

21-P2

The Analysis of the Phase Shifter with Stub-tuner

K. Hirano, Y. L. Wang

PNC, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation
4002 Narita, Oarai-machi, Ibaraki-ken, 311-13

ABSTRACT

The phase shifter with the stub-tuner was designed to reduce the power loss of stub plunger, which will be elements of the PNC 10MeV CW high power electron linac. The dimensions of stub plunger were calculated using a computer code MAFIA.

スタブチューナ型フェーズシフタの解析

1. はじめに

大強度CW電子線形加速器のLバンド進行波還流型加速管の要素開発を進めている。その還流部は方向性結合器、スタブチューナ、フェーズシフタ及び加速管で構成され、そのレゾナンスはスタブチューナ及びフェーズシフタに取り付けられているスタブの挿入量を調整することによって得られる。ビームローディング時のレゾナンス電力は投入電力(ピーク電力250kW)の約4倍になる。還流部内の電力が大きいため、同軸構造をしたスタブにおけるパワロスを最小限に抑える必要がある。そこで、3次元電磁場解析コードMAFIAを使用して、位相の調整に用いるフェーズシフタのスタブ構造について解析を行ったので、その結果について述べる。

2. スタブ

フェーズシフタを構成するスタブは同軸構造をしている。フェーズシフタ内のスタブは3本あり、導波管のH面(導波管断面の短辺側の面)の中央に $\lambda g/3$ の間隔で付けられ、同軸構造の中央部が電動で出し入れできる機構になっている。このスタブの挿入量の調整により位相を主に変化させる。また、スタブチューナのスタブは導波管のE面(電界が垂直に交わっている導波管断面の長辺側の面)の中央にフェーズシフタと同様に取り付けられ、反射波を主に変化させる。

3. 計算

まず、同軸構造をしたスタブ内に侵入するモードについて考え、次に、MAFIAによってモードの遮断状態におけるスタブ構造について電磁場解析を行った。

3.1 同軸線路の伝搬モード

伝搬定数は次式で表される。

$$\gamma = \alpha + j\beta = (kc^2 - k^2)^{1/2} \quad (1)$$

平面波の波数: $k = \omega / c$

遮断周波数: $fc = c kc / 2\pi$

同軸導波管TE11: $kc = 2 / (a + b)$

$fc = C / \lambda c$

2a: スタブ内径(mm)

2b: スタブ外径(mm)

ここで、モードが伝搬する条件は $kc < k$ である。MAFIAでは体系を完全導体として電磁場が計算されているため、 β は次式で表される。

$$\beta = (k^2 - kc^2)^{1/2} = 2\pi / \lambda g \quad (2)$$

同軸線路を透過するTEMモードには遮断周波数は存在しないが、モードが遮断される条件($kc > k$)を満たすことによってその次の高次モードであるTE11モードを遮断することができる。この時、同軸に侵入してくるTE11モードは(3)式に示す減衰定数 α で急激に減衰していく。

$$\alpha = (kc^2 - k^2)^{1/2} \quad (3)$$

3.2 MAFIAによる計算

2a=65、2b=67の同軸断面の α は(3)式より15.3となる。MAFIAによる α はメッシュを増やせば15.3に近づくが、計算時間が長くなる。このため、計算時間と得られるデータの信頼性を考慮し、 α が9.8となるメッシュ体系で計算を行った。ポートの境界条件として境界のポート形状が連続的に存在するという設定をした。この計算体系の物質を銅と指定し、計算で得られた電磁場から導波管部とスタブ部のパワロスを求めた。スタブ部のパワロスはTEMモードと遮断されたTE11モードの電界による同軸内の壁ロス及び導波管へ突き出た部分の壁ロスである。

