

{F17p01}

# THE CHARACTERISTICS OF S-BAND 200W TRANSISTOR AMP

T.Ohnishi, T.Hori, T.Asaka and H.Yokomizo

JASRI

SPring-8, Mikazuki-cho, Sayo-gun, Hyougo, 678-5198

## Abstract

We had used the TWT AMP as driver amplifier for the Booster Klystron(MELCO PV2012) in SPring-8 Linac. But the output power and phase of TWT AMP was very sensitive to drift of power supply. Since the output power and phase drift of TWT AMP influence of the Booster Klystron and the each 80MW Klystrons(TOSHIBA E3712), the beam energy is changed. We replace TWT AMP with transistor amplifier which has the saving power and temperature control plate in order to reduce of the room temperature dependence.

In this paper, we report of the measurement system and measurement results about new transistor amplifier (Model:PRFA-S201B S/N:209154 made by NIHON KOSHUHA CO.LTD.) as driver amplifier for the Booster Klystron.

## Sバンド200W半導体増幅器のRF特性

### 1.はじめに

SPring-8 線型加速器ではブースタークライストロン(MELCO PV2012)用ドライバ増幅器としてTWT AMP(Logimetrics A500/S)を使用していた。しかし、商用電力変動に対して出力電力及び位相が影響を受けその結果ブースタークライストロン並びに80MWクライストロン(TOSHIBA E3712)の出力電力に影響を与えていた。そこでTWT AMPの代替品として省電力で動作し温調プレートにより周囲温度による位相変化を押さえた半導体増幅器を購入することとした。

このレポートではブースタークライストロン用ドライバ増幅器として購入した半導体増幅器(日本高周波(株)製 PRFA-S201B S/N209154)の受入検査時に行った測定内容及びその測定系について述べる。

### 2. 半導体増幅器の仕様

表.1 にブースタークライストロン用ドライバ増幅器購入時の仕様を示す。ここでパルス内振幅変化は1パルス内のパルス平坦部における電力の変動量、パルス内位相変化は1パルス内のパルス平坦部における位相の変動量をあらわす。ただしパルス内振幅変化およびパルス内位相変化の測定以外の項目は1パルス内のパルス平坦部を平均したものを測定値とした。

### 3. 測定系

#### 3-1. 構成

測定系の構成を図.1 に示す。マスターオシレータより出力された2856MHzのRFはパルスモジュレータ(PINモジュレータ Narda SPST S213D-04)にてパルス変調された後、入力電力及び位相測定用の方向性結合器(D.C)2台を経由し半導体増幅器へ入力される。増幅器内で増幅されたRFは出力信号測定用のD.C2台を通過後、減衰器で終端される。

表.1 半導体増幅器の仕様

使用条件
周波数:2856MHz
RFパルス繰り返し最大:100pps
RFパルス幅最大:5 $\mu$ sec
性能
出力電力:200Wpeak以上
利得:50dB以上
パルス内振幅変化: $\pm 0.25$ dB(製造元未測定)
パルス内位相変化: $\pm 3$ deg以内(パルス前後10%除く)
連続動作時
の振幅変化: $\pm 0.25$ dB(8時間連続)
連続動作時
の位相変化: $\pm 3$ deg(8時間連続, 製造元未測定)
単位温度あたり
の位相変化率: $\pm 1$ deg/ $^{\circ}$ C(目標は $\pm 0.25$ deg/ $^{\circ}$ C, 製造元未測定)

入出力電力測定は増幅器の前後に取り付けたD.CからのRFをパワーセンサを介しピークパワーアナライザ(HP8990A)で計測する。この測定器の分解能はフルスケールの0.4%、測定精度は3.6%のエラーを含む。

位相測定は位相測定用のD.C2台からのRF信号をフェーズディスクリミネータに入力し、この出力パルス電圧をオシロスコープ(Tektronix TDS420A)で計測した。この測定系の分解能は0.2deg、測定精度は $\pm 1.8$ degのエラーを含む。

