

## IMPROVEMENT OF THE RF SOURCE OF THE DSM

T. Tanaka, K. Hayakawa, K. Sato, Y. Torizuka and \*H. Nakazawa

Atomic Energy Research Institute, Nihon University

\*College of Science and Technology, Nihon University

Narashinodai 7-24-1 Funabashi 274, Japan

### ABSTRACT

The large phase noise in the 2450 MHz rf of the double sided microtron has been reduced by the use of a PLL synthesizer in place of a frequency multiplier. The 100 time multiplier amplifies the phase noise by 40 dB. The PLL synthesizer has an advantage that the phase noise component in the rf can be reduced by a low pass filter in the PLL circuit. A flat beam wave form was obtained by the use of the PLL synthesizer.

## 日大DSマイクロトロンのRF源の改良

### 1. はじめに

日大DSマイクロトロンの使用している 2450 MHz のRFは、24.5 MHz のシンセサイザー出力を 100 通倍して得ていたが、100 通倍後のRFに含まれる位相ノイズが大きいため加速電場・位相が加速管のビルドアップタイム程度の周期で変動し、加速特性を悪くしていることが問題であった。これは、通倍器が位相ノイズに関しては増幅器の役割を果たすことに原因がある。そこで通倍器の使用による位相ノイズの増幅を避けるために、2450 MHz 付近で発振できるYIG同調発振器(YTO)を購入し、24.5 MHz シンセサイザー出力を基準周波数としてその100倍の周波数で発振させるもう1段のPLLシンセサイザーを製作した。YTOは位相ノイズが小さく発振が安定であることが利点で、PLLループ回路のローパスフィルターの遮断周波数を低くすることで位相ノイズを増幅させずにすみ、得られた2450 MHz RFのスペクトル・周波数安定性は良好であった。この結果、加速ビームの電流波形が大幅に改善された。

以下において、通倍器による位相ノイズの増加、PLLシンセサイザーの回路構成、RFスペクトルの比較等について述べる。

### 2. 通倍器による位相ノイズの増幅効果

RFの基本搬送波成分  $\exp(j\omega t)$  と微小な位相ノイズ成分の一つ  $a(t)\exp\{j(\omega+\Delta\omega)t\}$  の合成波  $V_1(t)$  を考える。 $a(t)$  は時間的に変動するノイズの振幅で、 $a(t) \ll 1$  である。

$$V_1(t) = \exp(j\omega t) \{ 1 + a(t)\exp(j\Delta\omega t) \} \quad (1)$$

であり、この合成された波をN通倍することは(1)式をN乗することと同等であるからN通倍

された波  $V_N(t)$  は以下の様に書ける。

$$V_N(t) = \exp(jN\omega t) \{ 1 + a(t)\exp(j\Delta\omega t) \}^N$$

$$\approx \exp(jN\omega t) \{ 1 + Na(t)\exp(j\Delta\omega t) \} \quad (2)$$

これはN逓倍すると位相ノイズ振幅をN倍に増幅することを示す。実際に 24.5 MHz (入力)、490 MHz (20逓倍後)、2450 MHz (100逓倍後) の各逓倍段においてスペクトラム・アナライザで測定したRFのスペクトルを比較すると、位相ノイズレベルが 26dB、40dB と増加することが確かめられた。従って逓倍器を使用するとその倍数分だけ位相ノイズを悪化させることは避けられない。逓倍後の大きな位相ノイズを避ける方法としては、もともと位相ノイズが極めて小さい低周波RF源を用いるか、あるいはPLL方式により逓倍することが考えられる。我々が所有する安立の MG440E6 シンセサイザは安定度が良く周波数の調整が容易で便利であるので、後者の方法に基づきPLLシンセサイザを製作して位相ノイズの問題を解決することにした。