1本のスタブが導波管のE面又はH面に接続されている以下に示す場合について計算を行い、それぞれのVSWR、パワロス及び位相変化量を比較した。

表1に下記に示す①~⑦のスタブの寸法を示す。

- (1) スタブを導波管のE面又はH面に接続した場合
 - ① E面の場合(図1)、② H面の場合(図2)
- (2) 図3に示すチョーク構造をスタブに接続した場合
 - ③ E面の場合(2a=65、2b=67)
 - ④ E面の場合(2a=40、2b=42)
 - ⑤ H面の場合
- (3) 不連続構造を持つスタブをH面に接続した場合
 - ⑥ スタブが短い場合(図4)
 - ⑦ スタブが長い場合(図5)

4. 計算結果及び考察

計算結果を表1に示す。

4.1 スタブを導波管のE面又はH面に接続した場合
 スタブがE面にある場合には、TEMモードはスタブ側へ伝搬するが、H面にある場合にはほとんど伝搬しない。また、壁ロスはH面の場合より少なく、位相はスタブの挿入による磁場の歪みによって導波管の横幅が実行的に伸びた状態になるため変化する。

4.2 チョーク構造をスタブに付けた場合
 スタブがE面にある場合、TEMモードの透過が主なパワロスとなる。このTEMモードは一般的に図3に示す様なチョーク構造を設けてスタブと導波管間を電氣的に短絡状態に近くすることによって遮断できる。E面にスタブが付いている場合、TEMモードは十分遮断されていることがわかる。H面の場合には、チョーク構造がある分だけパワロスが大きくなっている。スタブが同形状であれば、③E面の場合には⑤H面の場合よりもパワロスを低くでき、かつ、位相変化量も大きくできる。しかし、VSWRは大きくなる。E面のスタブの同軸半径を④の場合のように小さくすれば、TE11モードの浸透割合が減少するため③の場合よりパワロスを下げることができる。

4.3 不連続構造を持つスタブをH面に接続した場合
 スタブに駆動機構を付けるため、その同軸部の途中から不連続な構造を設ける必要がある。⑥の場合のようにTE11モードの浸透割合が大きい位置から不連続構造を設けた場合には、同軸内部の電界が高くなり同軸部におけるパワロスが増加した。また、位相変化量も減少した。よって、不連続部が無く同軸形状が続くような②の場合は、最小のパワロスで最大の位相変化量が得られるといえる。そこで、⑦の場合のように同軸を200mm程度伸ばして、TE11モードを-30dB程度になるまで減衰させてから不連続構造を作った。この場合のパワロスと位

相変化量は②の場合とほぼ同じ値になった。また、同軸終端部におけるTE11モードの浸透割合は十分小さくなった。

5. まとめ

H面に同軸構造を持つスタブがある場合はTEMモードの透過がほとんど無いため、スタブにチョークを付ける必要がないことが分かった。

TE11モードの遮断状態ではTE11モードが十分減衰する程度まで同軸を伸ばせば、その後に同軸構造を変えても、その同軸構造における最小のパワロスが得られ、かつ、最大の位相変化量が得られる。

チョーク構造を持つ同形状のスタブ1本をE面に接続した場合、VSWRは大きいですが、H面に接続した場合よりもパワロスを低くでき、かつ、位相変化量も大きくできる特徴がある。そこで、④の場合のチョーク構造を持つ内径φ40のスタブ3本をE面にλ_g/3の間隔で接続し、それぞれのスタブを20mm程度挿入した場合の計算を行った。VSWRが1.03程度になるようにマッチングを取った結果、H面にスタブを1本取り付けた⑦の場合よりも少ないパワロスが得られ、位相を36°程度変化できることが分かった。よって、マッチングが取れるように3本のスタブを同時に動かせば、位相変化量が大きくパワロスの少ない大電力用フェーズシフタを作ることができる。

参考文献

- [1] H.Oshita et.al.:Proc.of the 18th Linear Acc. Meeting in Japan,73(1993)
- [2] 中島正光:マイクロ波工学、森北出版

