

## KEK陽子ライナックのRF特性

高エネルギー物理学研究所

加藤隆夫, 伊藤清,

稲垣慈見, 久保田親, 高崎栄一, 高木昭,

竹中にてる, 寺山義廣, 福本貞義, 森義治

## § 1. 序

KEK 20 MeV 陽子ライナックは、12 GeV シンクロトロンの前段加速器として、130 ~ 160 mA のビームを安定に供給している。1979年度の通算運転時間 3650 時間のうち、故障でシステムダウンした時間は 0.6% の 23 時間にすぎず、順調な運転状況といえる。

電源類を改造していること、保守のしやすい形に部品を作りかえていること、電子管を定期的に交換することなどが効果を表わしていると思われる。

故障率の経年変化を Fig. 1 に示す。

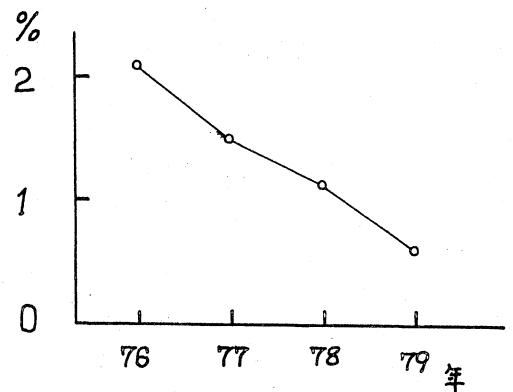


Fig. 1 Linac down-times in % of total operating hours.

## § 2. Transient field の位相特性

normal mode analysis<sup>(1)</sup> によって、linac tank の transient な振舞は解明されている。その結果、KEK linac は higher order mode (h.o.m) を打消すことを目標のひとつにし、double feed 方式 ( $Z = 1/4 L$  及び  $Z = 3/4 L$  から給電,  $L = \text{tank 長}$ ) を採用している。その効果を impedance 測定によって見たものは以前に報告されているが、<sup>(2)</sup> 今回 transient の phase を測定したので、Fig. 2 ~ Fig. 5 にその様子を示す。Fig. 2 は、one feed の場合に見られる tank ( $Z \approx L$ ) とマスターオシレータとの位相差である。TM<sub>010</sub> (201.08 MHz) と TM<sub>011</sub> (201.28 MHz) の beat frequency に相当する 5  $\mu\text{sec}$  の振動が見える。

double feed の場合を Fig. 3 に示す。h.o.m が抑圧されている様子がわかる。Fig. 4 と 5 に、 $Z \approx 0.3 L$  と  $Z \approx L$  の 2 夾間の位相差を one feed 及び double feed の場合について示す。

## § 3. Beam loading による tank の rf phase shift

Beam loading により rf level と phase が変化することは良く知ら

れている。KEK linacでは、rf amplitude compensationと detuning とを併用して、通常の運転においてはほぼ満足のゆく補償がなされていると思われる。しかし beam pulse が長い場合には、pulse 内で energy の広がりが変わるという測定結果がある<sup>(3)</sup>。その原因として 1) amplitude compensation の不完全さ、2) tank の phase shift、3) debuncher の beam loading、等が考えられる。

120 mA で 4  $\mu$ sec の beam の時、induced field は  $\sim 2.7 \times 10^5$  V/m となり、 $\theta_s \sim -30^\circ$  とすれば生じる phase shift は  $\sim 4^\circ$  である。これは、tank level が 4% 減少するのと等価であり、beam loading による tank level の減少が  $\sim 8\%$  であることを考えあわせると、かなり大きな shift 量といえる。Fig. 6 に測定した phase shift を示す。shift 量は  $\sim 3^\circ$  で計算とはほぼ一致している。rf amplitude compensation がある時の phase shift を Fig. 7 と 8 に示す。amplitude compensation により tank の phase は  $\sim 4^\circ$  変化し、そこに beam induced phase shift が重畳される様子がわかる。Fig. 6 ~ 8 には h.o.m mode の励起を示す 5  $\mu$ sec の beat が見えているが、Fig. 9 ではこの beat が見えない。これは測定点が tank のほぼ中央であって TM<sub>011</sub> mode の node にあたるとの理由と思われる。Fig. 10 と 11 に normal mode 理論を用いて計算した beam induced phase shift を示す。計算には h.o.m として TM<sub>011</sub> のみとり入れ、又 beam induced field  $E_{010}$ 、 $E_{011}$  と既存の field  $E_0$  の比として、 $E_{010}/E_0 = 0.15$ 、 $E_{011}/E_0 = 0.01$  を用いている。

