

PHASE VARIATION OF HIGH POWER KLYSTRON AT KEKB LINAC

K.Nakao, T.Matsumoto, S.Michizono, S.Fukuda and S.Anami

High Energy Accelerator Research Organization ( KEK )

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken305, Japan.

Abstract

In the KEKB linac, 58 high-power klystrons will be used to accelerate the beam up to 8 GeV. Phase stability of the output power of the klystron plays an important role to the stability of the beam energy of the linac. The phase variation of the output power was measured by varying the cooling water temperature, an input power and klystron cathode voltage. This report describes the results of these phase measurements. We found the warming-up time of about two hours was necessary to obtain the good phase stability. Also we found the regulation of the klystron temperature cooling water was important for the phase stability.

KEKB ライナック大電力クライストロンの位相変動測定

1.はじめに

高エネルギー加速器研究機構 (KEK) における KEKB ライナックでは、8.0GeV のビームエネルギーを目指すために約 60 台の大電力クライストロン (周波数 2856MHz, 運転最大尖頭出力 46MW, RF パルス幅 4  $\mu$  S, 繰り返し 25~50pps) を使用する予定である [1,2]。ライナックの安定な動作にとっては、言うまでもなくマイクロ波源、特にその位相の安定は重要である。実際多くのライナックでは、ビームのエネルギー幅を小さくし、エネルギー変動を最少限にする為にクライストロンの位相変動は 0.8° ~ 0.6° 以下を目指している。最近ライナックのビームエネルギー変動が大きくなったことがあり、それはクライストロンの冷却水の水温変動による位相変動も原因の一つであると結論された。これを契機にクライストロンの位相の変動を、いろいろなパラメーターの変化のもとで測定する事にし、トロンボーン型移相器と、ダブルバランスミキサーを組み合わせた位相測定装置を製造した。今回は、印加電圧、冷却水温度、入力の変化に伴うクライストロンの位相の変化を、クライストロンへの入力波形

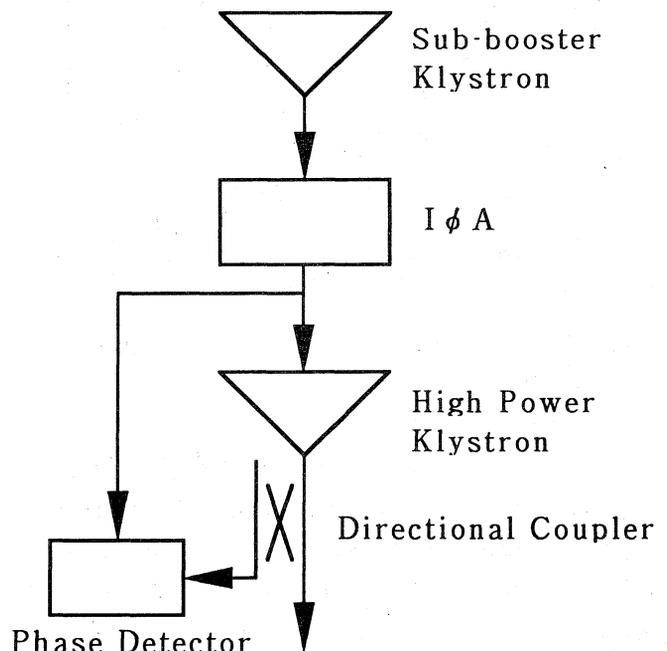


図1 位相測定の概略

と、クライストロンの RF 出力波形を比較すること

によって測定したので、それについて報告する。位相測定全体の構成は図1に示す。ここでは入力位相変動を打ち消すために大電力クライストロンの励振入力と出力を比較している。

## 2. 測定結果

### 1) クライストロンの位相の安定

図2にクライストロンのヒーターを通电してからの時間とクライストロンの位相の関係を示す。これは印加電圧約300kV、出力46MWの条件のもとで行った測定である。ヒーターを通电してから位相が安定するまで約2時間かかっている。またその際の位相の変化は約20°となっている。これは諸々の装置(電磁石、クライストロン窓、ダミーロード、入力ケーブルなど)の温度の安定化と関係があると思われるが、今のところ詳細は不明である。加速器の運転の際はヒーターを通电してから十分な時間(2時間以上)たってから運転する事が望ましい。

