

EXPERIMENT ON A 2-m ACCELERATOR SECTION WITH A RESONANT RING

Takao OOGOE, Atsushi ENOMOTO and Isamu SATO
KEK, National Laboratory for High Energy Physics
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305

ABSTRACT

Acceleration using a resonant ring was tested for the TRISTAN-II (B-Factory) project. Feeding an input rf-power of about 30MW into an existing 2-m accelerator section, an energy of 54.1MeV was obtained. The average acceleration field reached 28.6MV/m, and the voltage multiplication factor with the resonant ring was about 1.4.

レゾナントリングによる2m加速管の実験

1. はじめに

高エネルギー物理学研究所においてはB-Factory計画が進められている。その計画におけるPF-LINACとして、より強度の強い陽電子発生と加速エネルギーの増強が必要とされている。加速エネルギーは現在の2.5GeVから8GeVに増強しなければ成らない。加速利得の増強方法の1つとしてレゾナントリングを用いる(RF還流法)方法がある。そのため、レゾナントリングによる2m加速管の加速実験を行い使用の可否を考察した。

B-Factory計画では加速管の電界強度が現在の2~3倍になるため、重要な課題として加速管の加速電界強度試験を行った。

2. RFエージング

PF-LINACは41ユニットから成る。本実験は33番目(4-8)のユニットを使用した。図1の様に30MWクライストロンからのRFパワーをレゾナントリングを伴う1本の既存の2m加速管に供給した。加速管は約5年間使用された後、大気状態で約6年間保管されていたものを使用した。レゾナントリング部の導波管はほとんどが未使用である。このことによる真空への影響は初期状態ではあったが、

後まで影響を与えるようなことは無かった。

RFの重ね合わせのための位相調整はレゾナントリングの2箇所にしたスペーサーの厚みによって調整した。厚みは低電力試験で初期値を決め、更に実際の大電力試験で加速周波数を調整し、最適に位相が重なる周波数とのズレから求めた。RF波形モニタはクライストロン、加速管の各々の出口に各2個の方向性結合器を取り付け、入射波と反射波を観測出来るようにした。

平成4年9月に設置を完了し、RFエージングに入った。初期(RFパワー小)においてマルチバクタリングと思われる現象により真空悪化がおり、エージングに時間がかかった。加速器運転に支障があつてはいけなかったのでこの現象だけがエージング中の大きな障害であつた。12月までのRFエージング及び測定により位相が著しくズレていることが解り、スペーサーの厚みを変更した。平成5年1月よりRFエージングを再開した。マルチバクタリングと思われる現象は前回ほどではなく、容易にRFパワーを入れることが出来た。この加速ユニットは平成5年夏まで運転を続けた。その期間においてクライストロンへの反射波はほとんど観測されなかつた。加えて、クライストロンは他のクライ

ストロンと同じ出力 (25~30MW) によって4ヶ月以上運転を行ったがダウンは数回であり、他のクライストロンのダウンと変わらない。このことは加速管側からの反射波がないことを示している。

真空状態はイオンポンプ電流を記録した。わずかに放電と思われる現象がみられるが運転状況に影響はない。

3. 加速利得の測定

加速利得はクライストロンの位相を変え、最大減速位相の時と最大加速位相の時のビーム加速エネルギー差をPF-LINACの終端のエネルギー分析系で測定することによって求めた。電子ビームは半値幅2nsec、100mAなのでビーム負荷は無視した。ビームとRFのタイミングはディレーユニットの調整により行った。

位相を合わせるためのスペーサーの厚みが最適値よりわずかに厚いために加速周波数を調整する必要があった。運転加速周波数 (2856.0394MHz) より約150KHz低い加速周波数で最高の加速利得が得られた。右の写真は測定時のクライストロンのRF出力波形と加速管出口のレゾナント波形である。

レゾナントリングによる2m加速管の加速利得は、

$$\frac{2602.8\text{MeV} - 2494.7\text{MeV}}{2} = 54.1\text{MeV}$$

また、平均加速電界強度は、

$$\frac{54.1\text{MeV}}{1.89\text{m}} = 28.6\text{MV/m}$$

に達した。

クライストロンのRF出力波形は立ち上がり時間約0.8 μ sec、Flat top約1.6 μ secであり、ピーク電力は約30MWであった。加速管のFilling time 約0.5 μ secであることから、約4~5回重なることが予想されるが、観測波形でも確認できた。最初の重なり位置は立ち上がりの途中であると考えられる。この位置は位相の定まっていなため好ましい位置ではない。

下に電圧増幅率M (電力増幅率M²) の式を示す。

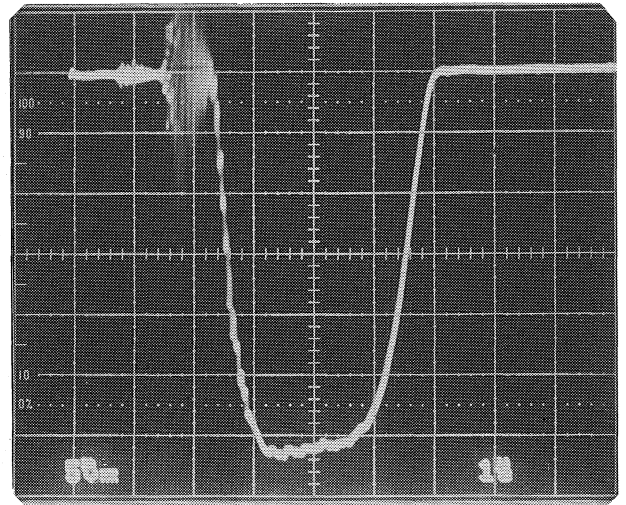
$$M = C \left(\frac{1 - (e^{-\tau} \sqrt{1 - C^2})^n}{1 - e^{-\tau} \sqrt{1 - C^2}} \right)$$