環境温度測定は測温抵抗体(分解能:0.1 $^{\circ}$ C)を使用しペンレコーダ(Ykogawa LR4210)で計測した。

これらの測定データをGP-IB経由でデータ収集が可能なよう計算機システムの構築も行った。

### 3-2. フェーズディスキリミネータ

位相を比較するコンポーネントには anaren 社 2A0756 を採用した。このコンポーネントは RFA と RFB の 2 入力端子を持ち RFA (位相 $\angle a$ ) と RFB (位相 $\angle b$ ) の位相差  $\theta$  ( $\angle a - \angle b$ ) をベクトル分解し I/Q 2 のポートに電圧として出力するものである。I/Q より出力された電圧をそれぞれ  $V_I$   $V_Q$  とし、入力 RF 電力に比例した任意の値を  $k$  とすると  $\theta$ ,  $V_I$ ,  $V_Q$ ,  $k$  の関係は以下の式で表される。

$$V_I = k \cos \theta \quad V_Q = k \sin \theta$$

$$\theta = \tan^{-1} V_Q / V_I$$

anaren 社 2A0756 より出力された  $V_I$   $V_Q$  をオシロスコープに入力しオシロスコープ波形から I/Q の電圧値を計算機に取り込み上記の計算式により位相値を求めた。

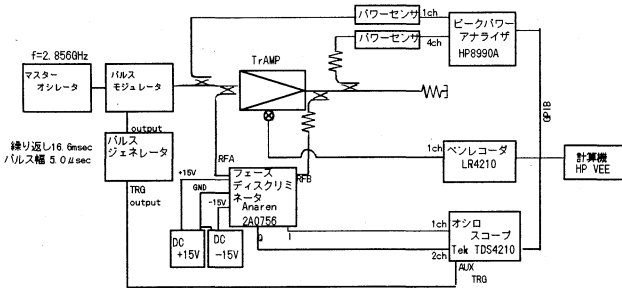


図.1 測定系

## 4. 性能測定

### 4-1. 入出力電力特性

図.2 に入力電力を  $-6 \sim +10$  dBm 間で変化させたときに得られた半導体増幅器の出力電力と利得を表す。

出力電力は  $+5$  dBm 入力時に最大 230W が得られ仕様値の 200W を上回るデータが得られた。なおこの入力電力以上では、オーバードライブ領域となる。

最大利得は  $-2$  dBm 入力時で 53dB が得られ、実際に使用する出力飽和領域レベル ( $+3 \sim +6$  dBm) では 45 $\sim$ 50dB の利得を有する。

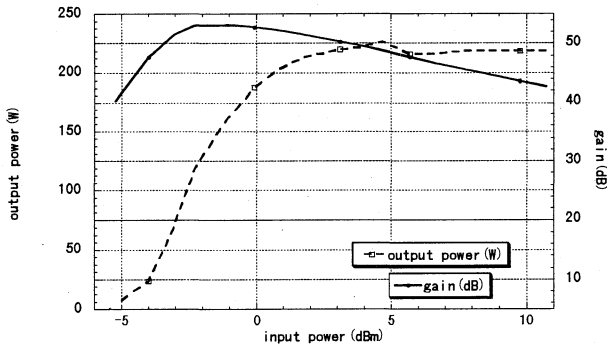


図.2 入出力電力特性

### 4-2. パルス内振幅変化

図.3 にパルス内振幅変化の測定結果を示す。この測定は入力電力を  $+3 \sim +6$  dBm 変化し、この時の出力電力波形の変化をピークパワーアナライザを用い計測した。パルス平坦部のリップルを含みサグを正確に測定するた

め、20nsec ステップ毎に 500 ポイントのデータを収集した。

結果、立ち上がりのオーバーシュートを含め  $+3 \sim +5$  dBm の入力レベル内では  $\pm 0.15$  dB 以下の優れた特性を持つことを確認した。なお、 $+6$  dBm ではパルス先頭から  $1 \mu$  sec 後に 0.2dB 程度の増幅ひずみが生じているデータも得られた。この増幅器は最終段にて 4 分配した RF を 4 つのトランジスタを使用して並列に増幅した後、電力合成し RF を出力する仕組みになっている。個々のトランジスタの飽和レベルの違いから最大出力電力近くなると電力合成部にて位相差が生じ、結果として合成時の若干の位相不整合から増幅ひずみを生じさせていると考えられる。対策としてはトランジスタ単体での性能評価を行い、特性が似通ったトランジスタを選別し増幅器に使用することがあげられる。