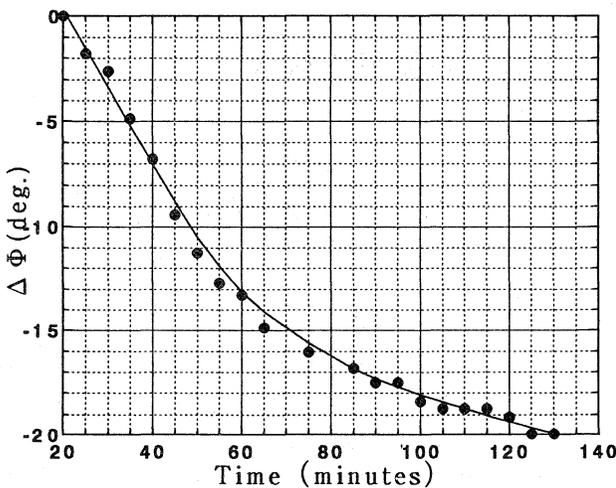


図2 クライストロンヒーターオンからの時間と位相の変化

### 2) クライストロンの冷却水温度と位相

図3にクライストロンの冷却水温度と位相の関係を示す。印加電圧及び出力は上記と同じで値である。通常テストベンチにおいては、冷却水温度は24℃に設定されている。ここではその設定値を19℃から29℃の間で、24℃を基準として2.5℃毎に設定し、30分(温度が安定となるまでの時間)経過したところで位相の変化を測定した。位相の変化率は約0.8°/℃であり、この値は我々の仕様(1°/℃)を満足す

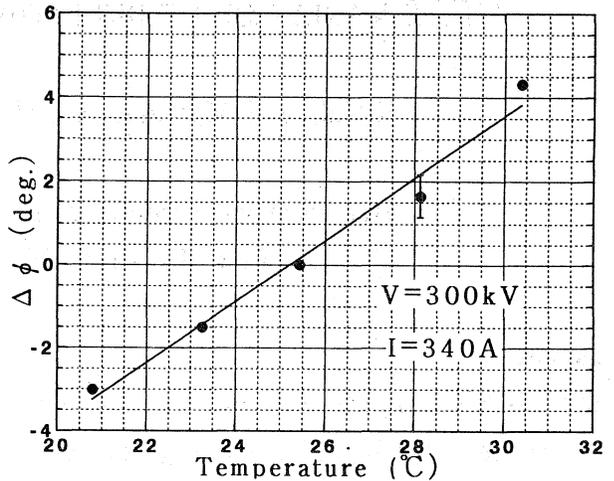


図3 クライストロン冷却水の入水温度と位相の変化

るものであるが、ライナックのビーム安定性からは温度の変化は0.6℃以下(位相にして0.5以下)におさえなければならない。銅の膨張率を $3 \times 10^{-6}$ 、ドリフト管長(第一空洞から出力空洞迄の距離)を約40cmとすると、冷却水温度が5℃上がった時のドリフト管長の伸びの計算値は、 $1.2 \mu\text{m}$ であり、それによる位相の変化は、たかだか $1.02 \times 10^{-3}$ となる。この様に位相の変化はドリフト管の伸びだけでは説明がつかず、入力空洞から出力空洞の電気長の変化よりも各空洞の温度変化による離調効果が大きいと推測される。

### 3) クライストロンの印加電圧と位相 [3]

図4にクライストロンの印加電圧と位相の変化の関係を示す。

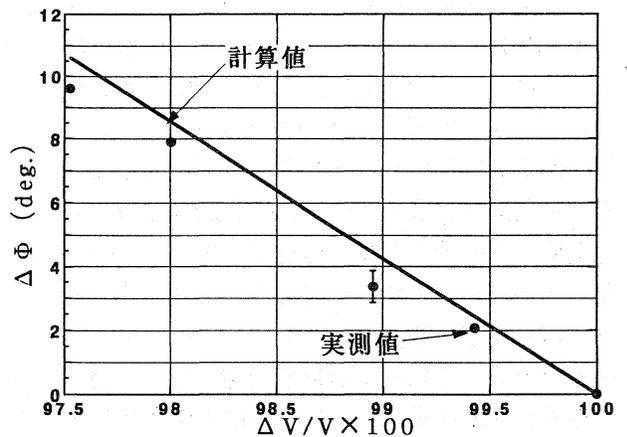


図4 印加電圧の変化率と位相の変化 (V=300kV)

