

ALL SOLID STATE RF POWER AMPLIFIER FOR SINGLE CELL LINAC

Z.IGARASHI, E.TAKASAKI and Y.MORI *

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

* INS: Institute for Nuclear Study, Univ. of Tokyo
Midori-cho, Tanashi-shi, Tokyo, 188, Japan

Abstract

All solid state rf power amplifiers are requested to drive the post linac which consists of 5 single cells for accelerating the various ion beams to the same momentum as that of proton beam to inject alternately in booster synchrotron of KEK-PS. This paper presents the developments of this amplifier.

シングルセル型ライナック用全固体化RF電力増幅器

1. はじめに

KEK-PSでは陽子ビームに加え重水素や α ビームも加速¹⁾されるようになったが、これらイオンビームの、ライナック加速後での運動量が陽子ビームと異なるため、次段の加速器であるブースターシンクロトロンへの入射は磁場を変えて行っている。しかし、このシンクロトロンの電磁石電源は共振型で入射磁場を瞬時的に変えることが出来ないため、陽子ビームと他のイオンビームの同時加速運転(パルス毎に加速ビームを変える)は不可能である。そこで新たに追加速装置として、現在のライナックの2倍の周波数で液体窒素冷却されるシングルセルを5連(当面は2連)としたライナックの開発を進めている。RF源として出力5kW, 周波数402MHzのものセル数だけ必要となるが信頼性や安定性を考慮し、全固体式として、開発を進めてる。

2. トランジスターおよび全体構成

現在、入手可能なものの中で周波数402MHzにおいて最大の出力が得られるのはSGSトムソン社のSD1565²⁾であり、C級動作でパルス出力500W以上が可能である。このトランジスター(TR)は同一のフランジ上に2個のTRチップをマウントした、いわゆるジェミニパッケージ構造となっており、プッシュプル回路で動作させる。図1にこのTRのとコレクタ電圧に対する出力特性を示す。

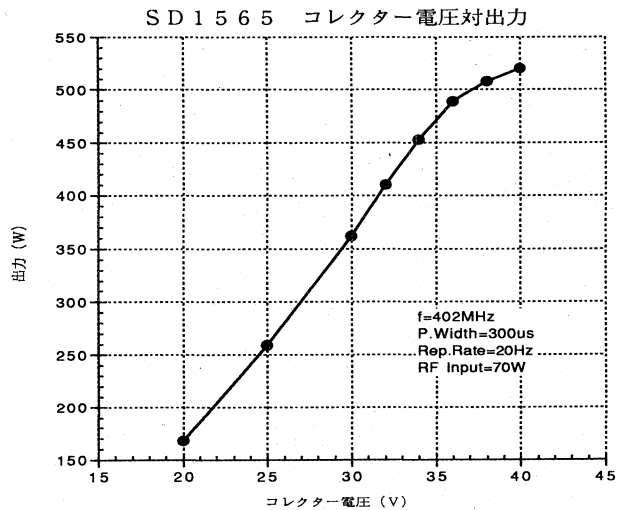


図1 SD1565の出力特性

このトランジスターはC級動作のため多段に接続した場合リニアリティは期待出来ないため図2のように2台の増幅器モジュールの位相を変えることにより出力レベルを変える方式を取ることにした。この方法では各増幅段をC級で動作させるためベースバイアス回路等が不要となり、また無線機用のハイブリッドICが使用できる等のメリットがある。

