

High Power Hybrid Attenuator & Phase-Shifter Systems

S. Ohsawa, I. Abe, M. Yokota, Y. Ogawa, S. Anami, I. Sato, A. Asami,
*Y. Iino, *M. Adati, *K. Kondou, #K. Suzuki and #S. Seki

National Laboratory for High Energy Physics

* Mitsubishi Heavy Industries Co. Ltd

#Nihon Koushuhua Co. Ltd

ABSTRACT

For the prebuncher and buncher of the PF 2.5 GeV electron linac, two kinds of waveguide systems were newly designed and manufactured which can be used not only as a variable attenuator but also as a phase shifter. Either of the two systems has the distinctive feature that it does not introduce a phase shift as the attenuation is varied. It is expected that this feature greatly speed up the process of converging on optimum phase and power settings for both the prebuncher and buncher. The principles and characteristics of the new systems are described.

ハイパワーRF用ハイブリッド減衰器&移相器システム

1. はじめに

PF 2.5 GeV リニアックのプレバンチャーとバンチャー用に、加速マイクロ波のパワーと位相をそれぞれ独立に変えられる減衰器&移相器の立体回路システムを製作した。この原理と構造は、今回新たに考案したものである¹⁾。動作原理と製作した減衰器&移相器のマイクロ波特性等について報告する。

これまで使用してきた減衰器には、減衰量を変えると原理的に位相まで変化するという問題点があるのみならず、放電防止のために立体回路の内部をSF₆で加圧しているために、セラミックスの窓が破損した場合に加速管側にSF₆ガスが入ってしまう危険性があった。そこで立体回路を真空にして使用するタイプにすると共に、減衰量を変えても原理的には位相が変化しない新しい構造の減衰器&移相器に更新することにした。これにはプレバンチャー用とバンチャー用の二種類がある。プレバンチャー用のものは電力分割器と併用するもので、構造がより簡単になっている。いずれも3 dBのハイブリッド（方向性結合器）を用いた移相器のショートプランジャ（2個ある）を独立に動かすことにより、減衰器もしくは移相器の働きをさせるものである。2個のショートプランジャの動かす方向によりその機能が決まる。この減衰器&移相器システムではパワーと位相を独立に変えることが出来るので、これまでよりもプレバンチャーとバンチャーのマイクロ波調整が容易になり、リニアックの運転性能が向上するものと期待される。

2. 減衰器&移相器の動作原理

まずこの装置の動作原理について説明する。二種類の機能は全く同じであるが、構造はかなり異なるので別々に説明する。最初にプレバンチャー用のものであるが、これは図1に示すような構造をしている。バンチャー系に行くメインラインから20 dBの電力分割器で分割されたマイクロ波 ($2A \exp(i\omega t)$) は、3 dBのハイブリッドで二分割された後、2個のショートプランジャーで反射されてハイブリッドの方向に戻り、そこで合成される。入出力ポート方向に進む合成後のマイクロ波は、A面ではそれぞれ

$$\text{入力ポート} \quad 2A \sin\phi \sin(\omega t + \theta) \quad (1)$$

$$\text{出力ポート} \quad 2A \cos\phi \sin(\omega t + \theta) \quad (2)$$

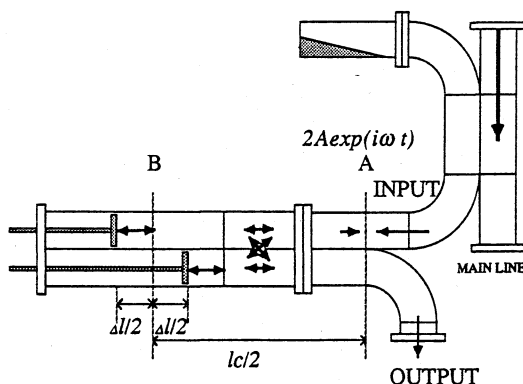


図1 プレバンチャー用減衰器&移相器

となる。ここで

$$\theta = l_c / \lambda_g, \quad \phi = \Delta l / \lambda_g, \quad (3)$$

λ_g は管内波長である。出力される波の振幅は $\cos\phi$ に比例するから、2個のショートプランジャを逆方向に動かして Δl のみを変えることにより、出力波のパワーだけを変えることが出来る。一方、ショートプランジャを同じ方向に同量動かせば、 l_c のみを変えることになり、位相だけが変わることになる。なお入力ポート側に戻るマイクロ波はほとんどがダミーロードに吸収される。一部メインラインのソース側に戻るパワーがあるが、これはたかだか -40 dB であるからまったく無視できる量である。

