

[12P-23]

RF CHARACTERISTICS OF 324MHZ 10KW RF PULSE AMPLIFIER

Seiya Yamaguchi^{*)}, Takao Kato and Syuichi Ishiguro^{a)}

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaragi, 305-0801 JAPAN

a) NEC Corporation
1-10 Nisshincyo, Fuchu, Tokyo 183-8501 JAPAN

Abstract

As a power source for buncher cavity of high intensity proton linac, a 10kW transistor pulse amplifier was manufactured and tested. Rf characteristics such as frequency response, phase flatness in a pulse and long-term stability of amplitude and phase were measured. Rise and fall time of the pulse was also measured for pulse structure of chopper cavity.

324MHz 10kW 高周波パルス増幅器の高周波特性

1. はじめに

原子核・素粒子物理，中性子科学，ミューオン科学等の最先端の研究を行なうことを目的とする大強度陽子加速器の開発が，高エネルギー加速器研究機構と日本原子力研究所の統合計画として進められている[1]。大強度陽子加速器の最上流に位置する陽子線型加速器の3MeV ビームラインでは，高周波四重極空洞とドリフトチューブリニアック(DTL)の間にバンチャー空洞2台とチョッパー空洞2台が置かれ，それぞれDTLの入射効率の改善，後続の3GeV リングへの入射のためのチョップドビームの生成に用いられる[2,3]。これらの空洞はすべて324MHzの高周波空洞であり，所要電力はバンチャー用が10kW，チョッパー用が20kWである。バンチャー用とチョッパー用の高周波増幅器に要求される特性の中で最も大きく異なるのはパルスの立上がり特性であり，チョッパー用の早い(10ns以下)立上がり特性を得る為には今後の開発が必要である。昨年度，バンチャー空洞用の10kW高周波パルス増幅器を製作したが，そこではチョッパー用増幅器のための早い立上がり特性実現に目処をつけることを目的の一つとした。

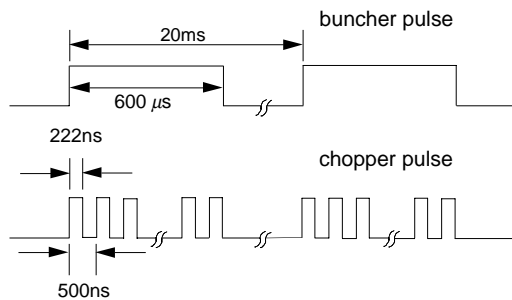


図1 チョッパー用およびバンチャー用パルスのパルス構造。

*) S. Yamaguchi, 0298-64-5693,
Seiya.Yamaguchi@kek.jp

本稿ではチョッパー用とバンチャー用の2種類のパルス構造(図1参照)に対するパルス増幅器の高周波特性の測定結果について報告する。

2. 電氣的仕様

本増幅器はトランジスタ電力増幅器を10台並列合成したもので，電氣的特性は表1に示す通りである。概観の写真を図2に示す。

表1 10kW高周波パルス増幅器の電氣的仕様。

方式	全固体化 B級または AB級増幅器
周波数	324.0±5MHz
出力電力	10kW(ピーク)
出力インピーダンス	50Ω
入力パルス構造	チョッパー用：パルス幅 222ns, 休み 278ns, 長さ 600μs, バンチャー用：パルス幅 600μs
パルス立上がり/立下がり時間	20ns 以下
パルス内位相平坦度	±1.5° 以下
パルス繰返し	1-50Hz 可変
オーバーシュート/アンダーシュート	±5%以下
パルス毎の電力および位相変動	電力 ±1.5%以下 位相 ±1.5° 以下
高調波(2倍)	-60dB
出力接栓	WX-77D 同軸管
出力モニター	結合度 50dB
使用環境温度	27±2°C
冷却方式	強制空冷式



図2 10kW,324MHz 高周波パルス増幅器の写真.

3. 高周波特性

3.1 測定系

チョッパー用とバンチャー用の高周波源はパルス構造が異なるので励振系および測定系は図3に示すように別のものを用いた.

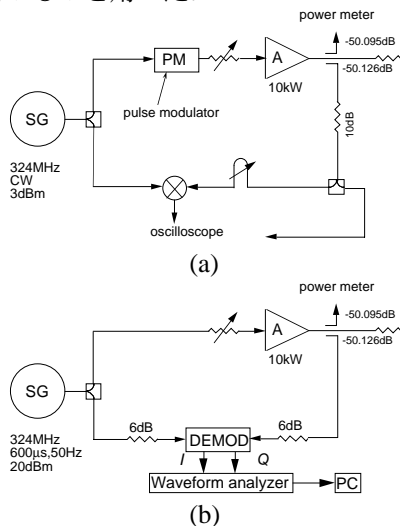


図3 10kW 高周波増幅器用励振系および測定系.
(a)チョッパー用, (b)バンチャー用.

