

T. Kato and S. Machida
National Laboratory for High Energy Physics

ABSTRACT

An Alvarez linac was constructed to increase the output energy from 20 MeV to 40 MeV. The new linac was stabilized by post couplers and the flatness of the TM010 field distribution was within $\pm 0.7\%$.

1. 序

荷電交換入射法によるブースターシンクロトロン of のビーム強度を増すために、20 MeV 陽子リニアックの出力エネルギーが 40 MeV まで増強された。新しいアルバレ型リニアックではポストカップラーの調整により、加速電場が安定化されると同時に、設計値に極めて近い電場分布が得られている。ここではポストカップラーと周波数チューナーによるリニアックのチューニングについて述べる。新しいリニアックの主要なパラメーターは、文献 1 に詳しい。

2. 共振周波数について

40 MeV タンクの共振周波数は 20 MeV タンクに一致させる必要がある。20 MeV タンクは、加速電場分布を周波数チューナーによって得ているので、その周波数は気楽にはかえられない。40 MeV タンクの 12本のチューナーは、 $\pm 170\text{kHz}$ の可変範囲を持つが、安定化した時のステムモードとポストモードの励起を小さくするような入れ方が望ましい事を考えると、意外に可変範囲は小さくなる。そこで共振周波数の SUPERFISH 計算からのずれに影響を与える因子を 400 MHz のモデルタンクから推定すると、ポストによる上昇 $\sim 114\text{ kHz}$ 、ステムによる上昇 $\sim 330\text{ kHz}$ 、チューナーの可変範囲 $\sim \pm 179\text{ kHz}$ 、原因不明の誤差 $\sim -253.5\text{ kHz}$ となった。目標値を 201.07 MHz として、安全因子 -70 kHz を考慮して、計算値を $200.630\text{ MHz} \pm 1\text{ kHz}$ に選んだ。その結果、共振周波数の実測値の設計値からのずれは、ポストカップラーの付いていないタンクでは -2 kHz 、ポストカップラーにより安定化したタンクでは -10 kHz となった。

3. ポストカップラーによるチューニング

1) 初期状態 ポストカップラーを一番引き抜いた状態のモード図を Fig.1 に示し、加速電場分布を Fig.2 に示す。電場分布の傾きは、ステムとポストの、加速モードの共振周波数に与える影響がセル毎に違う事に由来する。ここで電場分布の傾きの指標となる distortion parameter D_x を次式により定義すると、

