

High Power Characteristic Measurements of Resonant Ring

H.Tanaka*, S.Anami, Y.Saito, N.Matuda, T.Shidara, S.Fukuda,
H.Hanaki, H.Honma, K.Nakao and J.Tanaka

National Laboratory for High Energy Physics

* FUJITSU LABORATORIES LTD.

Abstract

A microwave power up to 300MW (2856MHz) was obtained in the resonant ring. The attenuation and reflection coefficient under high power operation were about 0.18dB, 0.018, respectively. The reduction of the reflected power in the ring and the present status of the system are described.

1. はじめに

最近の線型加速器では、数十MWを越える大電力マイクロ波が要求されるようになってきた。そこで種々のマイクロ波部品の耐電力試験を行うため、10~30MW程度のマイクロ波源(2856MHz)を用いて数十~200MW程度の実効的大電力マイクロ波を発生させる装置としてレゾナントリング¹⁾を製作した。その当初の特性については前回報告された²⁾が、今回は、実際に数十~300MWのマイクロ波を発生させその特性を調べたので、これらの結果と明らかになった問題点、現状について述べる。

2. レゾナントリングの特性

製作したレゾナントリングの構成をFig. 1に示す。この図においてクライストロンからのマイクロ波(電力 P_s)は、入力方向性結合器(電圧結合度 $C=0.29$)を通り、

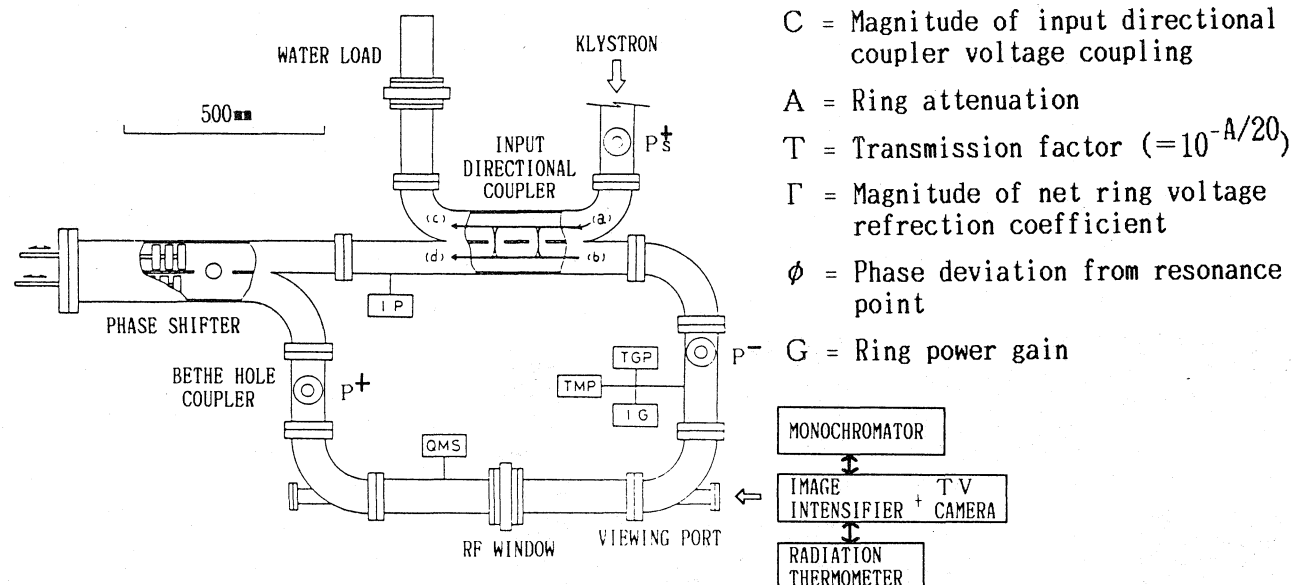


Fig. 1 Schematic diagram of the resonant ring system.

