

# S-Band 90W Solid-State RF-Amplifier Module of a 1 kW Amplifier for Driving a High Power Klystron

Yuji Otake

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

## Abstract

A S-band 90 W solid-state amplifier of a 1 kW amplifier was designed for driving a high power klystron. The parameters of the RF transistor circuit was calculated by the simulation program(TOUCH STONE) of a RF transmission line and the hand calculation. This amplifier module achieved 80 W RF power from the output with 17 W RF input. This 7 dB power amplitude gain is close to the value of the transistor data sheet. The value shows a good design of the circuit.

## Sバンド大電力クライストロン用1 kW 固体化高周波増幅器の為の 90 W増幅器モジュール

### 1、序論

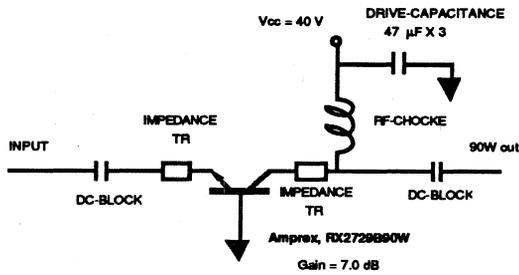
リニアコライダの様な性能を高度に追及される加速器では、それに見合った精度及び安定性を持った加速高周波のフィードバック系が必要とされる。

パルス高周波内での高速 ( $1\mu\text{s}$  以下)の高周波位相の制御を実現するためには、バラクターダイオード(可変容量ダイオード、パルス応答(約  $10\text{ns}$ ))を使用した移相器を使用せざるを得ない。この種のダイオードの高周波電力の容量は  $100\text{mW}$ 程度がせいぜいなので、大電力クライストロンをドライブするための高周波電力(約  $500\text{W}$ 以上)には程遠い。この為にダイオード移相器の後段に中間的な電力増幅器を置かねばならず、今までのようにサブプースタークライストロンを使用して、何本かの電力クライストロンをドライブすることが出来なくなる。現段階では寿命、安定性などを考慮すると、半導体を利用した高周波増幅器が最適と考えられる。

現在の高周波トランジスタの技術水準では、一つのトランジスタで得られる高周波電力は  $100\text{W}$ 程度で、ゲインが  $6-7\text{dB}$ である。このようなトランジスタを使って  $1\text{kW}$ 程度の高周波電力を作るためには、高周波電力の合成が不可欠であり、低損失の電力合成器の開発が必要である。この電力合成器はすでに開発済みでありその論文<sup>1)</sup>を参照してもらうこととして、本論文では  $1\text{kW}$ 程度の固体化増幅器に使用するトランジスタ増幅器モジュールの設計及び試験結果について述べる。

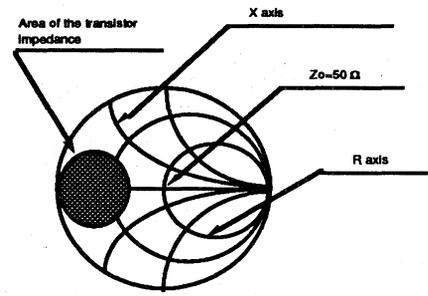
### 2、高周波増幅用のトランジスタとその基本的回路<sup>2)</sup>

今回使用した高周波トランジスタは Amprex社製のRX2729Bで、 $42\text{V}$ のバイアスに対して  $18\text{W}$ 程度の入力で  $90\text{W}$ の出力、約  $7\text{dB}$ の増幅度を持っている。また使用パルス幅は  $10\mu\text{s}$ 程度でVSWRが  $3:1$ である。近年の集積回路技術で開発されたこの種のトランジスタは、それ自身がたくさんのトランジスタの並列回路になっている。30個程度のトランジスタを1セルとし、8セル程度を1つのトランジスタパッケージに実装している。このトランジスタを使用したトランジスタモジュールの標準的な回路を図1に示す。図1に示すような大きな高周波電力の増幅器の場合、ベース接地の回路でC級増幅が一般的である。



Test Circuit for the RF Transistor(RX2729B90W)

図 1



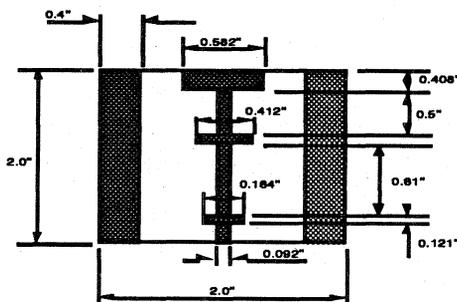
Typical transistor impedance area on the smith chart

図 2

大電力の高周波トランジスタの一番重要な特長は、入力及び出力のインピーダンスが低いことで、図 2 に示すような領域にある。このために効率の良い高周波電力増幅を行なうためには、通常の伝送ラインの  $50\Omega$  からトランジスタの入力及び出力インピーダンスへの変換が必要になってくる。図 1 中に示してある IMPEDANCE TR のような入力及び出力のインピーダンス変換トランスの善し悪しが、その回路の増幅度及び質を決定する。

### 3、入出力変換トランス

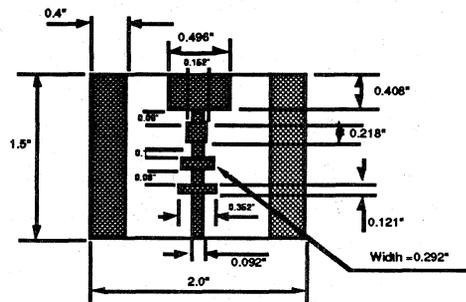
通常、高周波トランジスタの回路は、 $\tan\delta$  の低い  $\epsilon_r = 2.33$  の Duroid の様な基盤上に  $50\Omega$  系のストリップラインで形成され、また変換トランスも開放端を持ったラインスタブによって作られる。図 3 に製作したインピーダンス変換器を示す。