#### §4. スペクトラムアナライザーによる beam loading の観測

ライナックの tank 内の beam による rf field を調べるために、スペクトラムアナライザーの使用を試みた。その結果として、多くの higher mode resonances が励起されることが解った。特に KEK ライナックの場合、double feed 方式により TM<sub>011</sub> mode もかなり押えられているが、beam によって誘起される mode は、TM<sub>016</sub> まで確認された。Fig. 12 に TM<sub>011</sub> mode の amplitude の tank 内の分布を示す。この図では、TM<sub>010</sub> mode が tank 内で 0 dB になるように規格化されている。これはスペクトラムアナライザーを real time mode にして測定した。又、スペアナのバンドパスの特性を調べ、beat frequency の測定を行なった。結果は Fig. 13 に示されている。この図において初めの小さい beat は compensation によるものであり、次のものは beam による beat である。rf power off 時での beat も見ることが

できる。 phase shift の beat への、 higher mode の寄与も測定できた。

phase shift、 amplitude の測定に加えて、 スペクトラムアナライザーの使用は、各 mode について色々の情報が得られるので normal mode analysis の研究に役立つと思われる。

### §5. Debuncher の phase compensation の試み

ライナック出口での  $\Delta E/E \sim \pm 1\%$  は、 debuncher によって  $\pm 0.3\%$  まで改善されるが、 long beam pulse の場合には、 pulse 内の前半と後半で energy の広がり異なる点が目撃されている<sup>(3)</sup>。そこで beam loading による debuncher の phase shift にも注目した。 Fig. 14 に debuncher の phase shift を示す。約  $10^\circ$  の phase shift が見られる。 field level の変化を無視して考えると、この shift は pulse の後半部の  $\Delta E$  を約 3% 増加させる。 Fig. 15 に debuncher の phase compensation のブロック図を示す。

Fig. 16 に phase compensation の結果を示す。 beam loading による phase shift を打ち消すように debuncher 内の phase を変化させた結果 (Fig. 16-a)、 beam pulse 内の phase shift を  $1.5^\circ$  以内におさめることができた。(Fig. 16-b) この時、後段加速器のブースターで見た energy の広がり、若干小さくなった。

本実験は全く preliminary なものであるため、 debuncher の phase compensation の問題には、今後の検討と実験が必要と思われる。

### 文献

- 1) T. Nishikawa, BNL Accelerator Dept. Internal Report AADD-87 (1965)
- 2) J. Tanaka, KEK 75-2 (1975) 61
- 3) 田中治郎他, リニアック技術研究会報告集 (1976) 54

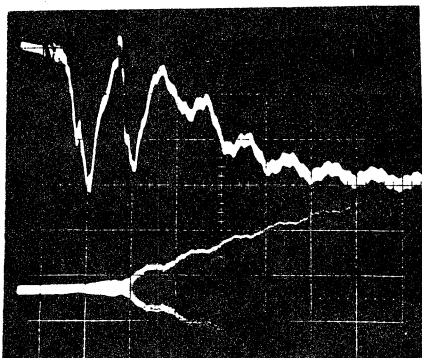


Fig. 2 Transient phase shift between  $z=L$  and master oscillator (one feed).

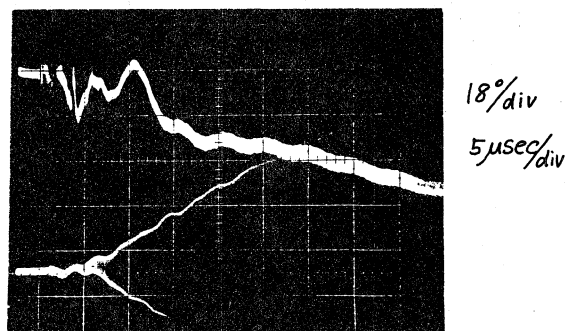


Fig. 3 Transient phase shift between  $z=L$  and master oscillator (double feed).

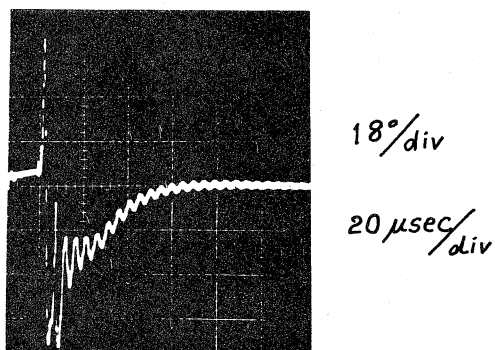


Fig. 4 Transient phase shift between  $z=0.3L$  and  $z=L$  (one feed).

