OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	PLL発振器を用いたフェーズドアレイアンテナの試作実験
Author(s)	塩見, 英久; 立花, 亮; 岡村, 康行
Citation	信学技報. 2008, SPS2007(19), p. 17-20
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/51287
rights	Copyright©2008IEICE
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

社団法人 電子情報通信学会
THE INSTITUTE OF ELECTRONICS,
INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

信学技報
TECHNICAL REPORT OF IEICE
SPS2007-19 (2008-03)

PLL 発振器を用いたフェーズドアレイアンテナの試作実験

塩見 英久　　立花 亮　　岡村 康行

大阪大学大学院基礎工学研究科 〒560-8531 大阪府豊中市待兼山町１－３

E-mail:　shiomi@ee.es.osaka-u.ac.jp

あらまし　大規模フェーズドアレイアンテナの給電方法として同期発振器を分散配置する方法が検討されており、ＰＬＬによる位相同期が有望である。本研究では、発振器を集積した平面アンテナのＰＬＬ制御を念頭に置いた、２台の同期ＰＬＬ発振器で給電されたフェーズドアレイアンテナを試作したので報告する。自励発振周波数を変化させることで、２台のＰＬＬ発振器は最大 90 ° の位相差で発振することを測定により確認した。さらに、ＰＬＬ出力をスロットアレイアンテナへ給電することでフェーズドアレイ動作することを確認した。このとき 11 ° のステアリング角が得られた。

キーワード　ＰＬＬ、アクティブアンテナ、フェーズドアレイ

Experiment of Phased Array Antenna using PLL Oscillator

Hidehisa Shiomi　　Ryo Tachibana　and　Yasuyuki Okamura

Graduate School of Engineering Science, Osaka University

1-3 Machikaneyama-cho, Toyonaka-shi, Osaka, 560-8531 Japan

E-mail:　shiomi@ee.es.osaka-u.ac.jp

Abstract　A feeding method using the PLL oscillator distributed each sub-array is a good candidate for an architecture of a large scale phased array antenna.　In this report, a phased array antenna using 2 synchronized PLL oscillators was fabricated and demonstrated at 2.45GHz.　A maximum phase tuning range of 90 degree and a steering angle of 11 degree was measured.

Keyword　PLL, Active Antenna, Phased Array

1. はじめに

宇宙太陽発電所に搭載される超大規模送電アンテナの給電方法として、アンテナの各部に同期したマイクロ波発振器を配置する方法が検討されている。この方法では、発振出力のコヒーレントな合成を可能とするために十分な低位相雑音で大出力の発振源の開発が不可欠であり、位相制御マグネトロン[1-4]が研究され、良好な結果が得られている。一方、近年大出力化が著しいマイクロ波半導体デバイスを平面アンテナへ直接集積した構造も小型軽量化の観点から魅力的であり、著者らはトランジスタを用いた発振回路を集積したデュアルフィードパッチアンテナ[5]を提案している。これは、所謂マルチデバイス発振器の一種であり、多素子化によって実用に十分な出力が得られるものと期待している。

これらの背景を踏まえ、本研究では同期した２素子のＰＬＬ発振器の出力を２素子スロットアレイアンテナへ供給することでフェーズドアレイ動作させることを試みた。ＰＬＬ発振器をコヒーレントに動作させるための同期信号には１２．８ＭＨｚの温度保障型水晶発振器（ＴＣＸＯ）を用いるため、各素子への同期信号の分配は比較的簡単である。位相差の発生には、位相同期した発振器の自励発振周波数を変化させることで、ＰＬＬの残留位相誤差を位相差として利用する方法を試みた。この方法は移相量が±９０度以内に制限されるが、きわめて簡単な構成で位相差を発生させることができる。まず、ＰＬＬの残留位相誤差について簡単に述べ、次にＰＬＬ発振器の試作と特性について述べ、最後にフェーズドアレイ動作させたアンテナの指向性測定結果について議論する。