C : Hybridの電圧結合定数

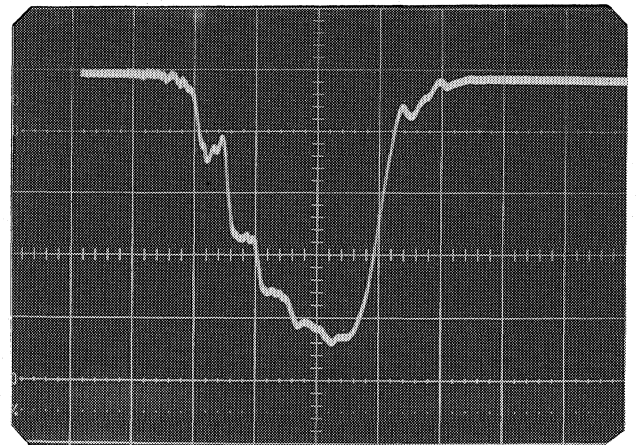
e^{- τ} : 加速管の電圧透過係数

τ : 加速管減衰定数

n : 重なる回数



クライストロンのRF出力波形 約30MW (1 μ s/div)



↑ビーム位置
レゾナント波形 (1 μ s/div)

重なりが明確に観測することができる。

4. まとめ

レゾナントリングによる加速方式においては4ないし5回のRFの重なりを考えている。それによる電力の増倍は計算において1.8~2.1倍になる（電圧増幅率約1.4倍）が、今回の実験において概ね実証された。レゾナントリングを利用することにより約2倍の加速エネルギーを得られることになる。

以上のようにレゾナントリングによる2m加速管の実験により加速管の加速電界強度、加速利得及び、レゾナントリングを使用した加速方式も可能であることが実証できた。しかしながら、いくつかの問題もある。ビーム入射繰り返しが25ppsから50ppsに上がることにより初期時に起こるマルチパクタリング、及び真空への影響。位相を合わせるためのスペーサーの決定、及び3dB Hybridの位相ズレ、VSWR等が上げられる。

平均加速電界強度28.6MV/mの値は現在の運転時の3倍以上であり、SLED等を利用した電力圧縮方式の使用時のピーク値よりも大きい値である。このことから、現在使用中の2m加速管はB-Factory計画において使用することは可能であると判断した。

5. 今後の予定

平成5年9月に2m加速管4本（1ユニット）をレゾナントリング化することで進めている。これによって加速管4本を使用したときの位相のわずかなズレによる影響等が解るものと期待をしている。また、加速管のRFエージングに伴う問題、RFエージングに必要とする時間、真空の状況等がつかめると考えている。

References

- [1] I.Sato, "ACCELERATOR STRUCTURE AND BEAM TRANSPORT SYSTEM FOR THE KEK PHOTON FACTORY", Nuci. Instr. meth. 177(1980)91-100, pp. 91-100.
- [2] I.Sato et al., "AN EXPERIMENT OF HIGH GRADIENT ACCELERATION BY RECIRCULATOR", Proc. 13th Linear Accel. Meet. in Japan
- [3] A.Enomoto, "Linac Upgrade Plan for the KEK B-Factory", Proc. of International Workshop on B-Factory : Accelerators and Experiments", BFWS92, Tsukuba, Japan, Norember17-20, 1992, pp216-220

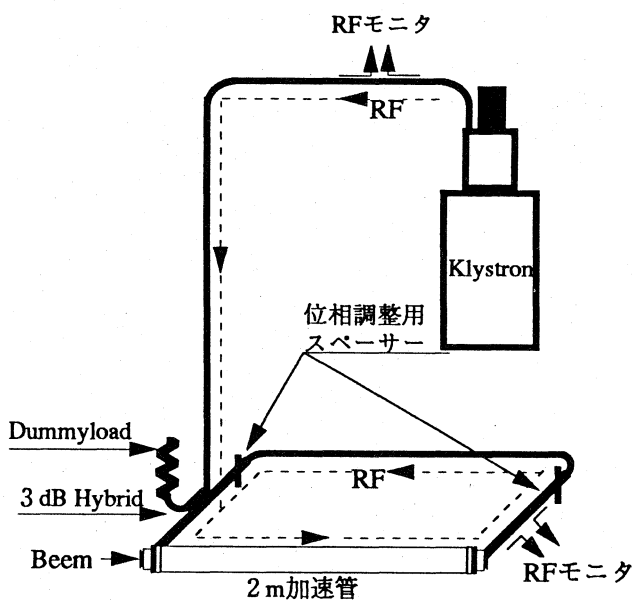
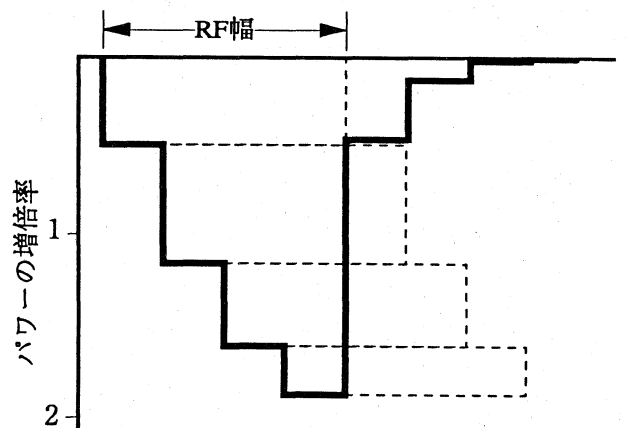


図1 実験全体図



理想的な還流波形