### 3. PLLシンセサイザの回路構成

PLLシンセサイザは概念的には図1に示されるブロック図の様な構成となる。図中のVCOの周波数安定性が良く位相ノイズが小さければ、基準周波数信号に含まれる位相ノイズが位相比較器の出力にそのままノイズとして現れるので、ローパスフィルタでカットすることによりVCO出力は基準信号の基本搬送波のみにロックされる。このため逓倍器のように入力に含まれる位相ノイズがN倍に増幅される様なことは起きない。

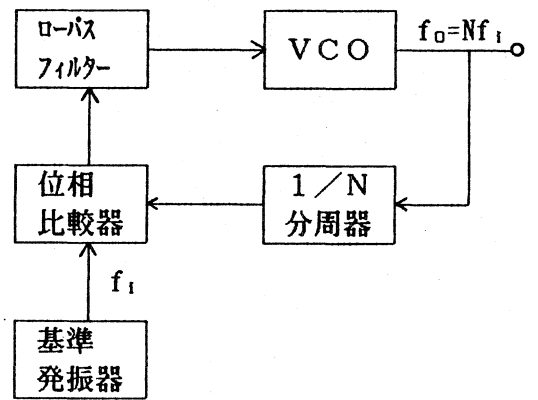


図1 PLLシンセサイザの概念図。

実際に製作したPLLシンセサイザのブロック図を図2に示す。入力の 24.5MHz 基準周波数は MG440E6 シンセサイザから得る。VCOにはAVANTEKのYIG同調発振器 (YTO) AV7224 を用いた。2450MHz で使える 1/128 分周器が容易に入手できたので、更にTTLの5進カウンタを2段用いYTO出力を 1/3200 分周した後 24.5MHz の 1/32 分周信号と位相比較を行う。位相比較器はチャージポンプを内蔵しているので、YTO出力の位相に従って出力レベルが上下する。この出力をオペアンプから成るローパスフィルタに入力し、位相ノイズを取り除き、YTOのFM変調端子に入力する。このPLLの変調範囲は約  $\pm 16$  MHzで、YTOの長時間ドリフトが数 MHz なので周波数の

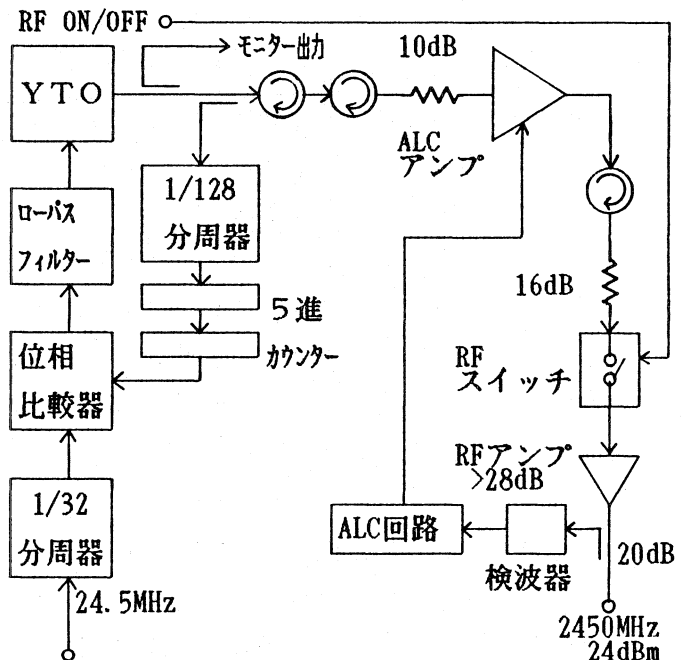


図2 2450MHz PLLシンセサイザのブロック図。

主調整をほぼ 2450 MHz に合わせて置けば回路の電源投入直後からフェーズロックが安定にかかる。

AV7224 の出力は 20 dBm であるがクライストロンのドライブ用 RF アンプの入力には 24 dBm 必要である。また、RF のスイッチングによるパルス動作と ON/OFF の機能、更に ALC 機能も必要であるため YTO の出力にはアイソレーター、減衰器、ALC アンプ、RF スイッチ、RF アンプ、更に RF モニター用の方向性結合器がつながっている。最終段のアンプ出力のリップルは 0.1 % 以下である。RF スイッチの ON/OFF により ALC アンプの動作が大きく変化し、その影響で入力の反射量が変わるので、YTO の発振に与える影響を除く為に ALC アンプの入力にはアイソレーターを 2 段用いている。