実線は、ドリフト管長約 40cm, 周波数 2856MHz としたときの計算値である。これは印加電圧の変化により、ビームの速度が変わり、出力空洞への到達時間が変わることが原因であり、実測 (300kV 近辺で  $4.2^\circ / \Delta V/V(\%)$ ) とよく合う。

#### 4) クライストロンの印加電圧と位相

図 5 にクライストロン入力と位相の変化の関係を示す。印加電圧は約 300kV である。このクライストロンでは、入力約 270W が出力電力の飽和点であるが、その近辺では位相の変動が滑らかであるが、なお変化していることがわかる。

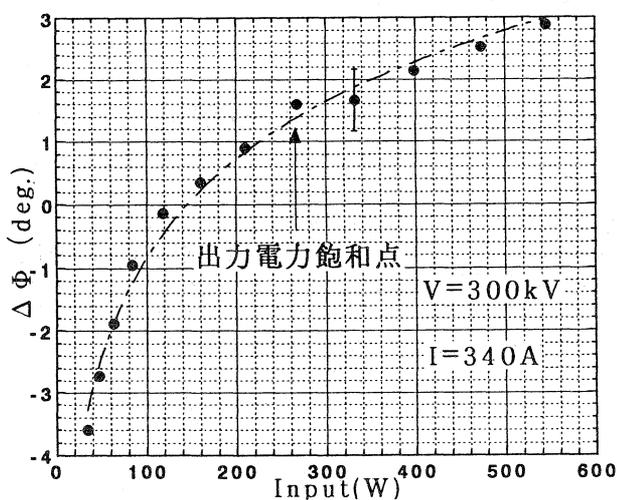


図 5 クライストロン励振入力の変化と位相の変化

### 3.まとめ

測定結果から、クライストロンの位相が安定するまでには2時間程度かかる事がわかり、この点に注意してウォームアップすべきである。運転の際にはクライストロン本体に限らず、電磁石や導波管などの冷却も、クライストロンのヒーター通電の十分前 (2時間以上前) から行うことが望ましい。

またクライストロンの冷却水の温度制御が重要であることがわかった。クライストロンの冷却水の温度制御は、加速管に比べその重要性が認識されていないがその影響は意外と大きいので注意する必要がある。電圧の変化に対する位相の変化は、よく知られる通り計算値とほぼ一致する結果が得られた。これは PFN 調整を行う目安となり、KEKB ライナックでは、電圧のパルス内平坦度を 0.3% 以下

にしている。一方励振入力レベルによっても位相変動が起こる事がわかった。この点については引き続き調べる必要がある。

線形加速器の RF 源としては、位相の安定度は最も重要な要素であるので、位相測定は単に RF 出力波形を監視するのに比べて非常に有効である。また不安定な動作などが観測される場合は、クライストロンの調整、診断に非常に有効である [4]。今後は定常的にクライストロンのテストに位相測定も並用して行く予定である。

### 謝辞

今回測定にあたり、三菱電機通信機製作所の林和孝氏、松崎法生氏に御協力を頂き感謝致します。

### References

- [1] 放射光入射器増強計画、KEK Report 95-18(1995)
- [2] A. Enomoto, "Upgrade to the 8-GeV Electron Linac for KEKB", Proceedings of the XVIII Int. Linear Acc. Conf. pp.633-637(1996)
- [3] Linear Accelerators, ed. by P. Lapostolle and A. Septier, North-Holland, Amsterdam (1970)
- [4] T. Matsumoto et. al., "Phase Measurements to Tune KEKB 60kW Driver Klystron", presented in this meeting.