

DEVELOPMENT OF LOW-POWER RF COMPONENTS FOR JLC (II) (DEVELOPMENT OF THE X-BAND FAST PHASE SWITCH)

S.Araki and Y.Otake

KEK, National Laboratory for High Energy Physics
1-1, Oho, Tukuba-shi, Ibaraki-ken, 305, Japan

ABSTRACT

The X-Band Fast Phase switch for SLED was developed to obtain a fast phase flip within a couple of nano-second. The phase switch consists of a 3dB Hybrid, fast PIN-diode switches and movable shorts with a micro-meter. A pulse response of the phase switch was 10ns and is enough for a test of the X-band SLED.

JLCのための低電力RF制御デバイスの開発 (II)
(X-band高速移相スイッチの開発)

1. はじめに

高エネルギー物理学研究所において、加速器将来計画の1つとして重心系エネルギーで1.5TeV級の電子陽電子衝突型線型加速器(JLC)が検討されている。JLCでは、小型化、高電界化を実現するのに100MeV/m以上の加速電界が必要とされ、その実現のためにXバンド(11.424GHz)加速が採用されている。高周波源としてピーク出力100MWのクライストロンが現在開発中であるが、Xバンド加速構造中で100MeV/mの加速電界を得るためには、数百MWの電力が必要でSLED¹⁾やSLED-IIなどのRFパルス圧縮技術の開発が不可欠である。

この技術には高速の移相技術(180°位相シフト)が重要で、今回Xバンド用SLEDのためにこの高速移相スイッチを開発した。この移相スイッチは最終的に大量生産のためにテフロン系基板で製作するつもりだが、前段階として評価のために一般部品のみで製作した。この移相スイッチは位相反転速度が、10ns以下の性能を収めたのでその特性を以下に述べる。

2. 移相スイッチの原理²⁾³⁾

基本的原理を図1に示す。このような移相スイッチはライン上の短絡端の位置をPINダイオードスイッチで切り替える事により、その信号の行路差から180°の移相を行うものである。一般的に空気を利用した同軸線路の場合、その電気長は以下のような式で与えられる。

$$\phi = \frac{2L}{\lambda} 2\pi + 2\pi n$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

ϕ : 位相
L : Movable Shortの電気長
n : 波数
 λ : 波長
c : 光速
f : 11.424GHz

今回の場合、図1上のPINダイオード後部の位相差を作る部分として、エアライン型同軸可変短絡器(Movable Short)を使用したので、そのPINダイオードスイッチをオン/オフ

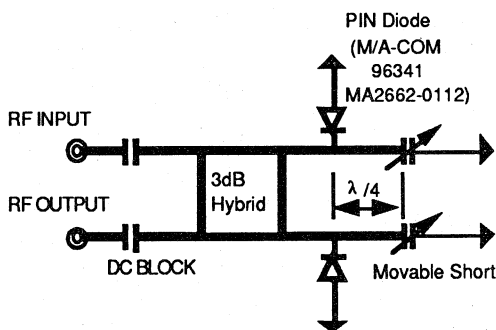


図1 移相スイッチの回路図

した時の位相差は上記の式で計算できる。使用周波数が11.424GHzなので可変短絡器内の波長は26.26mmであり、180°の位相差を得るにはその行路長が管内波長の整数倍たす6.57mm($2\pi n\lambda + \lambda/4$)でなければならない。

現在予定されている100MWのXバンドクライストロンは、パルス幅が100ns程度なのでSLED等のパルス圧縮技術を使用する場合、そのパルス幅の3/4である75ns位のところで位相を高速に反転する必要がある。また、その位相反転速度がその出力先頭電力に大きく影響するので数ナノ秒程度の速度を必要とする。

3. 個別部品の特性

個別部品に要求される特性は11.424GHzで損失として0.1~0.3dB程度、位相誤差が数度以内である。

使用した3dBハイブリッド (ANAREN 1H056-3) の分配比(S21)は各ポートで-3.44dBと-3.33dB、位相は-84.0°と-176.1° (2ポート間の位相差は92.1°)、VSWRは1.15と1.12であった。

次に可変短絡器 (Narda 901NM) であるが、11.424GHzで正確に180°の位相反転を得るためには、その位相量を1°以内に設定しなければならない。このために最少目盛で0.35°単位のマイクロメーター付きのエアーライン型可変短絡器を選定した。その特性を図2に示す。位相変化はほぼ直線的に変化し反射損失は1dB以下、変化が±0.5dB以下であった。

