

DEVELOPMENT OF THE LOW-POWER RF COMPONENTS FOR JLC (I)

Y. Otake, S. Araki and H. Hayano
KEK, National Laboratory for High Energy Physics
1-1 Oho, Tukuba-shi, Ibaraki-ken, 305, Japan

ABSTRACT

The low-power RF system for JLC is being developed to realize a fast feedback control. A 600W S-band solid-state amplifier was successfully developed with fast pulse responses of its own phase and amplitude. By using the solid-state amplifier, diode devices which handle RF power of milliwatt order could be employed as a fast phase shifter, a fast attenuator etc.. Some of the low-power components have a good pulse response of a couple of ten nano-second. According to these progresses, the fast RF feedback control system during its own pulse width will be achieved.

JLCのための低電力RFコンポーネントの開発 (I)

1、序

高エネルギー物理学研究所 (KEK) の将来計画の一つであるJLC計画では、重心系のエネルギーが 1.5TeVでビームサイズが $(\sigma_x, \sigma_y) = (2.9, 560 \text{ nm})$ 程度の電子/陽電子ビームを衝突させようとしており、その実現ための研究が精力的に進められている。このような高いルミノシティーを得る衝突型加速器の場合、非常に安定なリニアックを実現しなければならないので色々なフィードバック系が必要である。

100MeV/mの加速電界を得ようとしているRFシステムも例外でなく、RFの電力や位相を安定に保つためにフィードバックシステムが重要になっている。最終的な目標としては、大電力クライストロンの出力パルス (数マイクロ秒) 内で応答するフィードバック系である。

JLCのXバンドリニアックで100MeV/mの高電界加速を実現する為に、SLED-II等のRFパルス圧縮技術の開発も検討しており、この技術のためには高速のRF位相反転技術が重要である。また以上のような要求に基づいてSバンド(2.856GHz)、Xバンド(11.424GHz)の多くの低電力RFコンポーネントを開発している。

高速のRFフィードバックシステムを構築するためには、一般的にRFの電力や位相を高速可変できるダイオードデバイスを使用せざるを得ない。しかしこのようなデバイスは100mW以下のRF電力容量が多く、それによるシステム設計に多くの制限がある。このために大電力クライストロンをドライブするRF電力を作るために、ミリワット程度から数百ワット程度まで増幅する前置増幅器が必要である。

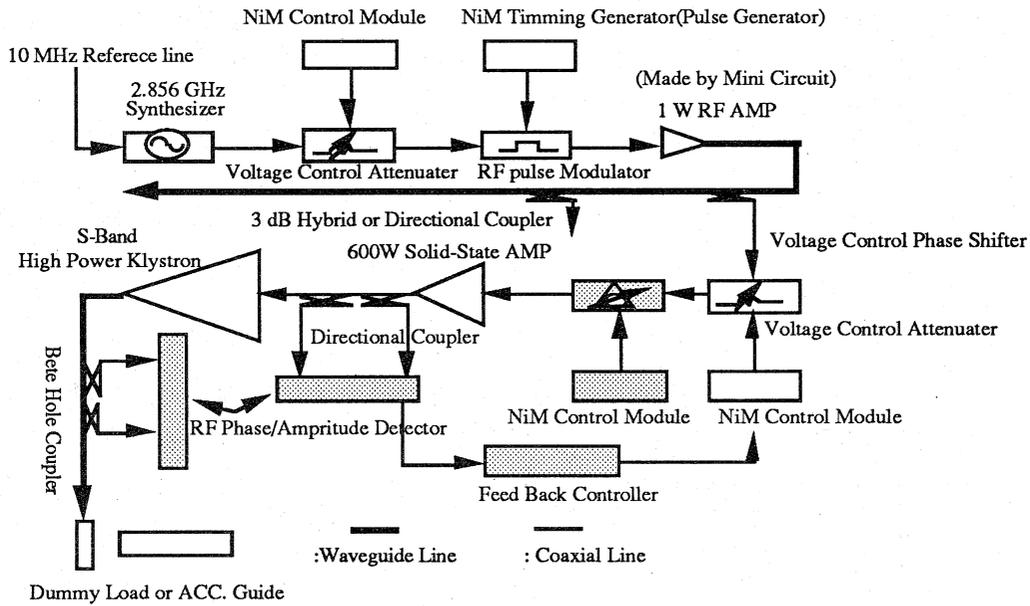
本報告ではこのような開発思想に基づいた、600Wの固体化によるSバンドRF電力増幅器やRF制御用の高速移相器、減衰器などの開発状況を述べる。

