

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

# 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。

.()

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

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

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

ここで、VCOの自励発振各周波数を 0[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。

$$\frac{d \theta'(t)}{dt} = \omega_0 + K_2 A K_1 \sin \phi$$
(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<sub>1</sub>K<sub>2</sub> でありループゲイ ンを示す。

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

したがって、発振器と入力信号の周波数差 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。

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

$$\phi_{e} = \sin^{-1} \left( \frac{\Delta \omega}{K} \right)$$
(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) V C O

(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、V CO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FR 4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 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



<sup>(</sup>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 P L L 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 P L L 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 P L L 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.