(a)ではミキサーを用い, (b)ではIQ デモジュレータを用いたのは, (b)はADCとデータ処理に時間がかかるのでパルスの早い立ち上がりの測定ができないからであり, (a)は長いパルス(600 μ s)では位相のパルス内平坦度が $\pm 10^\circ$ 近くに達しミキサーの線形領域から外れてしまうためである.

3.2 入出力特性

高周波電力の入出力特性を図4に示す. チョッパー用パルスとバンチャー用パルスに対して測定したが, 両者とも約11dBmの入力で70dBm(10kW)の出力が得られている.

3.3 周波数特性

出力電力の周波数特性を図5に示す. チョッパー

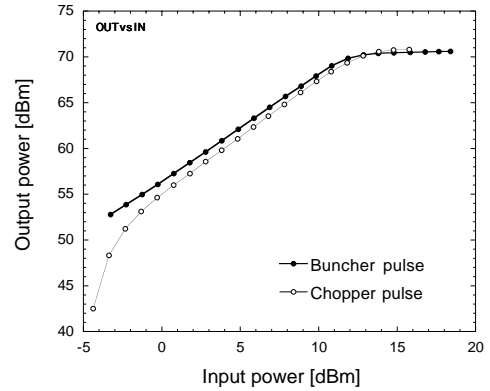


図4 高周波電力の入出力特性.

用パルス, バンチャー用パルスともに 324 ± 5 MHz の範囲で ± 1 dB 以下の範囲におさまっている.

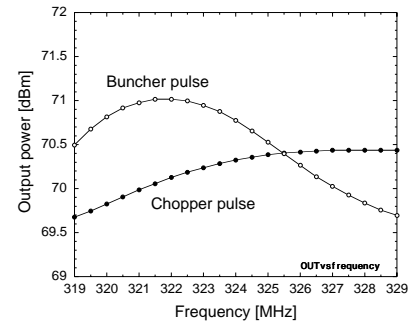


図5 出力電力の周波数依存性.

3-4 パルスの立ち上がり立ち下がり特性

入力パルスおよび出力パルスの立ち上がり立ち下がり特性を図6に示す. 入力パルスは立ち上がり立ち下がりともに約10nsであるが, 出力パルスのそれらは立ち上がりが20ns, 立ち下がりが30nsであった.

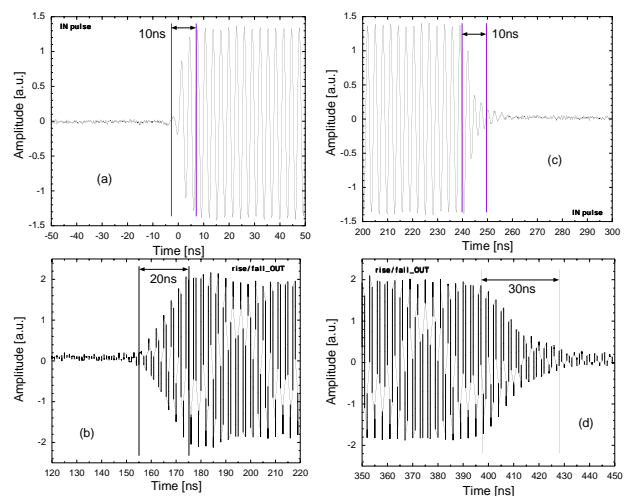


図6 パルスの立ち上がり立ち下がり特性. (a)入力の立ち上がり, (b)出力の立ち上がり, (c)入力の立ち下がり, (d)出力の立ち下がり.

3.5 オーバーシュート, アンダーシュート

オーバーシュートおよびアンダーシュートは図 6 からわかるように $\pm 5\%$ 以下におさまっている。

3.6 パルス内の位相の平坦度

パルス内の位相の測定は 3.1 で述べたようにチョッパ用パルスについてはミキサーで、バンチャー用パルスについては I/Q デモジュレータで測定した。測定結果を図 7 に示す。チョッパ用パルスに対しては、出力電力 10kW まで立上がり立ち下がり時間の数 10ns を除いて $\pm 1.5^\circ$ 以下であるが、バンチャー用パルスに対しては出力電力が増えるにつれて位相の平坦度は悪化してゆき 10kW では $\pm 8^\circ$ に達している。図 8 は出力電力とパルス内位相平坦度の関係を示したものである。出力電力が 5kW 以上になると急激に位相平坦度が悪くなるのでフィードバック制御が必要である。

