

[P7-19]

Cold Model Tests of the Multi-Moded DLDS for a X-Band Linac

T.Kobayashi, S.Yamaguchi, Y.H.Chin, J.Q.Wang, H.Mizuno, N.Toge and K.Takata
 KEK, High Energy Accelerator Research Organization, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801 JAPAN

Abstract

As an RF power distribution system, the Delay Line Distribution System (DLDS) is being researched and developed for a future X-band linac. DLDS is equivalent to an RF pulse compression system and it aims at a better efficiency than the schemes such as SLED or SLED-2. In the multi-moded DLDS, the pulses from eight klystrons are combined and delivered to each RF accelerating cluster as different propagation modes in a single waveguide.

A basic unit of the RF components of the Multi-Moded DLDS was built for low power test and the measurement results are presented.

Xバンド線型加速器のためのマルチモードDLDSの 動作試験用低電力モデルにおける性能評価

1. はじめに

Xバンド線型加速器建設計画において、高いピーク加速電圧を効率よく得る方法としてRFパルス圧縮システムと等価であるDelay Line Distribution System (DLDS) [1][2]と呼ばれるRF加速電力供給システムの研究・開発が行われている。DLDSでは、8つのクライストロンからのパルスが組み合わせられまたそれにより長いパルスが短く4つに分割される。各パルス波は遅延線路を通りそれぞれ違う加速クラスターにタイミング良く供給される。マルチモードDLDS [3]は、遅延線路として1本の円筒形導波管にそれら複数のパルスを異なる伝搬モードで通すことによって各加速クラスターに分配する方法である。モードパターンの違いによって特定のパルスだけが適所に抽出される。このシステムでは、クライストロンからのパルス(矩形導波管モード)を円筒形導波管に入射するための入射器、特定のモードだけを各加速管に取り出すためのモード抽出機、モード変換器、などが重要なRF構成要素となる。現在KEKではTE₀₁、TE₁₁を用いた2x2モードDLDSが計画されている。このシステムの基本動作確認のため、基本的な低電力RFモデルが製作された。この試験モデルでモード純粋性の測定を行った結果をここに報告する。

2. 低電力テスト用基本ユニット

今回製作された2モードDLDS低電力モデルの基本RFユニットを、図1に示す。以下に、各構成要素を簡単に説明する。図2がそれらの写真である。

(1) Mode Launcher (L) [4]

4つの矩形導波管を入力ポートに持ち、クライストロンか

らの電力を円筒形導波管モードに結合させる入射器。4つのポートに入力される入射波の位相を調整することで、異なる円筒形導波管モード(TE₀₁、TE₁₁)を入射できる(図1の右端を参照)。Launcherには矩形導波管終端部(図1でLauncher左側)に4つ、円形導波管始端部(図1でLauncher右側)に1つブランチャーがあり、矩形導波管と円筒形導波管の結合部の寸法が可変となっている。

(2) Mode Extractor (ME)

TE₁₁モードを直通させ、TE₀₁モードを別導波管へと抽出する。これによってTE₀₁モードのみ各加速セクションへと取り出される。

(3) TE11-TE01 Mode Converter (Serpentine) (SP) [5][6]

サーバンティンとも呼ばれてるもので、TE₁₁ ↔ TE₀₁のモード変換を行う。4周期の、蛇のようにならねた構造をしている。

(4) Detecting Device (DD)

モードの純粋性を測定するためのものである。壁面付近の電磁場強度の角度依存性を測定することができる。これは、円筒形導波管の側面に付けられたピックアップアンテナが導波管を輪切りにするように側面上をスライドする構造になっている。TE₀₁に対してはループ型アンテナを使用し磁場のみを、TE₁₁に対してはプローブ型アンテナを使用し電場のみを測定する。