2、JLCの為の低電力RFシステムの概要

高速RFフィードバックシステムの低電力RFコンポーネントは、主にダイオードやトランジスターの固体化デバイスを使用している。現在まだシステム設計が進行中なことや世の中の技術レベルが急速に変化していることから、その基本的な構想はまだ固定されていないが図1にガイドラインとなるようなSバンドRFシステムのブロックダイアグラムを示す。

このシステムの特徴は、大電力クライストロンの為に600WのSバンド前置固体化増幅器を置くことにあり、また位相/電力等の制御がその前段にあるミリワットオーダーのRF電力で動作するバラクターダイオード移相器、PINダイオード減衰器、PINダイオード高速移相スイッチ (PSK-Phase Shifter) 等で行なわれるところにある。個々のコンポーネントは基本的に0-10V程度の電圧制御可能なものとして設計され

ており、パルス応答はフィードバック系への要求から数百ナノ秒以下になるように設計されている。さらにSバンドSLED等のRFパルス圧縮装置の仕様から、数十ナノ秒程度のパルス応答を持った位相反転回路（Xバンドの場合、数ナノ秒のパルス応答）も固体化増幅器前段に挿入される。

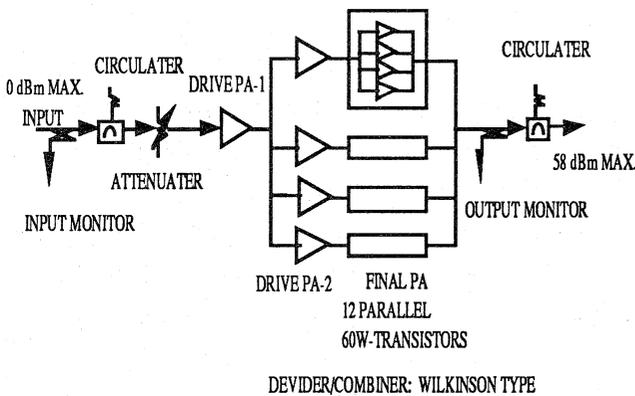


Driving System of the S-Band High Power Klystron

図 1

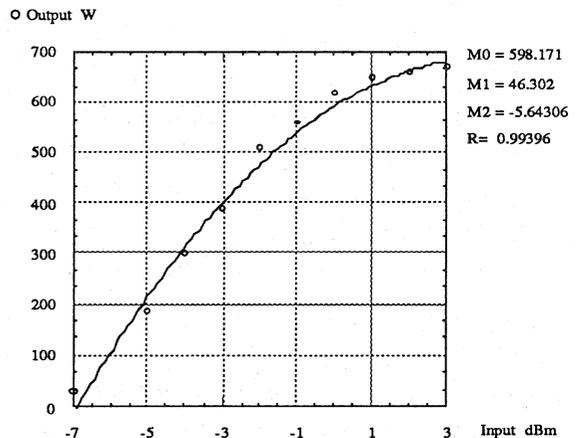
3、各低電力RFコンポーネント^{1),2),3)}

図 1 に示されるような高速のRF位相/電力フィードバックに必要な各コンポーネントおよび、その特性について次に説明する。NEC（日本電気）によって製作された600WのSバンド固体化増幅器は図 2 の様にドライブ段（初段及び4ユニット並列の第2段、A級）と16ユニット並列の最終段（C級）で構成されており、A-C級を採用することで入力を可変することにより出力を可変出来るようになった。この増幅器はパルスのフラットトップの平坦性およびパルス毎のRF電力の変動が3%以内になっており（600W出力時）、位相変動はフラットトップ内です±3度以内に入っている。また出力パルスの立ち上がり特性は150ナノ秒程度を実現しており、入力位相の変化に対しても同等以上のパルス応答を有する。図 3 にこの固体化増幅器の入/出力特性を示す。