次にPINダイオードスイッチ (M/A-COM 96341) の切り替え特性を図3に示す。減衰は-0.5dB以下で切り替え速度は10ns程度であった。

個々の部品は以上に示す様に要求される特性を満し、それらを組み上げて移相スイッチを製作するのに十分耐えうるものであった。

4. 移相スイッチの特性

製作した移相スイッチの外観を図4に示す。移相スイッチのオンとオフの静特性はネットワークアナライザで測定された。オンとオフでの挿入損失は-2.42dBと-3.88dBであり、相対的な位相は-137.72°と-316.99° (位相差は179.27°) であった。またVSWRは1.21と1.03である。代表的な特性の1つを図5に示す。

移相スイッチの位相反転特性は、DBM (Double Balanced Mixer) を利用して図6の構成で測定された。その結果は図7に示すように10ns程度の速度で180°位相反転することが出来た。この切り替え速度の値は、数ナノ秒の位相反転のためには十分とは言えないが、今回のXバンド用

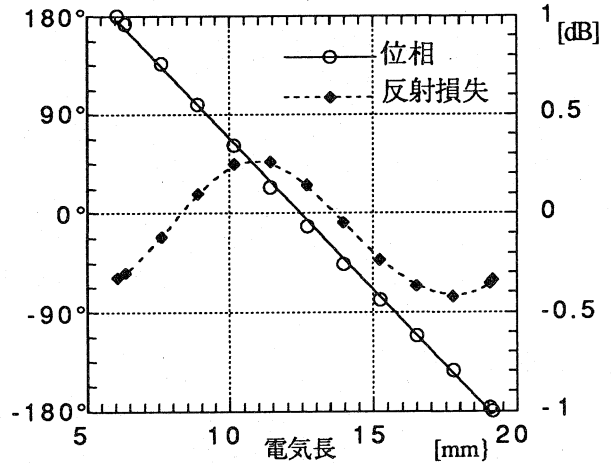
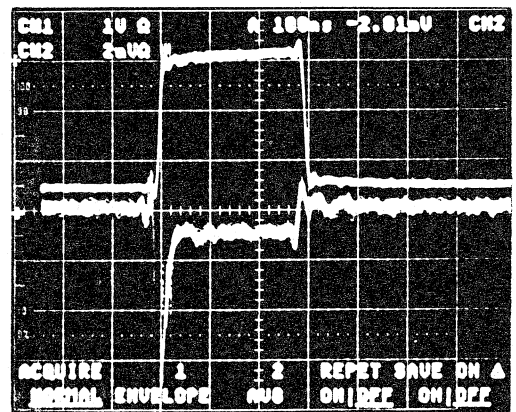


図2 可変短絡器の特性



入力 -10dBm
上: トリガー
下: 出力波形

図3 PINダイオードスイッチの切り替え特性

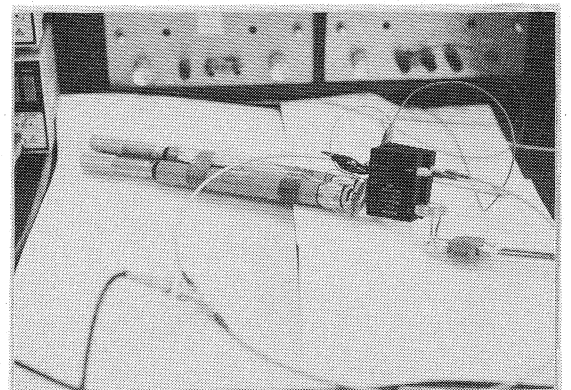


図4 移相スイッチの外観

SLEDのための低電力試験に十分耐えうる性能であった。その接続を図6の破線の部分に示す。

実験での移相スイッチの入力パルスは500nsで、そのパルス幅の400nsの所から後の100ns間を位相反転させた。その移相波形を図8に示す。図9にはその移相波形をSLEDに入力した場合の出力電力波形を示す。この波形からSLEDによりRF電力が入力の約4倍以上になったことがわかる。

5. まとめ

このXバンド移相スイッチは、我々の目的である数ナノ秒での位相反転には十分でないが、Xバンド SLEDの試験のためには十分である10nsの位相反転速度が得られた。これはXバンドの位相反転技術にとって現段階では十分満足したものと思われる。今後として10nsから2~3nsへ位相反転速度を上げなければならないが、そのためには現在の移相スイッチのドライブ回路が速度及びインピーダンス整合の点で不十分と思われるので、それらを改善しなければならない。

参考文献

- 1) Z.D.Farkas et al., "SLED: A METHOD OF DOUBLING SLAC'S ENERGY," Proceeding of the IXth International Conference on High Energy Accelerators, P576-P582, May 1974.
- 2) Heinz D.Schwarz, "Computer Control of RF at SLAC," SLAC-PUB-3600, March 1985.
- 3) J.D.Fox and H.D.Schwarz, "PHASE AND AMPLITUDE DETECTION SYSTEM FOR THE STANFORD LINEAR ACCELERATOR," SLAC-PUB-3071, March 1983.