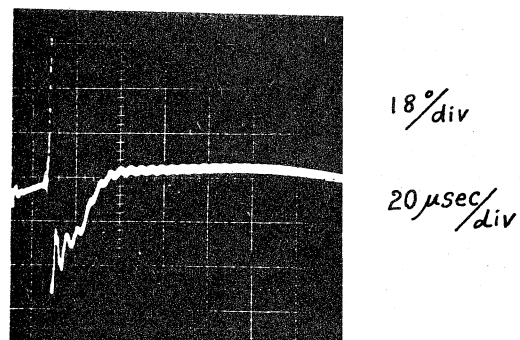


Fig. 5 Transient phase shift between  $z=0.3L$  and  $z=L$  (double feed).

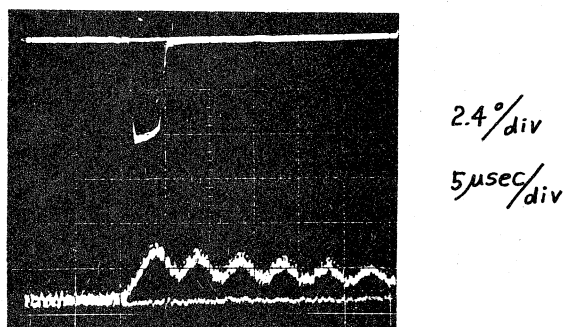


Fig. 6 Transient phase shift due to beam loading between  $z=L$  and master oscillator. Upper trace is linac beam pulse ( $\sim 140\text{mA}$ ).

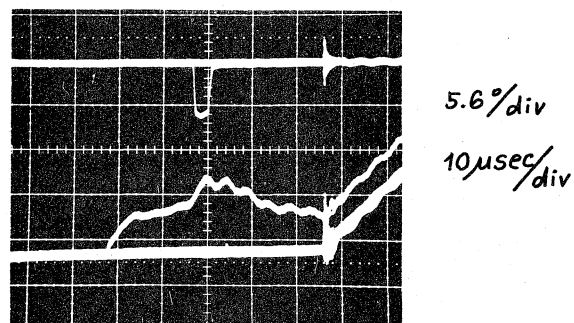


Fig. 7 Transient phase shift due to amplitude compensation and beam loading measured at  $z=0.8L$ .

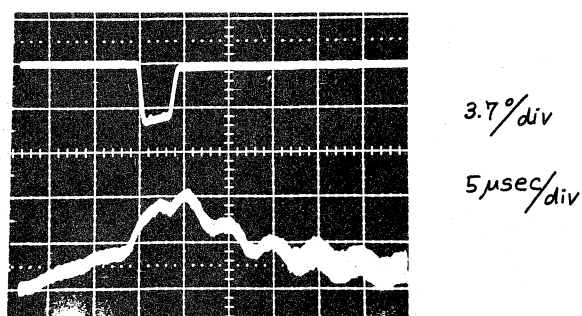


Fig. 8 Transient phase shift due to amplitude compensation and beam loading measured at  $z=0.2L$ .

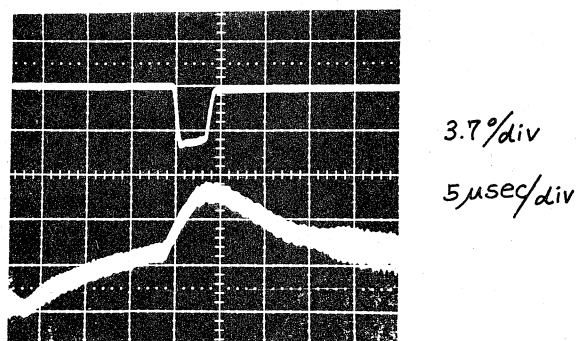


Fig. 9 Transient phase shift due to amplitude compensation and beam loading measured at center of tank.

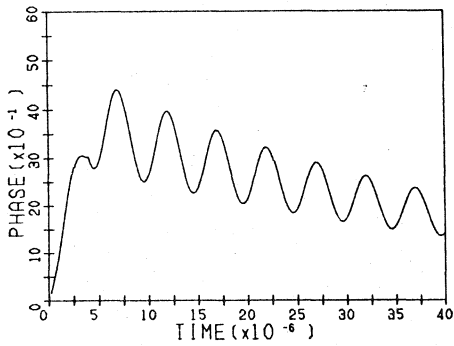


Fig.10 Calculated phase shift at  $z=L$  due to beam loading.

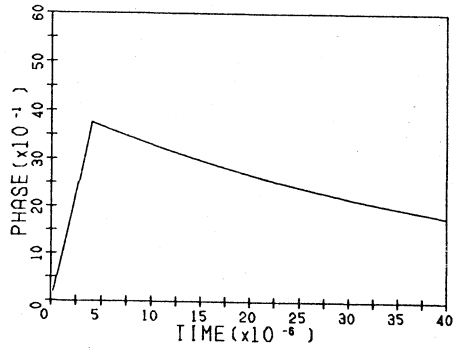


Fig.11 Calculated phase shift at  $z=L/2$  due to beam loading.