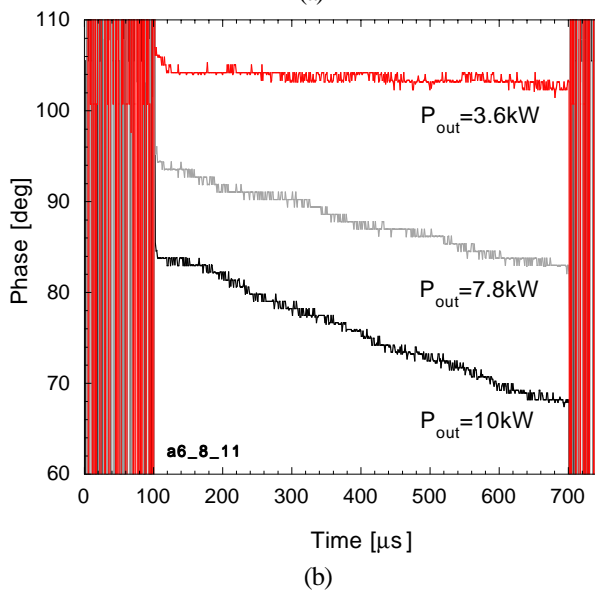
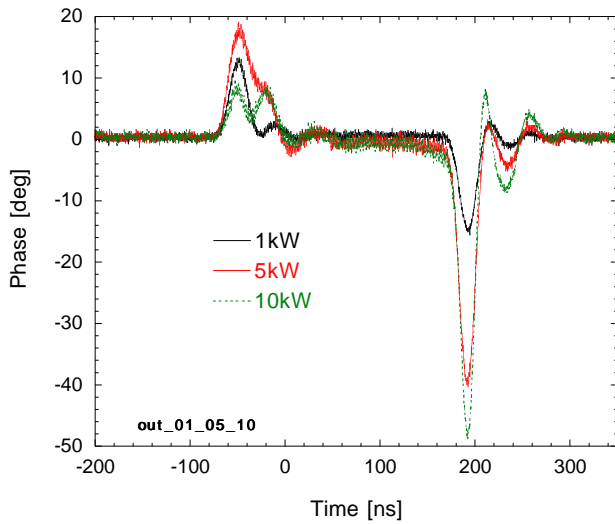


図 7 パルス内位相平坦度. (a)チョッパ用パルス, (b)バンチャー用パルス.

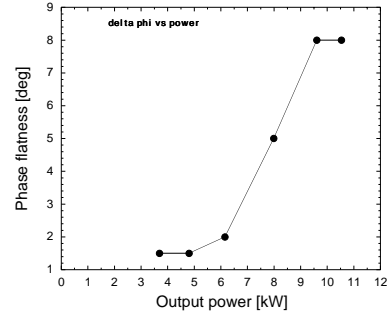


図 8 出力電力とパルス内位相平坦度の関係(バンチャー用パルス).

3.7 振幅, 位相の長時間変動

出力電力の振幅および位相の長時間(12 時間)変動を測定した(バンチャー用パルスに対してのみ, パルス幅 600 μ s, 繰返し 10Hz). 測定結果を図 9 に示す. 温度は筐体内部のパワーアンプ近傍に設置したサーミスタによりモニターした。

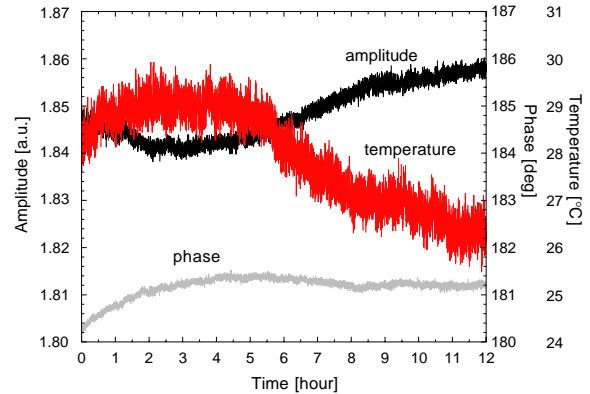


図 9 振幅, 位相の長時間変動.

温度, 振幅, 位相の変動は, それぞれ $\pm 0.5^\circ\text{C}$, $\pm 0.5\%$, $\pm 0.6^\circ$ であった. 振幅, 位相ともにフィードバック制御による変動の低減が必要である。

4. まとめ

バンチャー空洞用 324MHz10kW の高周波パルス増幅器を製作し, 高周波特性を測定した. また, チョッパ用増幅器としての特性評価も行った. 表 1 に掲げた仕様は満たしているが, バンチャー用パルスにたいしてはパルス内およびパルス間の振幅・位相フィードバックが必要であること, チョッパ用パルスに対しては, 立上がり立ち下がり時間を現在の値(20ns)の半分以下にする必要があることが示された。

参考文献

- [1] “大強度陽子加速器計画”, KEK Report 99-5, JAERI-Tech 2000-003, JHF-99-4.
- [2] T. Kato and S. Fu, “MEBT Design for the JHF 200MeV Proton Linac”, Proc. 19th Int'l Linac Conf. Chicago, August 23-28, 1998, pp.70-72.
- [3] S. Fu and T. Kato, Nucl. Instr. Meth. A440 (2000), pp.296-306.