その一部がリングに入り周回する。移相器によってリングの電気長を調節し、引き続いてリングに入ってくるマイクロ波と同一位相（位相差 $\phi \rightarrow 0^\circ$ ）で次々と重ね合わせ共振させることにより、順方向に進むマイクロ波が大電力（電力 P^+ ）に成長する。このとき、電力利得 G （ $\equiv P^+/P_s^+$ ）は、リング一周での減衰量 A と反射係数 Γ により決まる。

また、リング内の反射物により発生した逆方向に進むマイクロ波は、順方向の場合と同様大電力（電力 P^- ）に成長する。そのとき、順逆電圧比 $\sqrt{P^-/P^+}$ （通常の場合での反射係数に相当）も G と同様 A と Γ により決まり、その値は Γ の約 G 倍に増大する。以上の関係を Fig. 2 に示す。

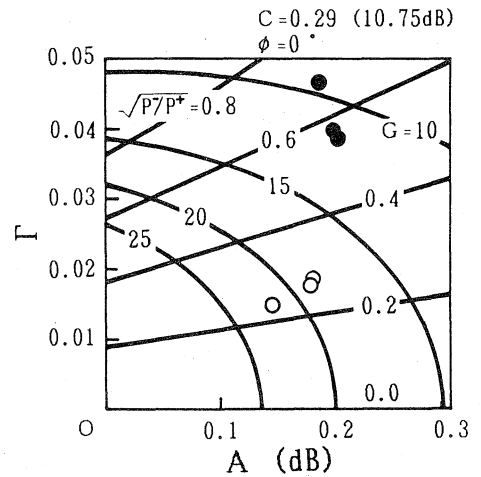
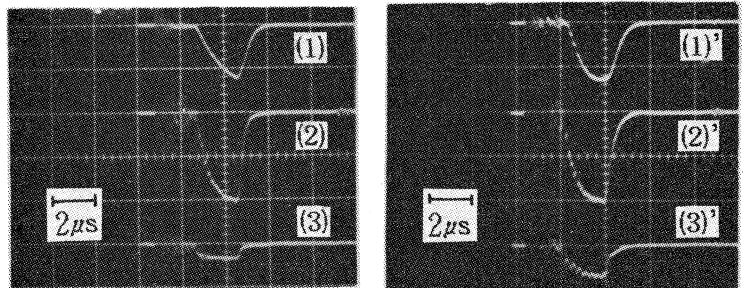


Fig.2 Contour plot of G and $\sqrt{P^-/P^+}$ as function of A and Γ . Measured points \bullet : with RF window, \circ : without insertions.

3. 大電力テストの結果

Fig. 3 は、実際に発生させた大電力マイクロ波を、ベータホール結合器を通してクリスタル検波器で測定した波形である。(a)はレゾナントリングに試験部品を挿入していない場合であり、(b)はRF窓（Wesgo社製AL-300アルミナセラミック板 2.8mm厚）を挿入した場合である。ともに入力電力より一桁程度大きい約200MWのマイクロ波が得られており、このレゾナントリングで

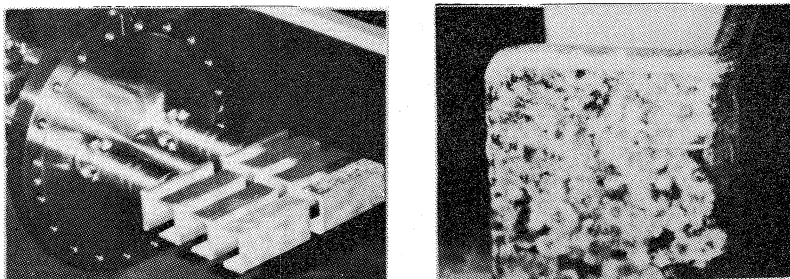


(a) without insertions (b) with RF window

Fig.3 High power microwave signals from the Bethe hole couplers.

- (1), (1)' : Backward power (P^-) in the ring circuit. (a) 16MW (b) 66MW
- (2), (2)' : Forward power (P^+) in the ring circuit. (a) 205MW (b) 195MW
- (3), (3)' : Source power (P_s^+). (a) 11MW (b) 18MW

マイクロ波部品の耐電力試験を行うのに十分な電力が得られることが確かめられた。なお、RF窓を挿入せずにクライストロン出力を更に増加させた結果、リング内のマイクロ波電力が約300MWに到達した際、移相器を構成しているプランジャの表面で連続した放電が起り、発生させえる電力が制限されてしまった。Fig. 4はその際の損傷したプランジャとその表面の放電痕の写真である。



(a) (b)

Fig.4 Photographs of the phase shifter damaged under 300MW operation.

- (a) Inner part of the phase shifter (Movable plungers).
- (b) Damaged plunger surface.