2. ＰＬＬ発振器

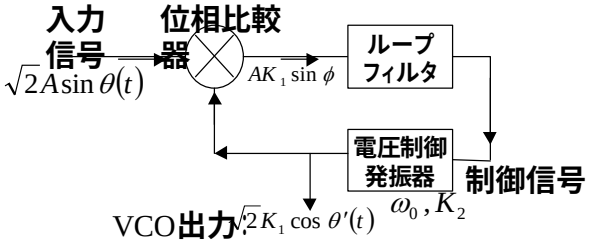


図１　ＰＬＬ発振器の基本的な構成

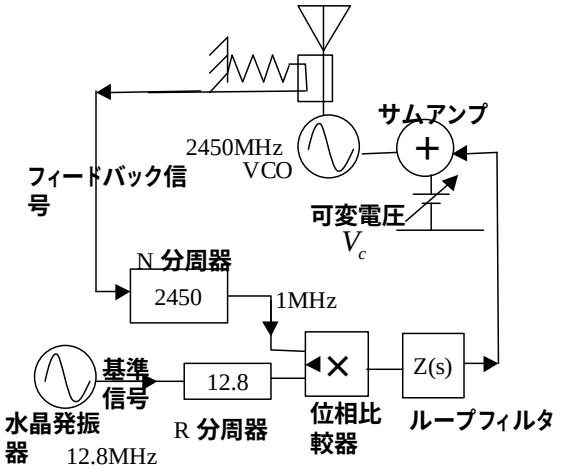


図２　試作したＰＬＬ発振器の構成

ＰＬＬ発振器は基本的に図１のように構成される。入力信号を式(1)、ＶＣＯ出力信号を式(2)とすると、位相比較器の出力は式(3)であらわせる。

$$\sqrt{2}A\sin\theta(t) \tag{1}$$

$$\sqrt{2}K_1\cos\theta'(t) \tag{2}$$

$$AK_1\sin\{\theta(t)-\theta'(t)\}+AK_1\sin\{\theta(t)+\theta'(t)\} \tag{3}$$

ここで、VCO の自励発振各周波数をω0[rad/sec]とし、その各周波数変調感度をK2[rad/sec/V]とすると、発振各周波数は式(4)であらわせる。

$$\frac{d\theta'(t)}{dt} = \omega_0 + K_2AK_1\sin\phi \tag{4}$$

ここで、

$$\theta_1(t) = \theta(t) - \omega_0 t$$
$$\theta_2(t) = \theta'(t) - \omega_0 t$$

とおくと、ＶＣＯ出力と参照信号の位相差の変動は式(5)となる。ここで、$K = AK_1K_2$ でありループゲインを示す。

$$\frac{d\phi(t)}{dt} = \frac{d\theta_1(t)}{dt} - K\sin\phi \tag{5}$$

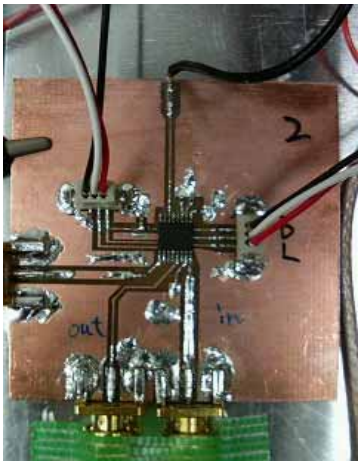
したがって、発振器と入力信号の周波数差Δωを式(6)とする参照信号を加えたとき、定常状態での位相誤差は式(7)となる。

$$d\theta_1/dt = \Delta\omega \tag{6}$$

$$\phi_e = \sin^{-1}\left(\frac{\Delta\omega}{K}\right) \tag{7}$$

したがって、ＶＣＯの自励発振周波数を変化させれば、ロック範囲内で±90 度の残留位相誤差を発生させることが可能であり、これをフェーズドアレイの位相差発生に応用することが可能である。

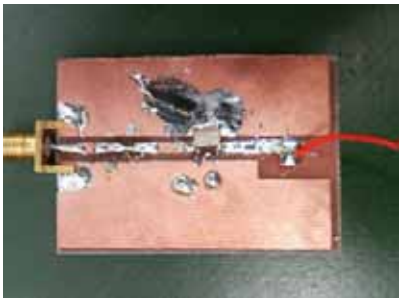
3. PLL 発振器の試作



(a) 位相比較器

(b) ＶＣＯ

(c) フィルタ



(d) 基準発振器

図３　試作した各モジュールの写真

試作したＰＬＬ発振器の構成を図２に示す。位相比較器として分周期を内蔵したナショナルセミコンダクタ LMX2347 を、基準発振器には温度保証型水晶発振器 NDK NT3225S を、ＶＣＯにはミニサーキット JTOS-3000P+を、ハイブリッドや分配器はミニサーキットのディスクリート部品を、基板は厚さ 0.8mm のＦＲ４を用いた。各部の特性評価を考慮して、位相