3. 増幅器モジュール

図3および4にこのモジュールのブロック図と写真を示す。RF入力は20mWでモジュール間の位相をそろえるためのフェーズシフターがあり、初段

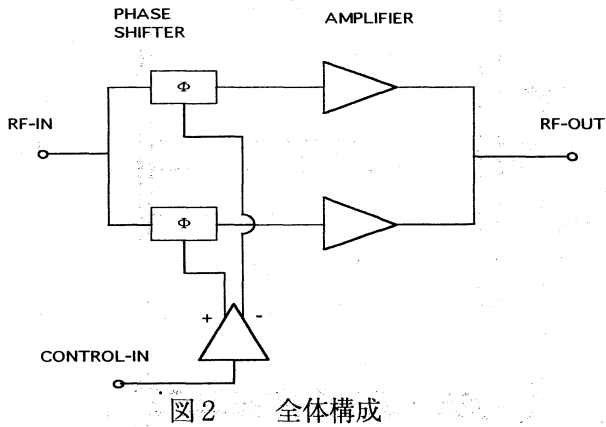


図2 全体構成

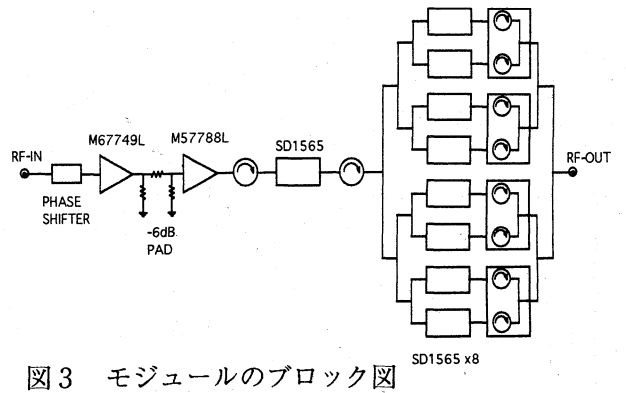


図3 モジュールのブロック図

および第2段はICでそれぞれM67749L、M57788L(共に三菱電機製)³⁾である。初段のM67749Lは本来12.5Vで使用されるがここでは5.0Vで使用し、約2Wの出力を得ている。

第2段のM57788Lは最大で90W出力する。また初段と第2段の間にレベル調整のため6dBアッテネーターが入る。第3段はSD1565で約500Wを出力する。第3段の入出力にはアイソレーターが入る。アイソレーターはTDK社製CU44RA型とCU48RA型で挿入損失0.5dB、アイソレーション25dBである。

第3段の出力は図5に示す様な8分配器で8分割される。これはウィルキンソン型の2分配器を7つ使用したもので、入力VSWR ≤ 1.10 、挿入損失 ≤ 0.5 dB、出力ポート間の位相差 $\leq 2.5^\circ$ である。

最終段は8個のSD1565を並列動作させているが、まず2個ずつのSD1565の出力をアイソレーター付2合成器で合成しさら4合成器を通して最終出力を得ている。

アイソレーター付2合成器はTDK社製CS48型で挿入損失 ≤ 0.4 dB、アイソレーション ≥ 20 dBで、1つのアイソレーターの出力を100 Ω に整合させ、2つ合わせて50 Ω になる様にしたものである。

4合成器は2合成器を3つ組み合わせたもので、2合成器は入力信号を50 Ω のまま合成し25 Ω とし、 $\lambda/4$ 長のトランスフォーマでインピーダンス変換して50 Ω にしている。

この4合成器は挿入損失 ≤ 0.12 dB、入力VSWR ≤ 1.20 である。図6にこの合成器を示す。

本回路においては比較的大きなRF電力を扱うのでテフロン基板(R4737型:松下電工製)を用

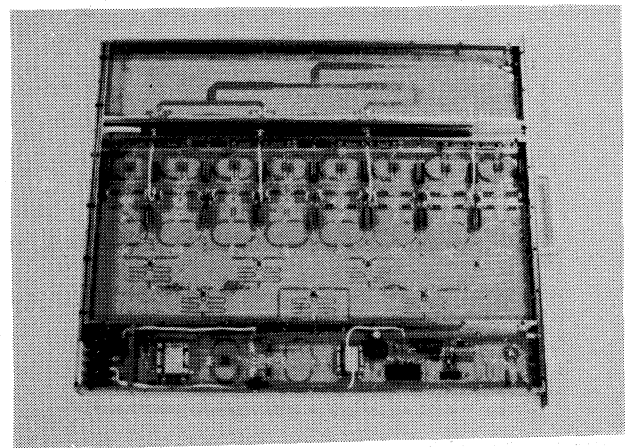


図4 モジュールの写真

い、4合成器では板厚3.2mm、その他は1.6mmのものを使用した。

図7にこのモジュールのコレクター電圧に対する出力特性を、図8および9に3kW出力時の検波波形と位相波形を示す。

4. 2合成器

この合成器も前述の4合成器と同じ $\lambda/4$ 長のトランスフォーマでインピーダンス変換する型のものである。しかし最も大きな電力を取り扱うのでプリント基板は用いず、図10の様に銅板でストリップライン⁴⁾を形成したものを現在、制作中である。