(5) Dummy Load

砲弾型セラミック吸収体を用いて無反射終端にしている。

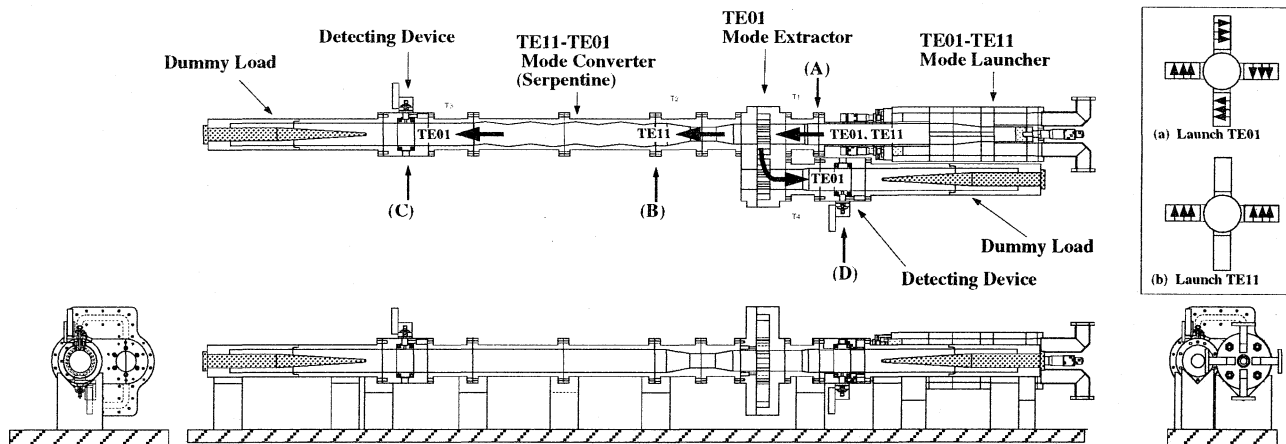


図1: 2モードDLDSの低電力テスト用基本ユニット。

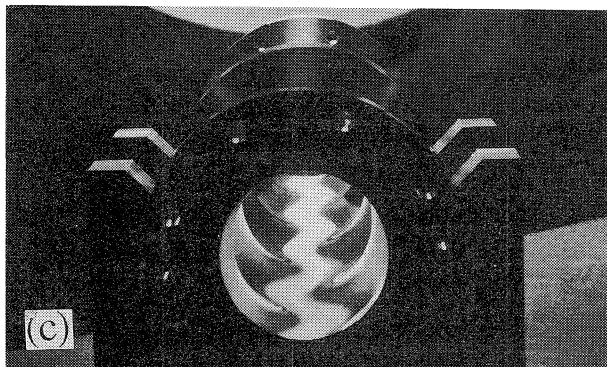
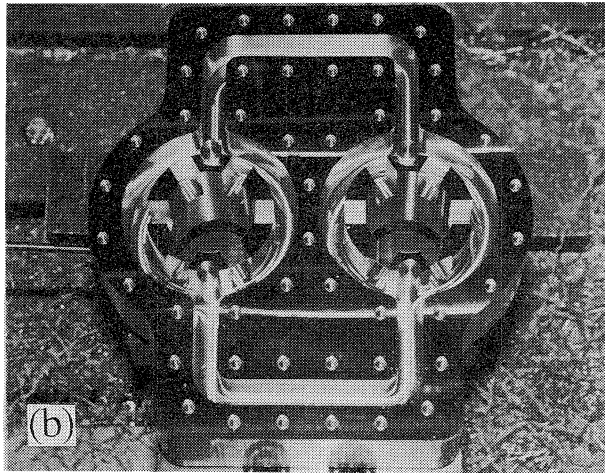
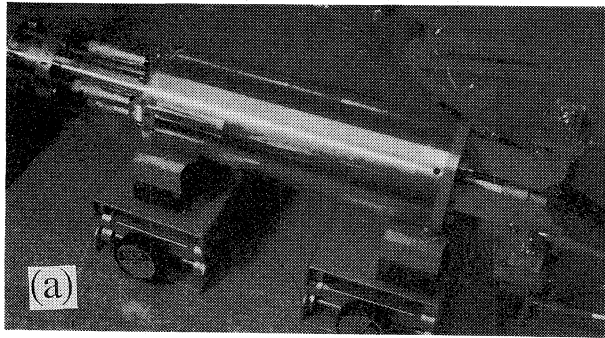


図 2: (a)Mode Launcher (b)Mode Extractor (c)TE11-TE01 Mode Converter (Serpentine)

3. 測定結果

前節の各RFコンポーネントで、設計通りに円筒形導波管モードが作られているかどうかの確認が、この測定の目的である。2-(4)で説明したDDを用いてモードの純粋性を測定した。その結果を図3~図9に示す。どの図も、縦軸がピックアップアンテナからの信号の大きさ(電磁場強度)を表し、横軸が円筒形導波管の方位角度である。複数の曲線(測定データ#1~#9)はそれぞれ Launcher のブランジヤ位置を変えて測定したものである。

図3、図4は、Launcher 単体からの出力を測定したもので、図1の位置(A)での測定に当たる。図3(ループアンテナによる測定)がTE₀₁(図1の右端(a))を、図4(ロッドアンテナによる測定)がTE₁₁(図1の右端(b))を入力としている。これらの図から、ブランジヤ位置を最適化しようとしても純粋なTE₀₁もしくはTE₁₁にならないことが分る。これは、Divider、入力ケーブル等の不完全性により、4つ入力ポートに