Block Diagram of the 600 W S-Band Solid-State Amplifier

図 2

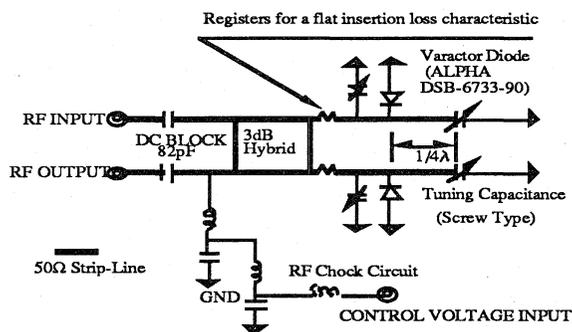


Input/Output Characteristic of the 600W S-Band Amplifier

図 3

以上の増幅器の性能を生かす高速の位相フィードバックのためには、バラクターダイオードを使用した高速移相器が重要である。現在それは開発段階で図4にその回路図を示す。この移相器は0-10V程度の電圧により制御され、数百ナノ秒以下のパルス応答を有する設計に成っている。直線性の良好な高速RF減衰器もまた、高速RF電力フィードバックに対して非常に重要である。そのための10ナノ秒程度のパルス応答を持ったRF減衰器がすでに開発済みであり、0-5Vの制御電圧に対してその減衰量が-50dBから0dBまで変化し、直線特性からの誤差が1%程度になっている。図5にDBMを利用したその回路のブロックダイアグラムを示し、図6にそのパルス応答を示す。

高速の位相反転回路は現在開発中で、その回路を図7に示す。位相反転はPINダイオードのオン/オフにより、RF信号の反射端を変化させることを行なう。このような回路はPINダイオードの切り替え速度で位相反転速度が決定される。現在Sバンド用の回路は数十ナノ秒の位相反転速度を持つように設計され製作中で、またXバンド用は数ナノ秒のパルス応答を持ったPINダイオードを使用して、回路の開発を既に終了した。



180 deg. Varactor Diode Phase Shifter Circuit

図4

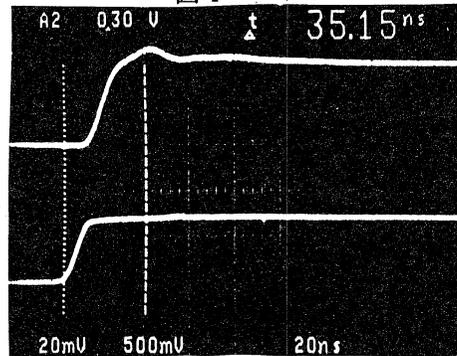
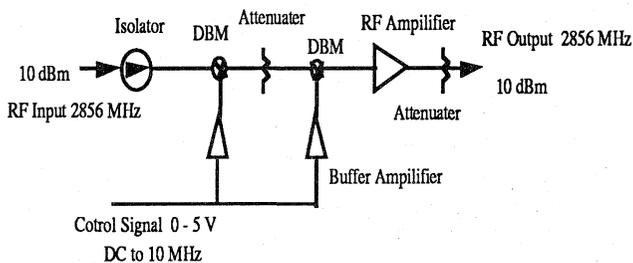
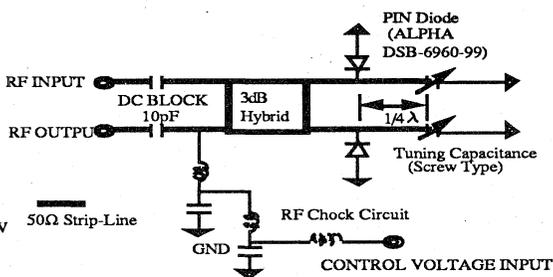


図6



Block Diagram of the Fast Attenuator

図5



180 deg. PIN Diode Phase Switch Circuit

図7

4、結論

600WのSバンド固体化増幅器を始めとする低電力RFコンポーネントの開発は、順調に進んでいる。特に大電力クライストロンの出力パルス内で数マイクロ秒の位相/電力フィードバックを実現するために、個々のコンポーネントのパルス応答も数十ナノ秒程度まで高められている。これはRF電力をミリワット程度から数百ワット程度まで増幅する固体化増幅器の成功によって、高速に応答するダイオードデバイスを移相器/減衰器等の為に使用できるようになったからである。今後はノイズ等の影響が一番心配されるので、十分に考慮してシステム設計およびその構築をしなければならない。

参考文献

- 1) Heinz D. Schwarz, "Computer Control of RF at SLAC," SLAC-PUB-3600, March 1985.
- 2) Heinz D. Schwarz, "Linear Electric Phase Shifter Design," SLAC-PEP-NOTE 283, November 1979.
- 3) J. D. Fox et al, "Phase and Amplitude Detection System for the Stanford Linear Accelerator," SLAC-PUB-3071, March 1983.