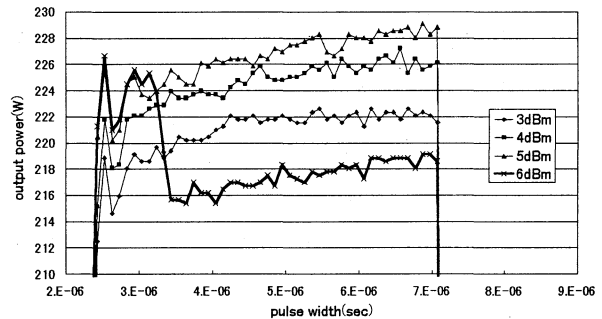


図.3 パルス内振幅特性

### 4-3. パルス内位相変化

上記のパルス内振幅変化測定と同様に、入力電力を  $+3 \sim +6$  dBm 変化したときに得られるフェーズディスキリミネータからの I/Q 出力波形の全データを計算機で取り込み、3-2. で示した電圧を位相に変換する計算式を用い位相を算出した。

結果、入力電力を  $+3 \sim +6$  dBm 変化したとき出力パルスの立ち上がり及び立ち下がり部の 10%を除くパルス平坦部の位相変化は、 $\pm 2$  deg.以内の良好なデータを得た。特に  $+3 \sim +5$  dBm の範囲内で、パルス立ち上がりから約  $1 \mu$  sec 以降の位相変化は  $\pm 1$  deg.以内の測定限界値以下の性能を有している。

$+6$  dBm 入力の場合、増幅ひずみに対応した約 0.6deg. の位相変化が生じている。この影響から  $\pm 1$  deg. 以内の有効パルス幅は、 $+3 \sim +5$  dBm の時と比較して  $1 \mu$  sec 程度短くなっており、パルス立ち上がり時間から約  $2 \mu$  sec 必要である。

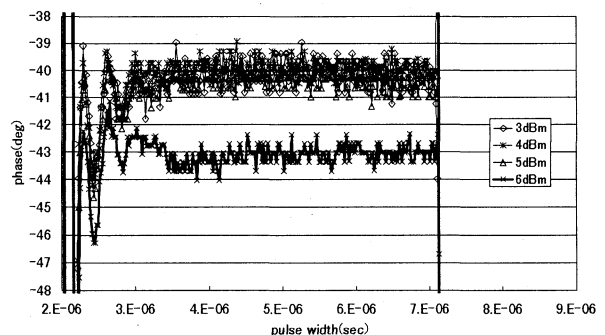


図.4 パルス内位相特性

#### 4-4. 連続運転時の出力振幅および位相ドリフト

本増幅器を8時間連続で動作したときの出力パルス振幅及び位相のドリフト測定を行った。測定系の周囲温度変化に対するドリフトが測定結果に影響を与えないよう測定室内の室温を一定に保った環境下で測定を行った。出力パルス平坦部内の250ポイントの平均値をデータ点とし6秒ごとに一回読み込み、合計2000ポイント連続してデータ収集を行った。この時の測定結果を図.5に示す。

振幅及び位相ドリフトは $\pm 0.1\text{dB}$ 、 $\pm 0.3\text{deg}$ 以下のデータが得られ周囲温度が一定の場合、長時間に渡って安定に動作することを確認した。

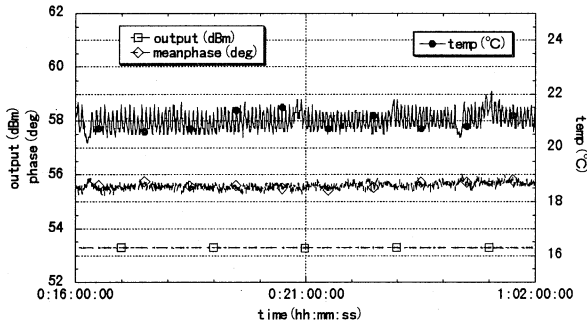


図.5 連続動作時の振幅及び位相変化

#### 4-5. 出力位相の温度特性試験

半導体増幅器のみを恒温槽へ設置し試験を行うシステムが構築できなかったため、測定系の周囲温度変化に対する位相ドリフトを測定後、出力位相の周囲温度特性試験を行った。図.6-1、6-2に周囲温度を4°C変化させたときに得られた測定系のみ位相変化と出力位相の変化を示す。周囲温度が1°C変化したときの各々の位相変化を温度位相変化率とすると2つのグラフより両者とも $0.16\text{deg}/^\circ\text{C}$ と算出された。

