLL 内の電圧制御発振器 (以下、VCO と記す) のそれぞれの位相雑音の和に関係したものとなる。そのため、VCO の位相雑音を評価するため、入力に安定な水晶発振器を用いた場合の出力揺らぎ特性を評価する必要があり、図 1 にその例を示す。この図より、PLL の位相雑音の低減には、水晶振動子などを用いた安定な発振が、不可欠であることがわかるが、次に、発振器の安定化と PLL の位相雑音の関係を論ずることにする。

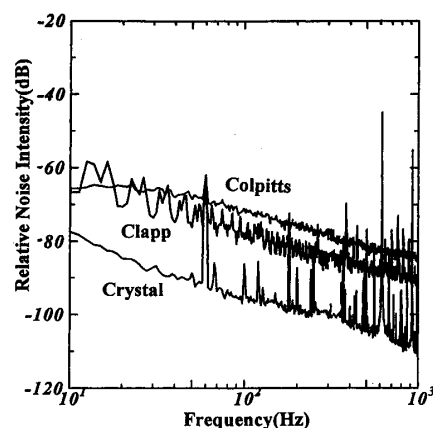


図1 コルピッツ、クラップ及び水晶発振器をVCOとした場合のPLLの相対位相雑音 (約10MHz)

Fig.1 Phase noise in PLL, using Colpitts, Clapp and crystal Oscillators as a voltage controlled oscillator respectively.

3. PLL の位相雑音の低減

ここでは、LC発振器の代表であるコルピッツ発振器とその改良型であるクラップ発振器に可変容量ダイオードを使用して、VCOを構成し、それらを用いたPLLの位相雑音の低減を試みた。発振器の位相雑音の低減には、振幅と位相の揺らぎの相関を用いる [2] こととし、図 2 及び図 3 に各々両発振器で測定された周波数に対するその相関係数を示す。両図より、その相関は、低周波では、かなり強いことがわかる。

図 4 に、この相関を利用した周波数揺らぎの低減 [3] の例を示す。

PLL の位相雑音の低減には、相関のある揺らぎ成分を直接差し引く方法も考えられる。それを実証するため、図 5 のごとく、PLL の入力に安定な水晶発振器を接続し、VCO の振幅雑音を増幅して、差動増幅器で、

[†] 九州工業大学工学部, 北九州市
Department of Electronics, Kyushu Institute of Technology,
Kitakyushu-shi, 804-8550 Japan

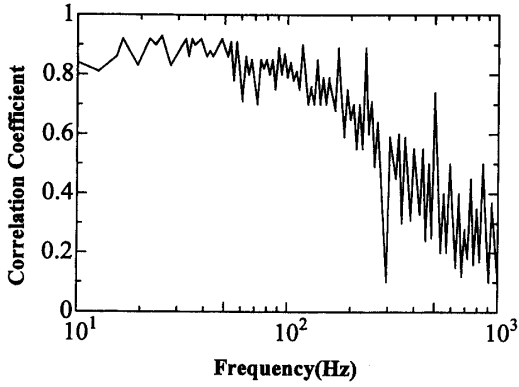


図2 コルピッツ発振器の周波数と振幅揺らぎの相関係数
Fig. 2 Measured correlation coefficient between amplitude an frequency fluctuations in Colpitts oscillator.

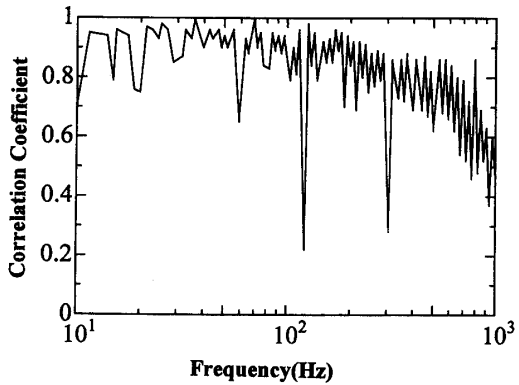


図3 クラップ発振器の周波数と振幅揺らぎの相関係数
Fig. 3 Measured correlation coefficient between amplitude an frequency fluctuations in Clapp oscillator.