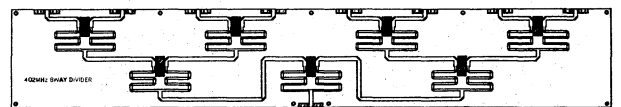


図5 8分配器

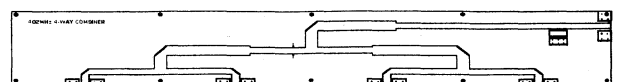


図6 4合成器

402MHzアンブ コレクター電圧対出力特性

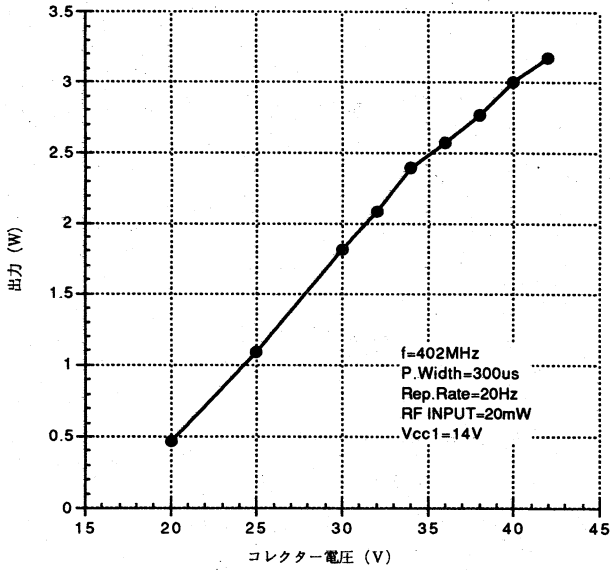


図7 増幅器モジュールの出力特性

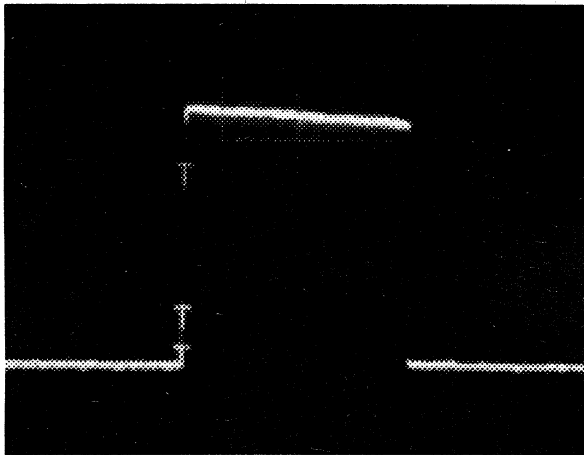


図8 3 kW出力時の検波波形
($100\mu\text{s}/\text{div}$)

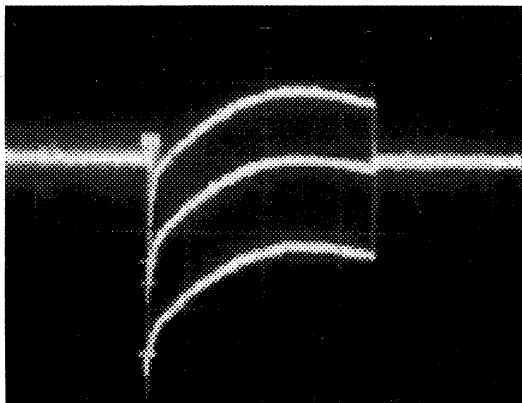


図9 位相波形(トロンボーンにて電気長を
20mmずつ変えて重ね撮り
約 $10^\circ/\text{div}$
 $100\mu\text{s}/\text{div}$)

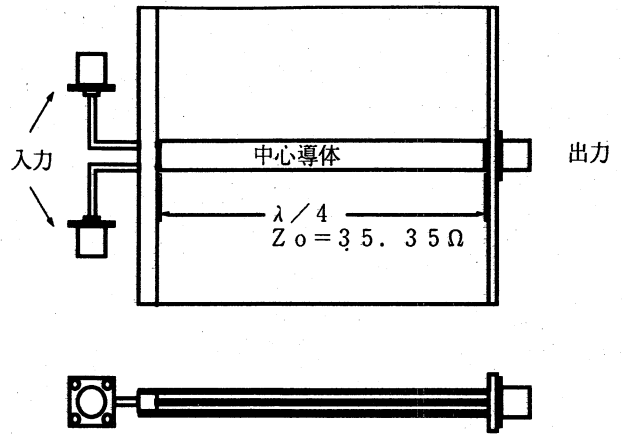


図10 2合成器

5. むすび

本増幅器を構成する増幅器モジュールを制作し出力3 kWを得た。モジュール2台で目標の5 kWは可能であるが伝送損失等を考慮すると7~8 kWは必要と思われる。今後は最終段のTRの位相合わせを十分行うことやコレクタ電源の配線を太くし電圧降下を極力抑える様にして改善を図りたい。また図9に示す様に出力パルス内で約 20° の変動がみられる。これは使用TRのSD1565によるもので、とくに第3段と最終段の2段接続としているためと思われる。第3段のTRを2個、並列動作とし1個当たりの出力を減らすことにより位相変動も小さく出来るのでやってみたい。

参考文献

- 1) K.Ikegami " α Beam Acceleration in the KEK PS Injector", Proc.of this meeting.
- 2) SGS-THOMSON "RF & MICROWAVE COMPONENTS" DATA BOOK.
- 3) MITSUBISHI ELECTRIC "RF POWER SEMICONDUCTORS" DATA BOOK.
- 4) G.L.Matthae, et al., "Microwave filters, impedance matching and networks, and coupling structures", McGraw Hill (1964).