大電力マイクロ波での電力利得 G 、順逆電圧比 $\sqrt{P^-/P^+}$ の測定結果を前掲の Fig. 2 に合わせてプロットした。点○は RF 窓が無い場合、点●は RF 窓を挿入した場合である。反射係数はそれぞれ $\Gamma = 0.015 \sim 0.019$ 、 $0.038 \sim 0.048$ であるが、その差約 0.02 は、窓の挿入により予測される値よりもかなり大きい。この原因については後ほど考察する。これに対し減衰量は、それぞれ $A = 0.16 \sim 0.18 \text{dB}$ 、 $0.20 \sim 0.21 \text{dB}$ とほぼ同じ値である。これらは導波管の損失から計算された値 $A = 0.16 \text{dB}$ と良い一致を示している。

4. 考察と今後の課題

リング内の反射は、部品の耐電力試験やクライストロンの運転に大きな悪影響を及ぼすため、反射の問題を中心に考察する。RF 窓単体で測定した反射係数は $\Gamma_{\text{window}} = 0.01$ であり、先に述べた RF 窓の挿入による反射係数の増加約 0.02 は、 Γ_{window} の値だけでは説明できない。これには次のような理由が考えられる。

- ① リング内に残留している反射は、複数の反射が重ね合わさったものである。RF 窓の挿入により重ね合わせの様子が変化し、結果として Γ が大きく増加した。
- ② P^- と P^+ とは異なる場所で測定されている (Fig. 1) ため、RF 窓挿入による定在波分布の変化が影響し、 Γ が大きくみえた。
- ③ 測定では、 G が最大になるよう位相を調節したが、Fig. 5 に示すように $\Gamma > 0.033$ では $\phi \neq 0^\circ$ で G が最大になる。よって、Fig. 2 ($\phi = 0^\circ$) から求めた値 $\Gamma = 0.038 \sim 0.048$ 自身誤差が大きい。

次に、この反射の影響を軽減して運転する方法を考える。先に述べたように $\sqrt{P^-/P^+}/\Gamma = G$ であるから、 G があまり大きくない方が良くと予想される。この事について例えば、 $\Gamma = 0.05$ 、 $P_s^+ \leq 30 \text{MW}$ で $P^+ = 150 \text{MW}$ の耐電力試験を行う場合を計算してみると、

$\phi = 0^\circ$; $G = 8.6$, $P_s^+ = 17 \text{MW}$, $\sqrt{P^-/P^+} = 0.71$ ($P^- = 76 \text{MW}$)
 で行うよりも、共振から外れた状態

$\phi = 7.3^\circ$; $G = 5.0$, $P_s^+ = 30 \text{MW}$, $\sqrt{P^-/P^+} = 0.34$ ($P^- = 17 \text{MW}$)

で行う方が反射の影響は半減する。なお、 $\Gamma > 0.033$ では、共振から外れた状態で G が最大となり、反射の影響だけでなく電力利得でも共振状態より有利になる場合もある。

しかし、共振から余り外れると G も小さく成り過ぎる。また、この操作では完全に反射の影響を取り除けない。基本的な対策は、残留する反射を少なくすることであり、リングを構成する部品、特に移相器の反射係数を出来るだけ小さくしなければならない。さらに、被測定物をも含めた反射を打ち消すためにスタブチューナーをリング内に挿入すべきである。また、この移相器は $P > 300 \text{MW}$ の耐電力試験を行うためにも改造の必要があり、現在スタブチューナーの製作と合わせてその準備が進められている。

References

- 1) L.J.Milosevic, et al., IRE Tran., vol. MTT-6 (1958) 136.
- 2) T.Shidara, et al., Proc. 10th Linac meeting, Tohoku Univ., (1985) 10.

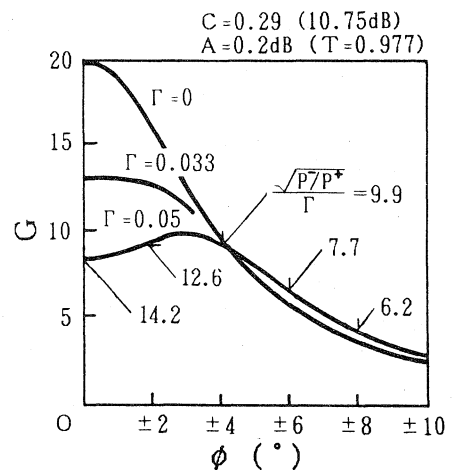


Fig.5 Graph of G for various values of Γ .