$$D_x = \sum_{i=1, N} (E_i - E_{ave}) / N$$

E_i は i 番目のセルの加速電場、 E_{ave} はタンクの平均電場、 N は全セル数を示す。Fig.2 では、 $D_x = 0.119$ となる

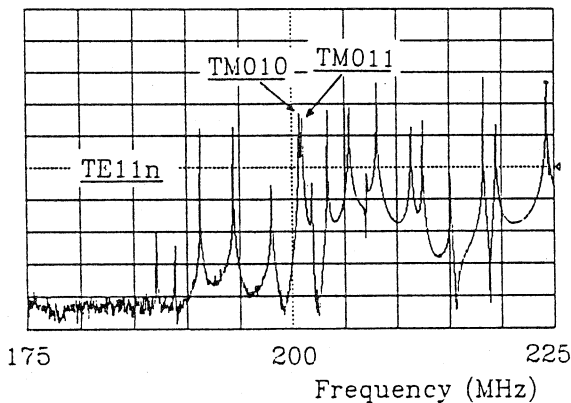


Fig.1

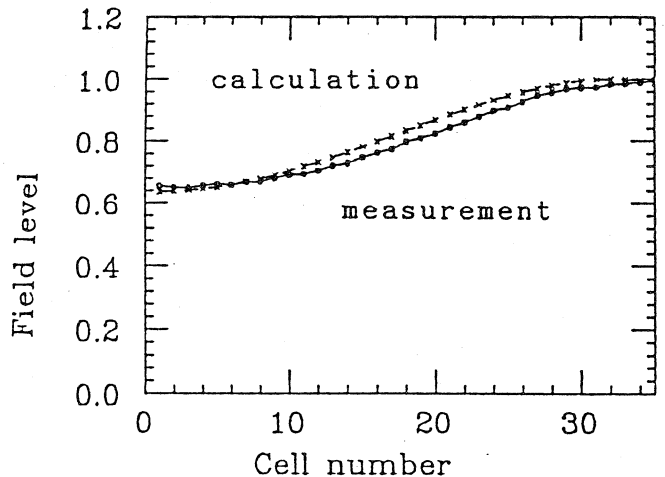


Fig.2

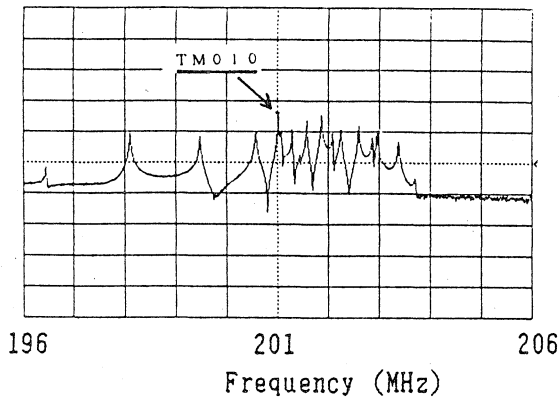


Fig. 3

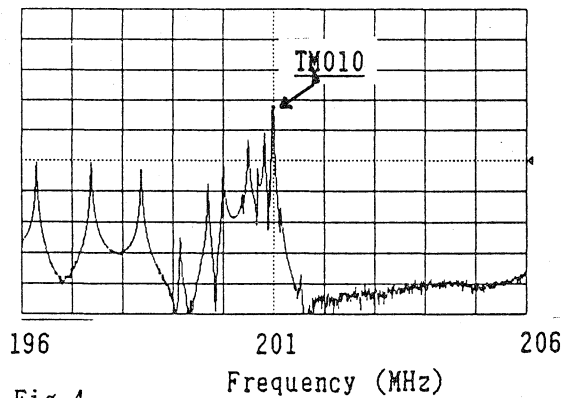


Fig. 4

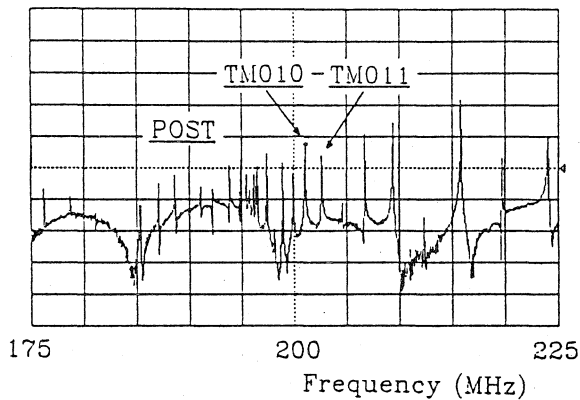


Fig. 5

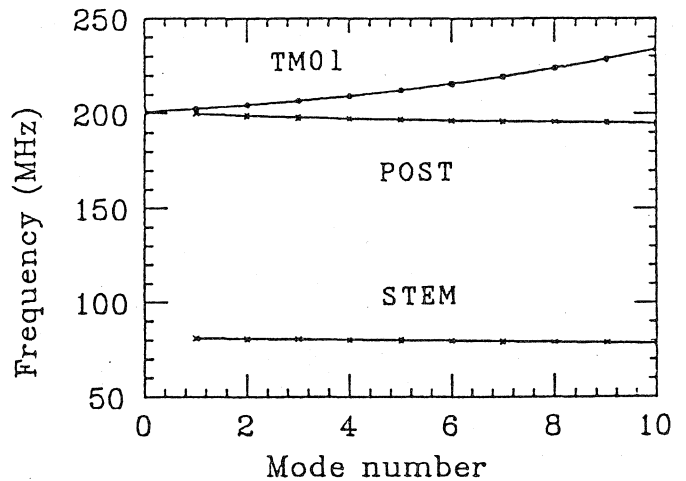


Fig. 6

2) 過渡状態 チューナーを適当に入れることにより、ほぼ平坦な電場分布を得る事が出来る ($D_x = 0.0095$)。次にポストを次第にタンク内へ入れていくと、TE モードは大きく影響され、ポストモードの周波数は 次第に小さくなって、post length (ポストとドリフトチューブの距離) = 92 mm の時には、Fig. 3 に示すように TM010 のまわりに幾つかのポストモードが存在する。さらにポストを中へ入れて、ポストモードの端が TM010 と重なると (Fig. 4, post length = 90 mm)、加速電場に大きな乱れを生じる ($D_x = 0.207$)。