次にバンチャー用の減衰器&移相器であるが、これは図2に示すような十字型をしており、2個の3 dBのハイブリッドと2個の移相器から構成されている。入力マイクロ波は最初のハイブリッドで二分割され、左右にある移相器を通った後、下にあるハイブリッドで合成される。その結果、出力波は

$$2A \sin\phi \sin(\omega t + \theta) \quad (4)$$

となる。プレバンチャーの場合と同様に、 Δl と l_c によって減衰と位相シフト量が決まる。

参考のためにパワーを1/2にする場合の波のベクトル合成を図3aに示す。2個のベクトルが反対方向に $\pi/4$ 回転することにより、合成ベクトルはAからBに変化する。この時、合成ベクトルの位相は変化しない。一方、2個のベクトルが同じ方向に同位相回転する場合は、合成ベクトルも同じだけ位相が回転するが、振幅のほうは変化しない。比較のためにこれまでの減衰器の働きを図3bに示そう。この場合には1個のベクトルだけを回転しているために、合成ベクトルは振幅のみならず位相までも変化している。

3. 製作した減衰器&移相器のマイクロ波特性

次に上で述べた原理に基づいて製作した減衰器&移相器のマイクロ波特性について説明する。図4はバンチャー用の減衰器&移相器の特性である。減衰量を変化させたときの位相の変化を示したもので、ネットワークアナライザで周波数を掃引させて測定した。図の上半分は位相を、下半分は減衰量を表している。0~20 dBのパワー変化に対して、位相変化はわずかであるように見える。念のため、中心周波数2856 MHz (図中の三角2で示される)の位相変化を、横軸を減衰量にとって拡大してみると、図5のように位相変化は数度であり、確かに十分に小さいことが分かる。

さて減衰器&移相器の出力は式(4)に従って変化するはずである。 ϕ と減衰量のこの関係を図示したのが図6である。実戦は測定値で、破線が式(4)から期待される値である。概ね期待されるような変化を示している。減衰量が大きい領域でずれが見られるが、この主な原因は、移相器に使用している3 dBのハイブリッドをチューニングボタンで調整して、パワーがちょうど二分割されるようにした結果、方向性 (~25 dB) が十分でなくなったことにある。それでも、図2のような対称な位置関係にある場合に

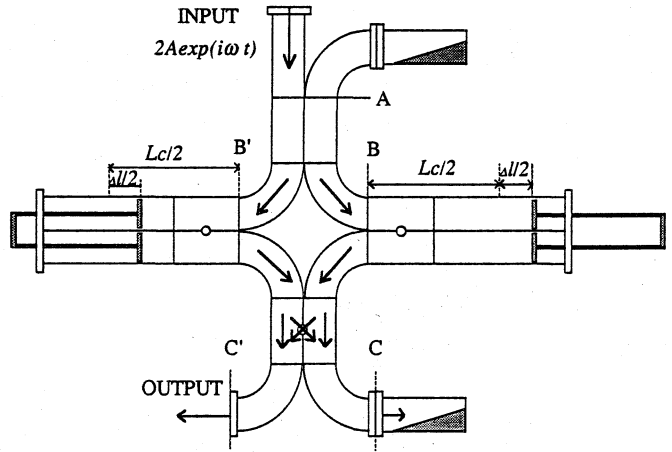


図2 バンチャー用減衰器&移相器

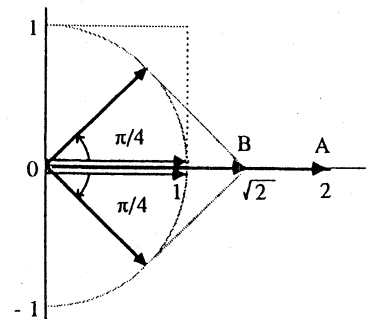


図3a 減衰器&移相器によるマイクロ波のベクトル合成

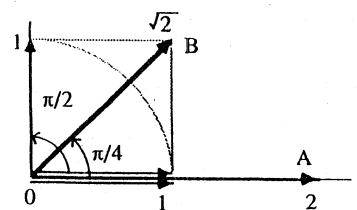


図3b これまでの減衰器によるマイクロ波のベクトル合成

は、2個のハイブリッドからショートプランジャーと無関係に抜けてくるマイクロ波が打ち消し合うので、全体として見たときの特性はかなり改善されている。バンチャーではパワーを20 dBも減らして使用することはないので、実用上全く問題はないが、方向性はハイブリッドの幾何学的寸法をわずか変えることにより40 dB程度までは改善できるはずのもので、今回はやらなかったが、この寸法をわずか調整することにより減衰器&移相器の出力特性が更に改善されるものと期待される。

また図7は、減衰の小さな領域で移相器として使用した場合の例である。位相を変えたときの減衰量の変化も十分小さいことが分かる。なおプレバンチャー用のものは、現在のところまだ微調整が残っているものの、はは同様な特性を示している。ところで、各ショートプランジャーはマイコンで制御されたパルスモーターで駆動され、その位置はリニアスケールで読み取って、位相と減衰量に変換しCRTに表示する。この装置は、主制御室から計算機制御することになっており、これから行なうハイパワーテスト（最大15 MW）や総合試験で特に問題がなければ秋の営業運転から使用する予定である。