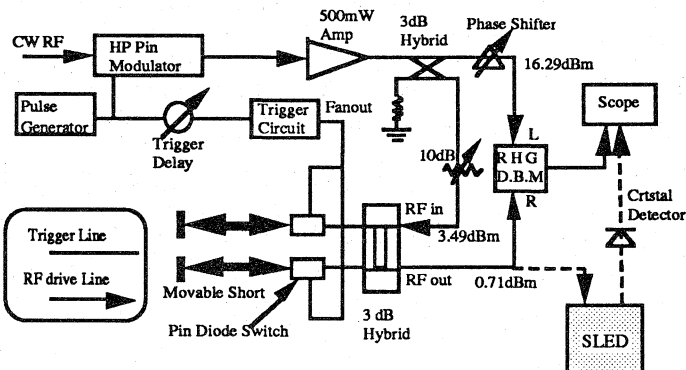


図6 Experimental set-up of the low power RF drive circuit for the X-Band SLED

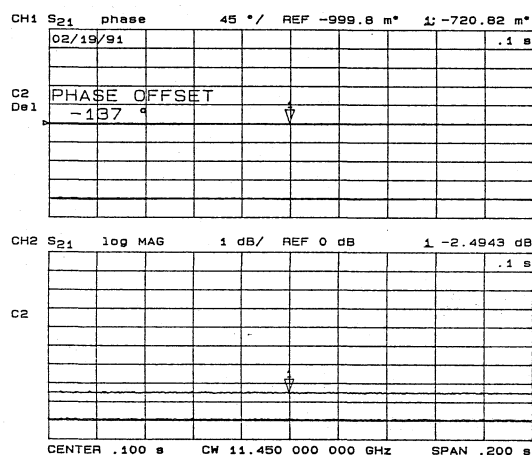


図5 移相スイッチの特性

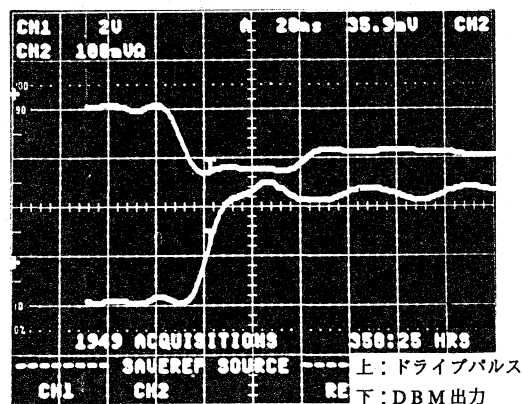


図7 移相スイッチの位相反転特性

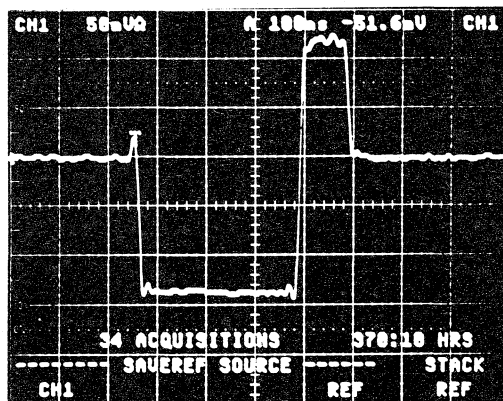


図8 SLED入力位相波形

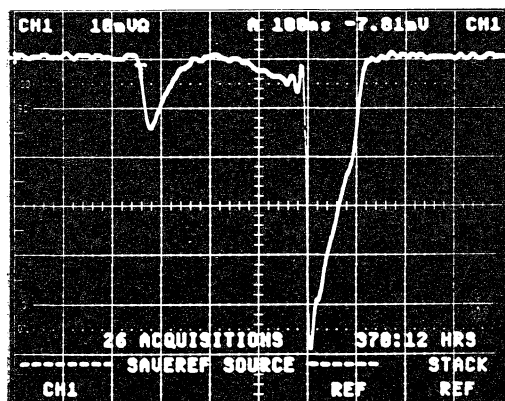


図9 SLED 出力