#### 4. RF スペクトルの比較及びまとめ

図 3 に、逡倍器を用いた時 (a) と PLL シンセサイザーを用いたとき (b) のスペクトラムアナライザーによる RF スペクトルを示す。スペクトルは時間平均したもので縦軸と横軸のスケールはそれぞれ 10dB/、0.5MHz/ である。ピークから 0.5 MHz の位置で約 -50 dBc あった位相ノイズがシンセサイザーでは -80dBc 以下になっている。シンセサイザーでは位相ノイズが大きく減少していることが判る。

逡倍器をシンセサイザーに置き換えて加速管のハイパワー試験とビーム加速を行った結果では位相ノイズによって生じていた加速管からの反射の細かな変動が観測されなくなり、加速ビームの電流波形に見られたビームの欠落も全く無くなり加速特性が大幅に改善された。

この様に、PLL シンセサイザーによる逡倍は位相ノイズを増幅させない逡倍方法として非常に有効であることが確かめられた。これまでの所、長時間に渡る加速器の運転においてこのシンセサイザーには何の問題も生じていない。

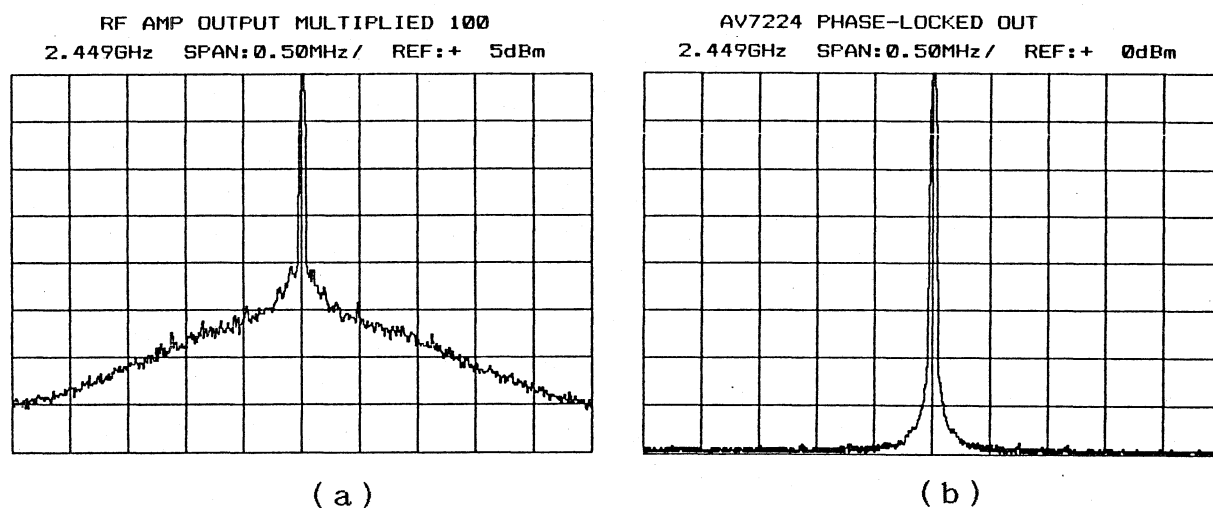


図 3 スペクトラムアナライザーによって得られた RF スペクトル。(a) 逡倍器を使用した時、(b) PLL シンセサイザーを使用した時で、それぞれ縦軸と横軸は 1 目盛 10dB、0.5MHz である。位相ノイズの違いが明らかである。中心周波数は 2450MHz。