比較器、ＶＣＯ、ループフィルタ、基準発振器をそれぞれ個別の基板に製作し、それぞれを同軸ケーブルで接続する方法を採った。図３に実際に製作した各モジュールの写真を示す。

試作したモジュールを図２の構成に接続し、動作試験を行った。ただし、本報告内ではサムアンプは省略してＶＣＯの駆動電圧を変化させて自励発振周波数を変化させた。

図４に位相同期時の発振スペクトルを示す。発振周波数が正しく２．４５ＧＨｚにロックされ、位相雑音が減少していることがわかる。

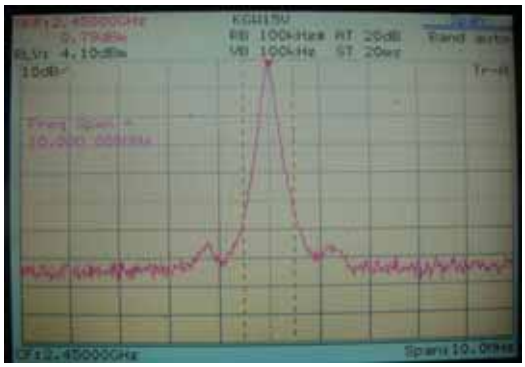
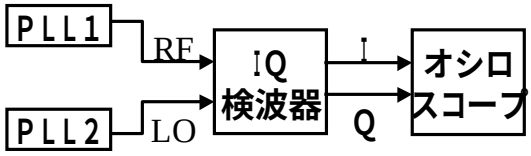
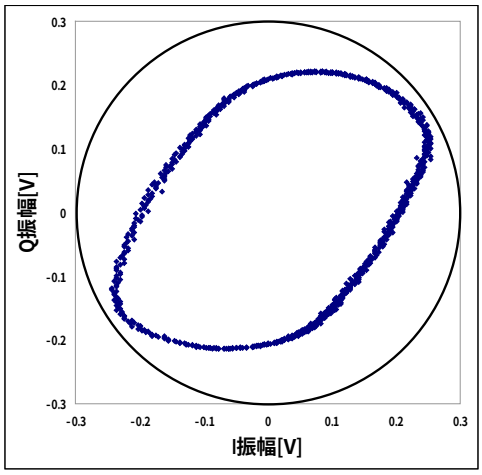


図４　ロック時の発振スペクトル

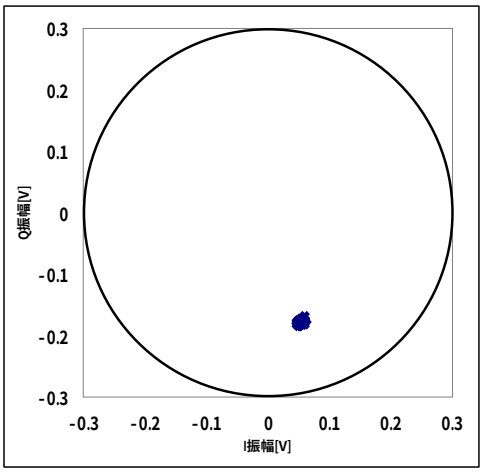
次に、このような発振器を２台製作し、同期発振の実験を行った。図５(a)に、同期検波による発振器の位相差の測定系を示す。直交検波器のＲＦ、ＬＯの各入力端子それぞれにＰＬＬ発振器を１台づつ接続し、直交検波出力をオシロスコープにより観測した。図５(b)が２台の発振器をそれぞれ自励発振させたときの測定結果である。発振器の各周波数がおのおの異なるため、ビート周波数の周期で位相が変化し、円状の出力が得られた。図５(c)に位相同期時の測定結果である。２台の発振器の発振周波数が同期し、互いの残留位相誤差により決まる位相差φの位置に点状の出力が得られた。さらに、同期した状態で片方の駆動電圧を調整し自励発振周波数を変化させることで、位相差の制御を試みた。図６に制御結果を示す。ＶＣＯ電圧を3.21V～3.41V の間で変化させることで約９０度の位相差が得られた。