通常増幅段に使用しているトランジスタの接合部が1°C変化した場合、出力位相は1deg変化する。これを解決するため、増幅器本体を恒温槽内に設置する方法などで温度管理を行い、出力位相を安定化する方法が通常用いられている。我々は恒温槽を設置するスペースや恒温槽の霜対策などを考慮し、トランジスタを温調されたシートの上に配置する方式で出力位相の安定化を行った。メーカーの工場出荷時データでは環境温度が5°C変化した場合でも温調シート上の温度変化は1°C以内の性能を達成している。

今回の温度特性測定結果より、我々の温度管理方式は非常に効果的であり、半導体増幅器出力位相の温度依存性は生じていないことを確認した。

#### 5. まとめ

工場出荷時の測定値とSPring-8にて実測した結果を表.2に示す。工場出荷時に測定した項目の特性は正確に再現されている。工場出荷時に測定できなかった仕様に対しては今回の測定結果により十分に満足することがわかった。

性能測定では特に述べなかったが電源消費電力についてはTWTAMP使用時1600Wだったのが半導体増幅器

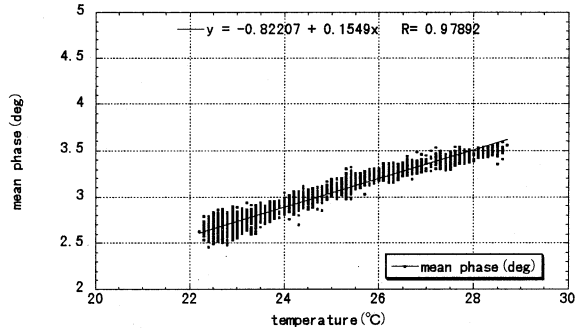


図.6-1 位相と環境温度の相関グラフ (測定系のみの場合)

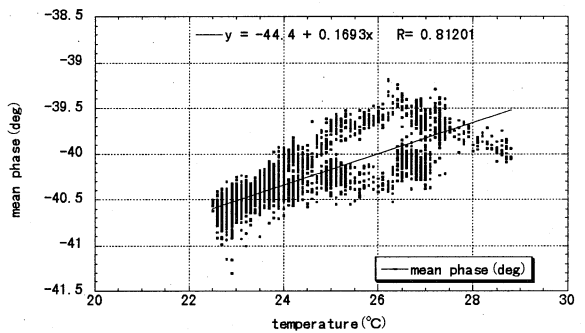


図.6-2 位相と環境温度の相関グラフ (半導体増幅器が稼働中の時)

表.2 工場出荷時との性能比較

	工場出荷時測定値	SPring-8 実測値
出力電力	: 220W(+3dBm 入力)	218.5W(+3dBm 入力)
利得	: 50.4dB(+3dBm 入力)	50.3dB(+3dBm 入力)
パルス内 位相変動	: 全幅 3.0deg	全幅 4.0deg
連続動作時 の振幅変化	: 全幅 0.10dB	全幅 0.14dB

に交換後は400Wと1/4に減少し電力供給不足も改善された。

SPring-8線型加速器ではこれらの測定結果をもとに①ビームとRFのタイミングをRFパルス平坦部の立ち上がりから約 $1\mu\text{sec}$ の時点で調整する②入力電力を+5dBm以下で動作させるの2点に留意し'98/3~'98/7の間実際に使用して見たところ特に問題なく動作している。

今後はこの測定経験を基に増幅器受入検査用自動測定系を立ち上げることで増幅器購入時の受入検査の迅速化、及び使用中増幅器の定期的な特性変化測定を行う予定である。

#### 6. 謝辞

今回の半導体増幅器の製作および測定にご尽力くださいました日本高周波株式会社の永塚 賢治様 及び関係者の皆様に深く感謝いたします。