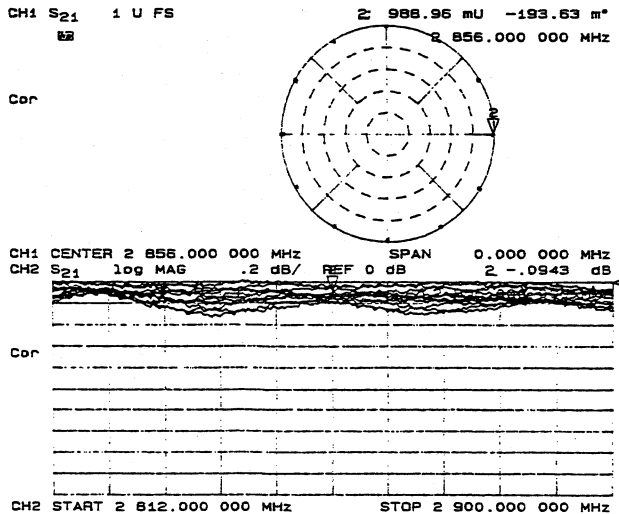


図7 バンチャー用減衰器&移相器の位相を変えたときの減衰変化の例。減衰の変化量は、0.2 dB程度である。（減衰量が ~0 dBの場合）

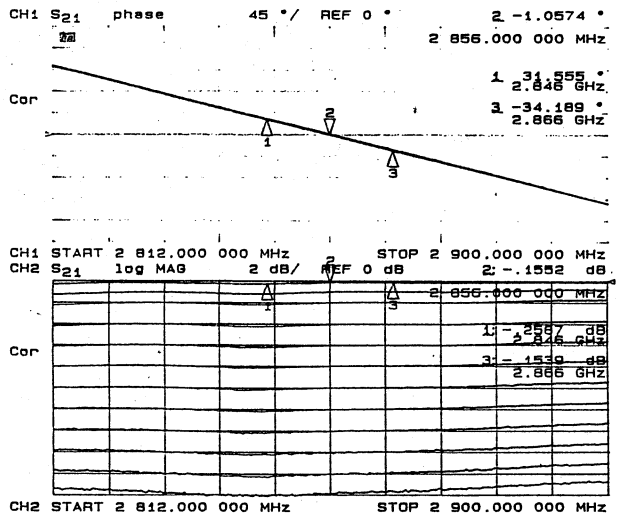


図4 バンチャー用減衰器&移相器の減衰量(0~20 dB)に対する位相変化。45度/d

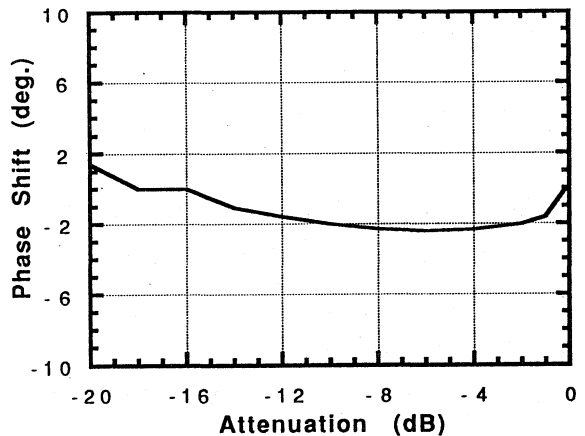


図5 減衰に対する位相変化 (図4のデータ)

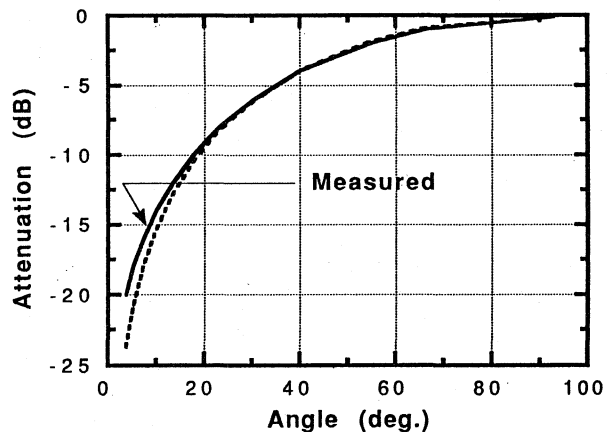


図6 φに対する減衰の変化 (図4のデータ)

参考文献

- 1) S. Ohsawa et al. : "New High Power Variable-Attenuator/Phase-Shifter Systems", The 7th Symp. on Accelerator Science and Technology, December 12-14, 1989, Osaka,