

Measurement of Transverse Oscillation in Klystrons

Toshiyasu HIGO, Theodore Lavine*, Roger Miller*

KEK, SLAC*

Abstract

Transverse oscillations of beam in klystrons (5045 and SL3) were measured by exciting the input cavity through input wave guide. The power transfer characteristics were measured by varying drive frequency, focusing field strength, beam voltage, etc.

§ 1 はじめに

将来のリニアコライダでは、周波数10GHz以上、ピークパワー100MWレベルのRFパワーが必要になり、その高周波源をドライブするビームのピークパワーも大きくなる。ビーム電圧は簡単には上げられないので、ビーム電流を上げることになる。この時、横方向のビームの振動を考えると、空洞との相互作用による振動の増幅率Gは

$$G = \text{const.} \times I f R / B$$

I (電流)、f (周波数)、B (収束磁場)

R (横方向ビーム結合インピーダンス)

とかけ、 $R \propto f^{-1/2}$ だからI、fとともにどんどん大きくなる。周波数が上がると、ビームパイプ径は細くなるから、安定なビームは得られにくくなる。

そこで、現在稼働している高電力クライストロンのビームの横方向振動特性をしらべてみることは意義がある。この観点からSLACのSLC用クライストロン5045⁽¹⁾と8.6GHzのものSL3⁽²⁾について調べたので、報告する。

§ 2 5045測定結果

1気圧のもとで測定した各空洞の横方向モードの周波数を次表に示した。

cavity	input	2nd	3rd	4th	5th
freq.(MHz)	4319(1)	4289(2)	4316(2)	4333(2)	4410(2)
β_{ex}	0.2(1)	0.05(2)	0.2(1)		

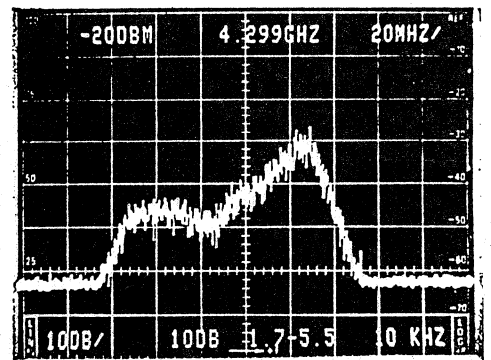


図 1

ビームローディングを含めた空洞のQ値が数100程度だとすれば、第1、3、4空洞のモードは4.3GHz付近で重なっているから、その周波数辺りで、振動の増幅があると考えられる。図1に、DCビームのみで出力導波管に現れるRFスペクトルを示したが、4.3GHz附近のランプは空洞による増幅を示していると考えられる。

次に、増幅特性を調べるために、入力空洞を横方向モードの周波数で励振して、出力導波管に現れるRFスペクトルを調べた。スペクトラムアナライザの波形の中央ピークの値 P_{SA} は

$$P_{SA} = P_g(1 - \rho^2)G^2 \frac{\epsilon_{out}}{\epsilon_{in}} \cos^2(\mu + \delta\phi)\alpha P.$$

但し P_g ; ドライブ電力、 ρ ; 入力空洞での反射、 G ; ゲイン、
 ϵ ; 入力、出力空洞でのビームと導波管の結合
 μ ; 入力空洞から出力空洞までのベータトロン振動の位相の進み
 $\delta\phi$; 入力空洞と出力空洞でのビーム振動面のなす角度
 αP ; パルス感度低下因子

と表せる。 G 以外のファクターがわかれば、 P_g と P_{SA} の測定からゲインがもとまる。図2に、励振周波数依存性を示したが、やはり4.3GHzにピークができ、更に4.1GHzにもできた。図3、4には、定電圧での電流依存性、定パービアンスでの電圧依存性をしめした。4.1GHzはビーム依存性がないことがわかり、入力空洞での強制振動の影響かとおもわれる。また、図4の矢印は μ が π の整数倍となる位置を示しており、ここでバンプとなることから、入力、出力空洞内でのビーム振動面が同じ場合が主であると考えられる。

§3 SL3の測定結果

図5～8に、§2と同様の測定を8.568GHzクライストロンSL3に対して行なった結果を示した。矢印は $\mu = \pi \times$ 整数となるところであり、そこでディップになることから入力、出力空洞での振動面が垂直の場合が主であるとわかる。

入力空洞での反射の測定を、ビームあり、なしで行なった結果を図8に、それをパラメータでフィットした結果を表2に示した。これから、ビームローディングの影響が大きいことがわかる。