3) 安定化 post length = 74 mm になると、Fig. 5, 6 に示すようなモード分布となって、電場分布は Fig. 7 に示すように $\pm 0.7\%$ 以内の平坦度になる ($D_x = 0.00293$)。なおポストカップラーの先端には自由に回転出来る楕円形のタブ (38 x 66 mm) があって、電場分布の微細な調整に使用した。TM 010 と TM011 の周波数の差は、ポストチューニングにより、0.3 MHz から 1.57 MHz に拡大した。上記のチューニング過程の D_x の変化を Fig. 8 に示す。 D_x が最小の位置が安定化の位置である事がわかる。

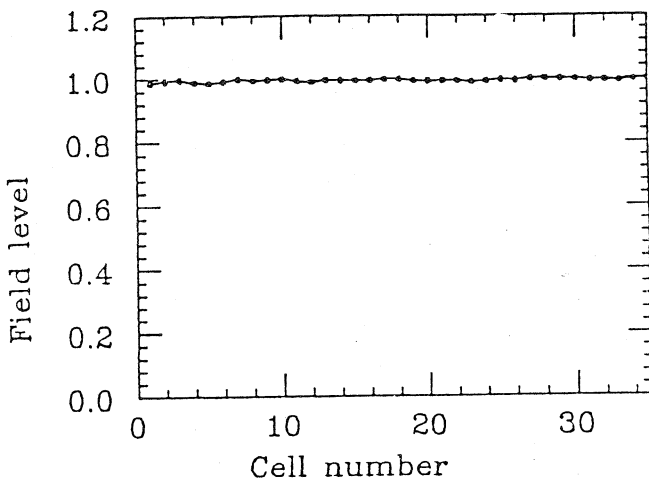


Fig. 7

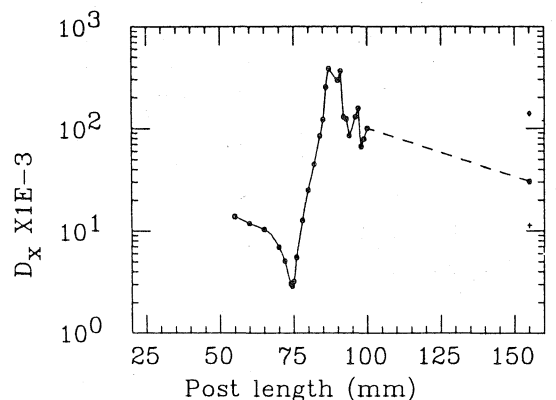


Fig. 8

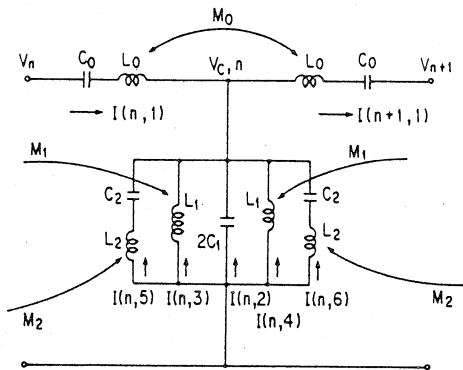


Fig.9

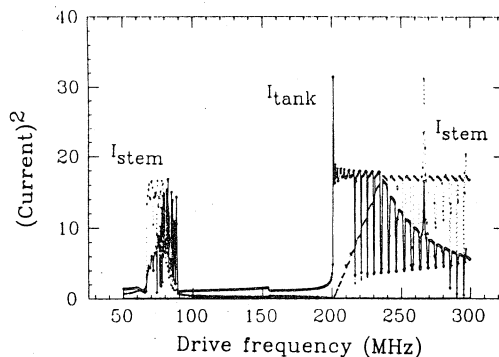


Fig.10

4. 等価回路による解析

Fig.9 の等価回路 (文献 2) を用いた計算の特長は、TM モードに相当するタンク電流の他に、ステム電流とポスト電流も含めて計算する点にある。回路方程式を少し書き換えると、以下に示す様な、簡単に計算機にかけられる式が N 番目のセルに対して得られる。