入射される波の位相や強さにバラツキがあるからである。

図5は Launcher (TE₁₁入射)からの出力(図4)をそのまま Mode Converter (SP)に通したものである。TE₀₁に変換されるべきところが正常な変換にはなっていない。これは、変換前のモード(図4)が純粋なTE₁₁でないためである。

図6は Mode Extractor (ME)から取り出されたTE₀₁(図1の位置(D))である。図7はMEによって濾過されたTE₁₁(図1の位置(B))である。ブランジヤ位置によらず、それぞれほぼ純粋なTM₀₁、TE₁₁となっているので、MEは設計通り機能していることが分る。

図8は、図1の位置(C)での測定である。図7に示されるほぼ純粋なTE₁₁がSPによってモード変換されたものにあたる。ここではTE₀₁に変換されることを期待されるが、図8では純粋なTE₀₁になっていない。また逆に、このSPによるTE₀₁→TE₁₁変換を行った結果が図9である。ここではMEから抽出されたTE₀₁(図6)をSPに通して測定している。図9でも期待されるTE₁₁(sinθ)にはなっていない。図中の2つのデータは、SPを180度回転させて測定したものである。これらの結果からSPではTE₂₁モードが混合されたと考えられる。図9のカーブフィットから、電力にして98.5%のTE₁₁と1.5%のTE₂₁成分になる。図8にも、TE₀₁とTE₂₁(sin2θ)成分があるとしてフィットした結果を実線で示す。その結果、電力にして97.3%のTE₀₁、2.7%のTE₂₁となる。ただし図8の測定ではループ型アンテナを使用しているため、TE₂₁成分は磁場と電場の両方に結合する。そのため図9の結果に比べ、TE₂₁成分が大きく出ていると考えられる。HFSSを用いた計算では、SPによるTE₁₁→TE₀₁変換で、電力にして99.2%のTE₀₁と0.6%のTE₂₁の混合となっている。これらの測定結果は、この計算結果と大きく矛盾するものではない。

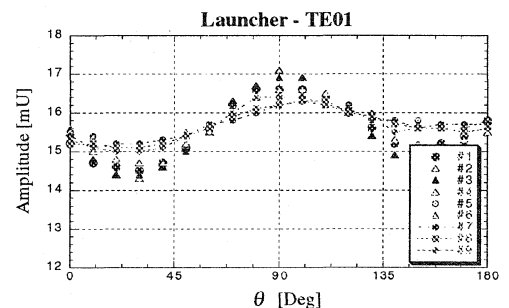


図 3: Launcher 出力モード。TE₀₁入射。

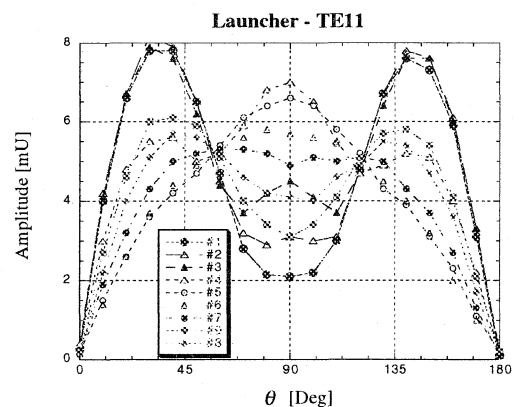


図 4: Launcher 出力モード。TE₁₁入射。

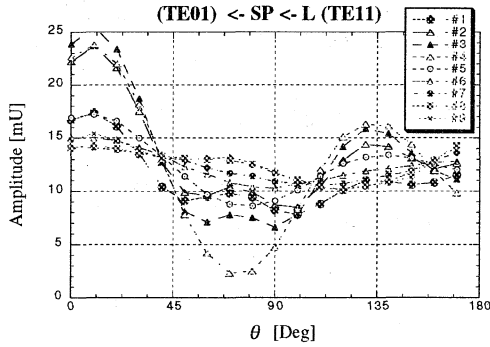


図 5: Launcher (TE_{11}) の出力 (図 4) を SP に通した後のモード。もとのモード (図 4) が純粋な TE_{11} でないため、 TE_{01} に変換されていない。

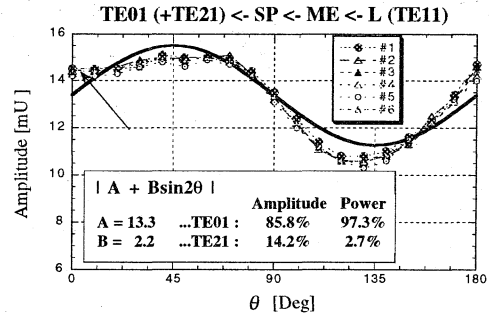


図 8: ME より濾過された TE_{11} (図 7) が SP を通った後のモード (TE_{01})。図 1 の位置 (C) での測定。期待される純粋な TE_{01} になっていない。