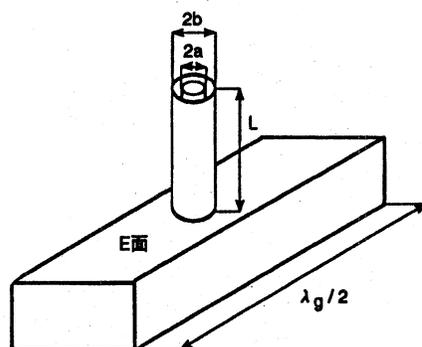


図1. E面に接続したスタブの計算体系

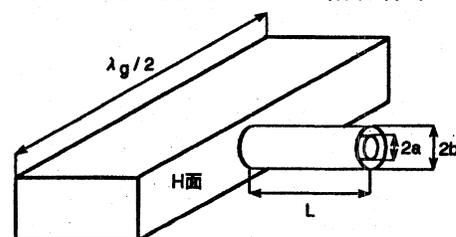


図2. H面に接続したスタブの計算体系

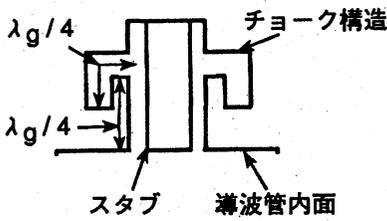


図3. チヨーク構造

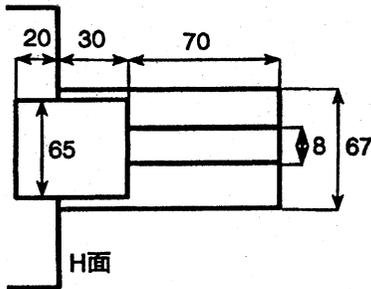


図4. 同軸部が不連続な⑥スタブ断面図

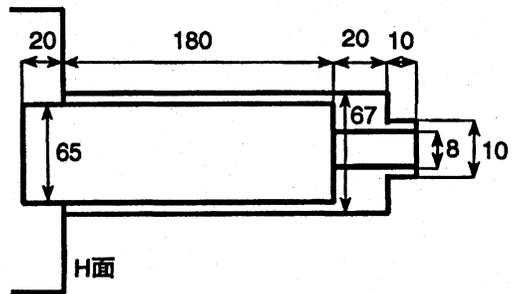


図5. 同軸部が不連続な⑦スタブ断面図

表1 計算結果

No	スタブ接続 導波管面	スタブ 内径2a (mm)	スタブ 外径2b (mm)	スタブ 深さd (mm)	同軸部 の長さ L(mm)	TEMモード のスタブへの 透過割合(dB)	TE11モード のスタブへの 浸透割合(dB)	VSWR	位相 変化量 (°)	λg/2導波管 のパワロス (dB)	スタブの パワロス (dB)
①	E面	φ 65	φ 67	0	100	-22.4	-28.0	1.01	-0.2	-36.4	-40.3
	E面	φ 65	φ 67	20	100	-14.2	-27.2	2.27	-16	-37.2	-35.8
②	H面	φ 65	φ 67	0	100	-127	-25.2	1.02	-0.6	-36.4	-38.6
	H面	φ 65	φ 67	20	100	-119	-19.2	1.12	6.0	-36.3	-31.9
③	E面 (チヨーク付き)	φ 65	φ 67	20	100	-48.4	-33.2	2.31	-17	-37.2	-31.5
④	E面 (チヨーク付き)	φ 40	φ 42	20	100	-47.9	-74.5	1.91	-13	-36.6	-45.0
⑤	H面 (チヨーク付き)	φ 65	φ 67	20	100	-135	-30.5	1.06	4.5	-36.2	-28.1
⑥	H面 (同軸部不連続)	φ 65 φ 8	φ 67	20	30 70	-137	-41.5	1.02	2.4	-36.3	-27.6
⑦	H面 (同軸部不連続)	φ 65 φ 8 φ 8	φ 67 φ 67 φ 10	20	180 20 10	-140	-74.5	1.11	6.0	-36.2	-31.7