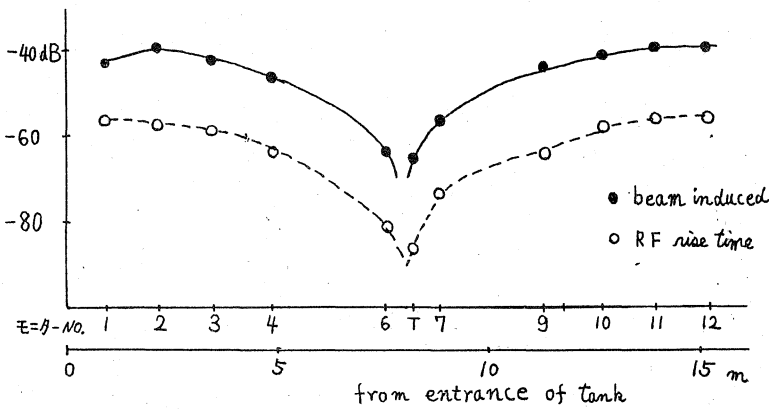


Fig.12  $TM_{011}$  mode induced by beam and RF power.

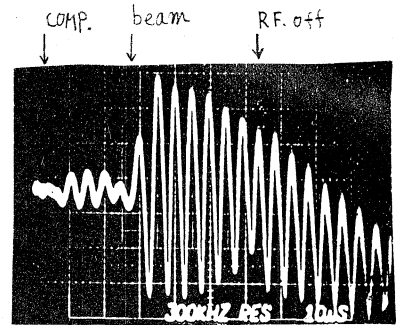


Fig.13 Beat frequency.

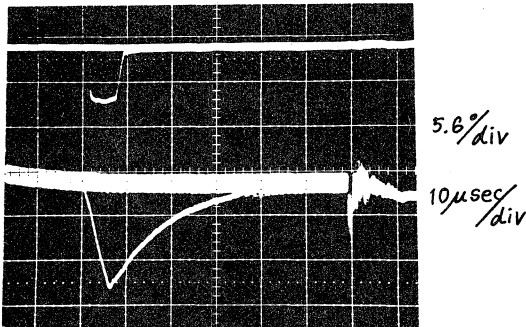


Fig.14 Phase shift of debuncher rf field due to beam loading.

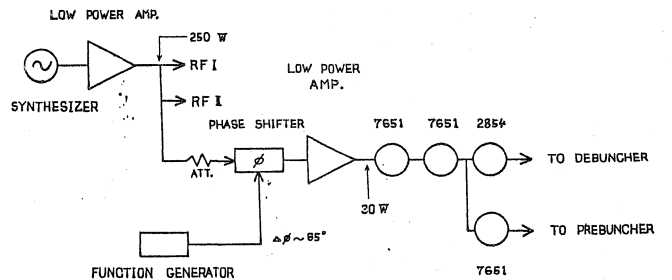
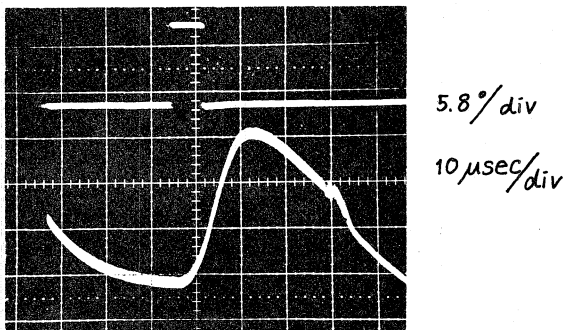
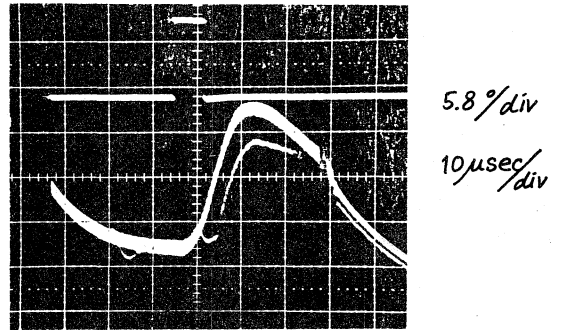


Fig.15 Blockdiagram of phase compensation of debuncher.



(a) Fig.16 Results of phase compensation of debuncher. Upper trace is drive voltage of phase shifter.



(b)

(with phase compensation and without beam) (with phase compensation and with beam)