(a) 位相差測定系



(b) 自走発振時の検波出力



(c) 位相同期時の検波出力

図５　位相差の測定

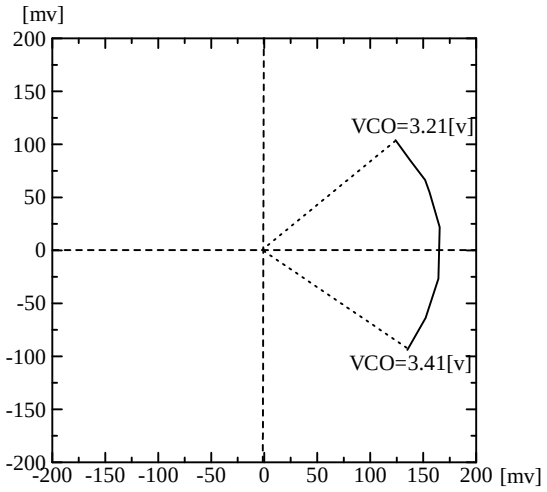


図６　位相差の制御結果

最後に、２台のＰＬＬ発振器の出力を２素子スロットアレイアンテナへ給電し、フェーズドアレイ動作を確認した。図７に実験系を、図８に指向性測定結果を示す。薄線と濃線はそれぞれ異なる位相の場合の指向性パターンであり、それぞれの位相差は 33°であり、そのときのステアリング角度は 11.2°であった。アレイファクタから計算したステアリング角度は 11.8°であり、計算値と測定値はよく一致した。

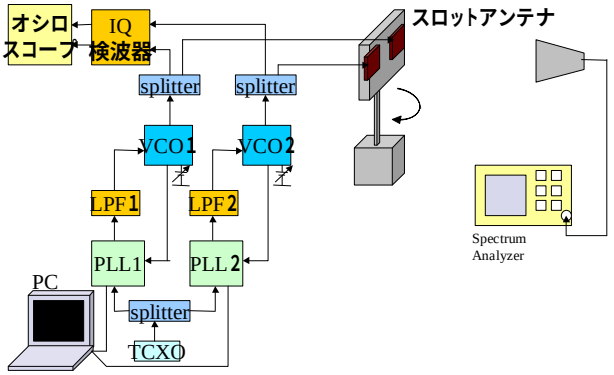


図７　フェーズドアレイアンテナの指向性測定

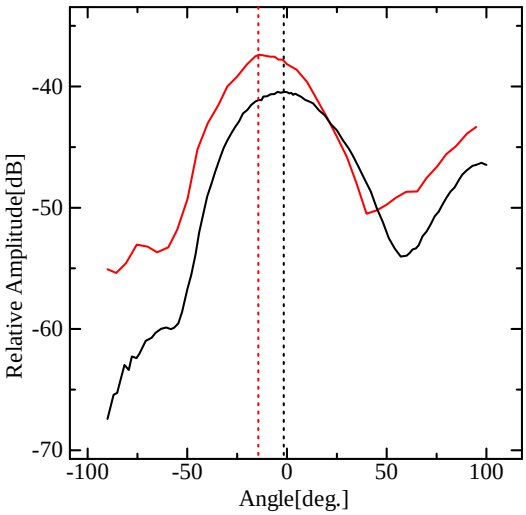


図８　フェーズドアレイアンテナの指向性

4. まとめ

２台の同期したＰＬＬ発振器を用いてフェーズドアレイアンテナを構成し指向性を測定した。試作した２台のＰＬＬ発振器の自励発振周波数を調整して位相差を発生させたところ、最大 90°の位相差を発生させられた。２素子スロットアレイアンテナを用いてフェーズドアレイ動作させたところ、11°のステアリング角度が得られた。今後、マルチデバイス発振器のＰＬＬ制御とフェーズドアレイアンテナへの応用を試みたい。

文　献

[1] 篠原，三谷，松本，“位相制御型マグネトロンの開発研究，”電子情報通信学会論文誌Ｃ，Vol.J84-C, No.3，pp.199-206，2001.

[2] N.Shinohara, H.Matsumoto and K.Hashimoto, “Solar Power Station/Satellite (SPS) with Phase Controlled Magnetrons,” IEICE Trans. Electron, 2003.

[3] 松嶋，篠原，三谷，松本，“位相振幅制御マグネトロンの高速化･高機能化に関する研究，”信学技報，SPS2005-12，2005.

[4] 三谷，篠原，宮田，松嶋“民生用ＣＷマグネトロンの高機能化に関する研究開発，”信学技報，SPS2006-15，2006.

[5] 納山，塩見，岡村，“Push-Pull 励振型アクティブパッチアンテナ，”信学技報，SPS2005-16，2006.