$$\begin{aligned}
 &2(1-\omega_0^2/\omega^2)I(n,1)+(\omega_1^2/2\omega^2)I(n,2) \\
 &\quad -(\omega_1^2/2\omega^2)I(n-1,2)+k_0I(n-1,1)+k_0I(n+1,1)=0 \\
 &(\omega_3^2/2\omega^2)I(n,2)+I(n,3)+k_1I(n-1,4)=0 \\
 &(\omega_3^2/2\omega^2)I(n,2)+I(n,4)+k_1I(n+1,3)=0 \\
 &I(n,3)-k_4(1-\omega_2^2/\omega^2)I(n,5)+k_1I(n-1,4)-k_2I(n-1,6)=0 \\
 &I(n,4)-k_4(1-\omega_2^2/\omega^2)I(n,6)+k_1I(n+1,3)-k_2I(n+1,5)=0 \\
 &I(n+1,1)=\sum_{m=1,6} I(n,m)
 \end{aligned}$$

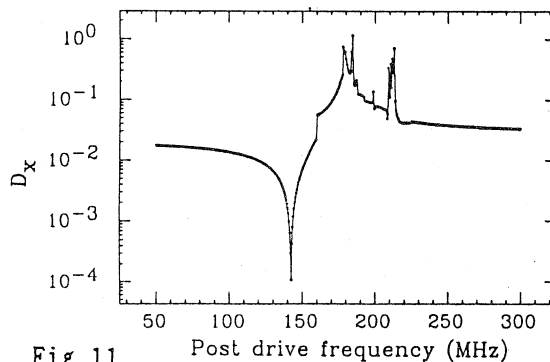


Fig.11

ここで $\omega_0^2=1/L_0C_0$, $k_0=M_0/L_0$, $k_1=M_1/L_1$, $k_2=M_2/L_1$, $k_4=L_2/L_1$, $\omega_1^2=1/L_0C_1$, $\omega_2^2=1/L_2C_2$, $\omega_3^2=1/L_1C_1$ であり、 $I(n,1)$ はタンク電流、 $I(n,2)I(n,3)I(n,4)$ はステム電流、 $I(n,5)I(n,6)$ はポスト電流を示す。

1) ポストカップラーが無い場合の 35 セル等価回路

$\omega_0=210.8$, $\omega_1=215.8$, $\omega_3=93$, $k_0=0.1$, $k_1=0.095$, $k_4=0.71$ とすれば、Fig.10 に示すモード分布が得られ、セル番号に比例して ω_0 に -110 kHz から 110 kHz の摂動 (ステムと僅かに入ったポストの効果) を与えると、Fig.2 に示した電場分布を得る。

2) ポストを含む場合の 35 セル等価回路

$k_2=-0.09$, ω を TM010 の 201.00 MHz に固定して、ポスト周波数 ω_2 を掃引して、 D_x を計算すると Fig.11 が得られ、ポストチューニングによる電場分布の変化を良く表している事がわかる。

謝辞

福本教授、高崎助教授から多くの助言を戴きましたので感謝致します。入射器グループの皆様の数多くの助力に感謝致します。三菱重工名古屋航空機製作所と三原製作所のみなさまには、測定に際し、幾多の御便宜をはかって戴きました事を感謝致します。

文献

1. S. Fukumoto et al., Proc. 1984 Linear Accelerator Conf., 135(1985).
2. T. Nishikawa, 'A note on the dispersion relation of the Los Alamos structure for the drift tube linac', 1967, unpublished. G. Dome, Linear Accelerators edited by P.M.Lapostolle and A.L.Septier, Amsterdam, 1970, C.1.1e, p.706.