Material:  $\epsilon_r = 2.33$ , Duroid,  $h = 31$  mil

Unit: inches  
Copper Plane:

OUTPUT TRANSFORMER OF THE RF TRANSISTOR (RX2729B90W)



Material:  $\epsilon_r = 2.33$ , Duroid,  $h = 31$  mil

Unit: inches  
Copper plane:

INPUT TRANSFORMER OF THE RF TRANSISTOR (RX2729B90W)

図 3

伝送ラインのインピーダンスは一般的に以下の伝送方程式<sup>1)</sup>によって示される。

$$Z_{in}(d) = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta d}{Z_0 + jZ_L \tan \beta d}$$

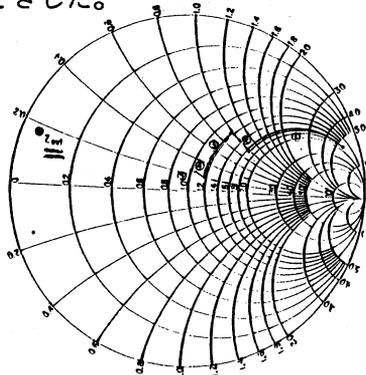
終端の  $Z_L$  のインピーダンスに開放の意味である無限大を代入し計算すると以下の式になる。

$$Z_{in} = -jZ_0 \cot \beta d$$

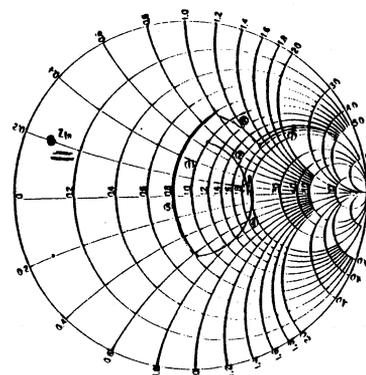
この計算式に従って、手計算によって計算したインピーダンスの変成を図 4 に示す。また図 4 のインピーダンスの変成には、ストリップラインのクロス部分の効果などが入っていないので、タッチストーンと言う高周波伝送解析プログラムによるシミュレーションを行なって、トランジスタの予想インピーダン

スの算出の正確をきした。

Output Impedance



Input Impedance



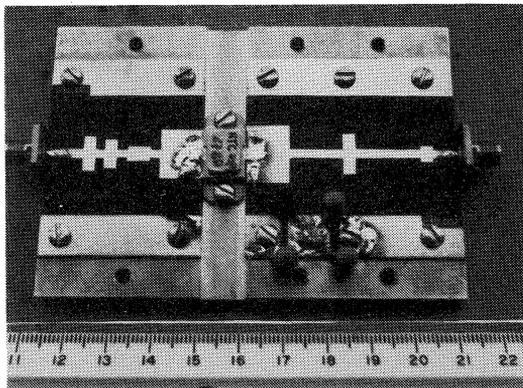
Input/output impedance of RX2729B with open end effects

図 4

#### 4、90W高周波増幅器

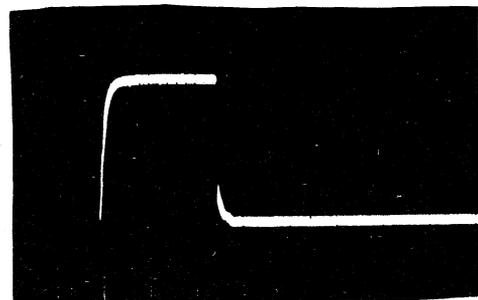
以上の基本的回路の設計とインピーダンス変換器の設計に従って製作した90W高周波増幅器を図5に示す。この回路はアルミベース上にDuroidの基板及びトランジスタが実装されている。また図6にバイアス電圧が35Vで入力20Wの時に、55Wの高周波出力が得られた写真を示す。

この回路で最終的に、バイアスが39V、入力が17.5Wで80Wの高周波出力が得られた。この時点の増幅度は6.6dBであり、トランジスタのデータシートに示される増幅度7dBに近い値であった。



Sバンド90W高周波増幅器

図 5



Vcc=35V, Input=20W, Output=55W  
sバンド90W高周波増幅器出力波形

図 6

#### 5、結論

今回製作した高周波トランジスタ用の変換トランスの場合、ほとんど再調整することなく上記の出力及び増幅度が得られた。このことは計算によるトランジスタの予想インピーダンスの値が正確だったことを示す。しかしトランジスタに加えるバイアスをデータシートが示す42Vまでもって行こうとした段階で、40V位でトランジスタが破壊してしまうことが2度もあった。また出力もそれゆえに80W程度が最高であった。もしもこのトランジスタの採用を考える場合、カタログ性能よりも低い値で使用しなければならないことを十分考えなければならない。

#### 参考文献

- 1) Yuji Otake et al., "CAVITY COMBINER FOR S-BAND SOLID-STATE AMPLIFIER FOR THE HIGH POWER KLYSTRON AT SLAC", SLAC-PUB-5179, (March 1990)
- 2) Guillermo Gonzalez, "Microwave Transistor Amplifiers" (PRINCE-HALL INC., Englewood Cliffs, N.J. 07632)