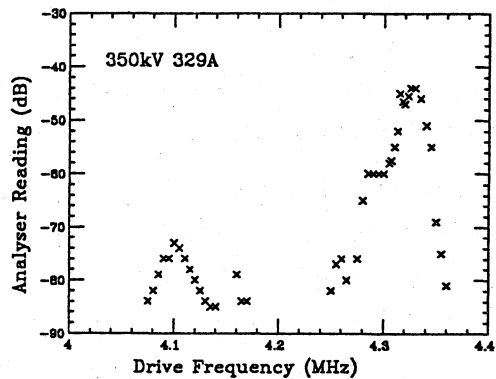


図2

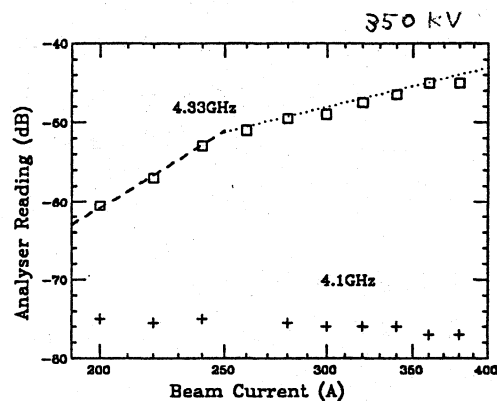


図3

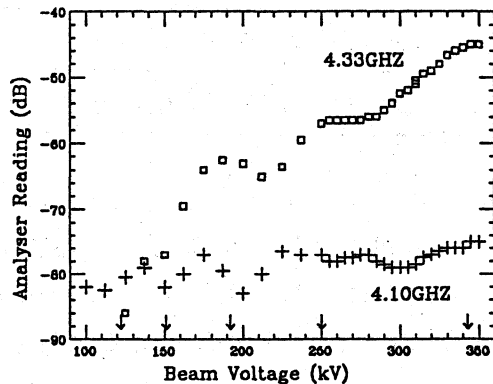


図4

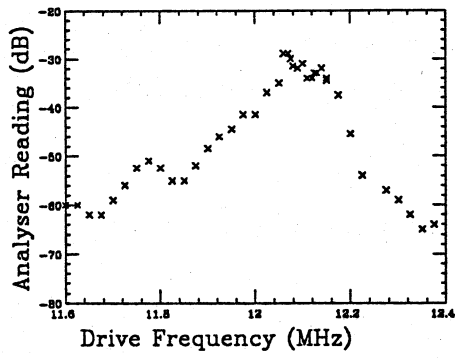


图 5

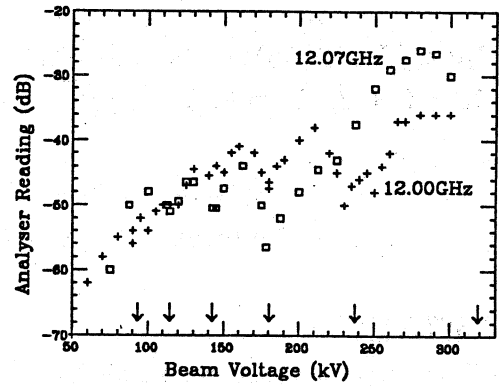


图 6

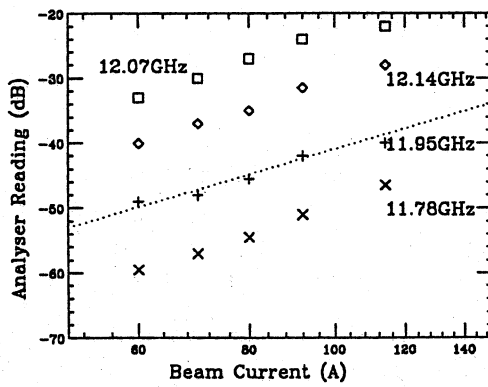


图 7

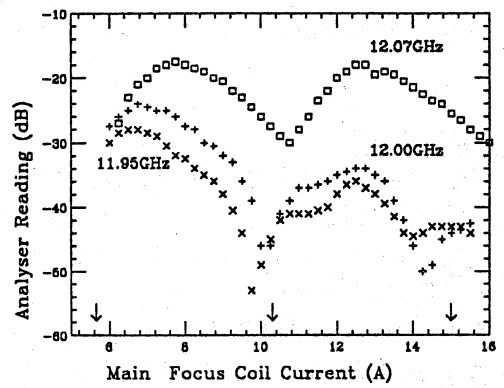


图 8

	over-coupled			under-coupled		
	0kV	150kV	280kV	0kV	150kV	280kV
$f(\text{GHz})$	12.02(1)			12.054(2)	12.055(2)	12.059(2)
$\delta f_b(\text{MHz})$				0	2.0(5)	3.3(5)
β_{ex}	15(2)			0.5(1)		
β_b	0	4(1)	7.5(1)	0	0.15(15)	0.5(2)

表 2

(1) T. G. Lee et al.; SLAC-PUB-3214

(2) T. G. Lee et al.; IEDM Technical Digest (1987) P.869