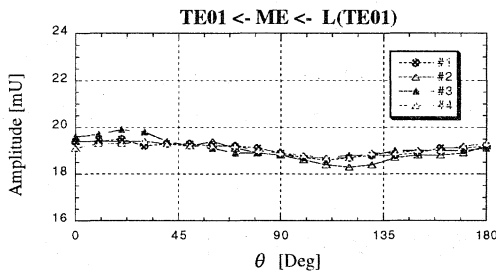


図 6: ME により抽出された TE_{01} モード (図 1 の位置 (D) での測定)。Launcher から TE_{01} を入射。

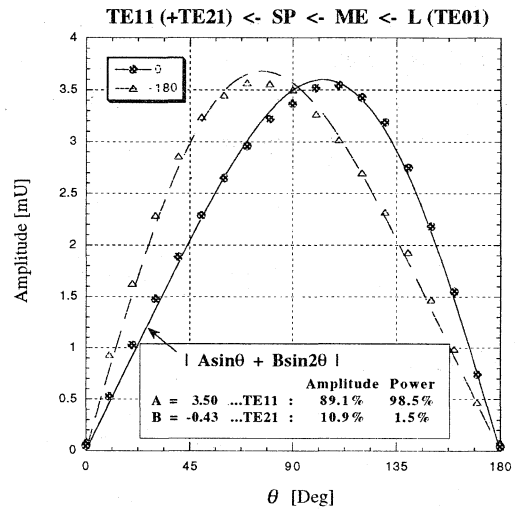


図 9: ME から抽出された TE_{01} (図 6) が SP により変換されたモード ($TE_{01} \rightarrow TE_{11}$ 変換)。 TE_{21} モードが混合していると考えられる。

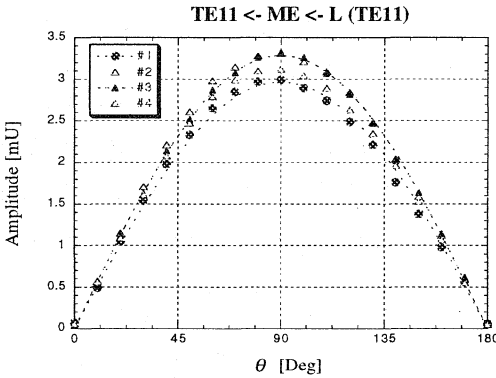


図 7: ME から濾過された TE_{11} モード (図 1 の位置 (B))。Launcher から TE_{11} を入射。破線は sin 曲線。

4. まとめ

2モードDLDSの基本RFユニット(低電力モデル)が製作され、モード純粋性測定による評価を行なった。特に大きな問題は見つかっていない。Mode Launcherでは4ポートの入力波(位相、強度)のバランスが取れず、純粋な TE_{01} ・ TE_{11} を入射するのは難しい。Mode Extractorは、ほぼ純粋な TM_{01} を取り出し、また TE_{11} を濾過し、設計通り機能することが分った。 TE_{11} - TE_{01} Mode Converterでは TE_{21} モードが混合することが確認された。

この測定では、モード純粋性の確認を行っただけである。実際の電力透過率の測定が今後の課題となる。

5. 参考文献

- [1] H.Mizuno, Y.Otake, "A new RF Power Distribution System for X-Band Linac Equivalent to an RF Pulse Compression Scheme of Factor 2nd", Proceedings of the 1994 International Linac Conference, pp. 463-465, 1994.
- [2] KEK, "JLC Design Study", KEK Report 97-1, pp. 383-399, 1997.
- [3] S.G.Tantawi, et al., "A Multi-Moded RF Delay Line Distribution System for the Next Linear Collider", Proceedings of the 1998 European Particle Accelerator Conference, pp. 305-307, 1998.
- [4] Zenghai Li, et al., "Mode Launcher Design for the Multi-Moded DLDS", Proceedings of the 1998 European Particle Accelerator Conference, pp. 1900-1902, 1998.
- [5] E.Lunéville, et al., "An Original Approach to Mode Converter Optimum Design", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. 46, No. 1, pp. 1-9, 1998.
- [6] M.J.Buckley, R.J. Vernon, "Compact Quasi-Periodic and Aperiodic TE_{0n} Mode Converters in Overmoded Circular Waveguides for Use with Gyrotrons", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. 38, No. 6, pp. 712-721, 1990.