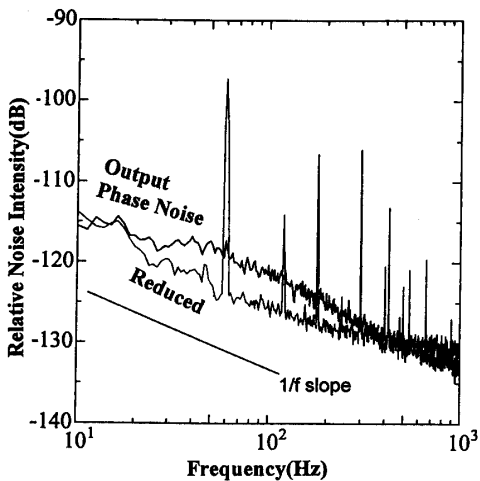


図4 周波数揺らぎ低減例 (コルピッツ発振器)
Fig. 4 The reduced frequency fluctuation in Colpitts oscillator.

PLLの出力雑音中の相関部分を差し引くことを試み、その結果の例として、コルピッツ発振器を用いたPLLについて、図6を得た。なお、クラップ発振器についても同様の結果が得られた。これらのことより、相関

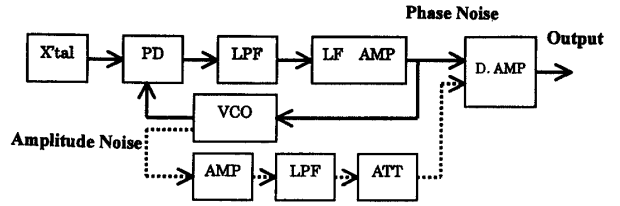


図5 差動増幅器を用いたPLLの位相雑音低減システム
Fig. 5 Phase noise reduction system for a PLL. X'tal: Crystal oscillator. PD: Phase detector. LPF: Low pass filter. LF Amp: Low frequency amplifier. VCO: Voltage controlled oscillator. ATT: Attenuator. D. Amp: Differential amplifier.

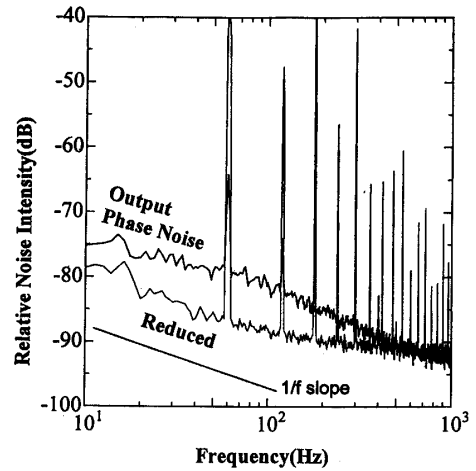


図6 差動増幅器を用いたPLLの位相雑音の低減例 (コルピッツ発振器)
Fig. 6 Phase noise reduction in PLL, using a differential amplifier(Colpitts oscillator).

の高い周波数領域での雑音の軽減が、最大で、7dB程度、行われていることがわかり、この相関によるPLLの位相雑音低減法は、PLLの安定化の一つの方法であることがわかった。

4. むすび

PLLの位相雑音の低減法として、電圧制御発振器(VCO)に使用する能動デバイスであるトランジスタの位相と振幅(平均電流)の揺らぎの相関を用いる方法を提案して、実証の結果、十分有効な方法であることが判明した。今後、更により安定な電圧制御発振器(VCO)を用いたPLLについての検討が必要であろう。

文 献

- [1] 作田幸憲, 三野秀樹, 関根好文, 信学論(C-II), vol.J82-C-II, no.9, pp.486-492, Sept. 1999.
- [2] K. Takagi, S. Serikawa, and T. Kurita, IEEE Trans. ED., vol.44, no.7, pp.1180-1181, 1997.
- [3] K.Takagi, S.Serikawa, and J.Kawabe, IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelectrics, and Freq. Ctrl, vol.45, no.1, pp.264-266, Jan. 1998.

(平成12年3月6日受付)