

THE PHASING IN PF LINAC

Y. Saito, S. Anami, S. Fukuda, T. Shidara, H. Honma, K. Nakao, J. Tanaka
National Laboratory for High Energy Physics

ABSTRACT

In PF Linac the phasing by the beam induction method was carried out. The phase difference of the beam-induced field and the acceleration field fed by the klystron in the accelerator guide was measured by the hybrid-type phase detector. After the phasing, the electron beam energy increased by 1.4%, compared with that obtained by the phasing of the beam loading method.

I. 緒言

線形加速器に於いて最適電子加速条件は、各加速管内でクライストロンからの高周波加速電場の波頭に、バンチされた電子を載せることである (PHASING)。今回 PF Linac では、電子ビームにより加速管内に誘起される高周波電場 (Induced RF, 2856 MHz) の位相に注目する Beam Induction 法により phasing を行なった。この際には Induced RF とクライストロンからの高周波電場 (Kly. RF, 2856 MHz) の位相差が加速管内で 180° になることが phasing 条件となる。この結果、今までの Beam Loading 法によるよりも精度が上がり電子ビームのエネルギーが 1.4% 増加した。

II. PHASING の方法

図 1 に示すように、加速管内の RF の一部を加速管出口の方向性結合器から取出し phasing system の signal 側に入力する。又、位相検出のための参照波 (Ref. RF, 2856 MHz, CW) はサブブースターから分岐し、phasing system の reference 側に接続する。これらの伝送には、位相安定化ケーブルを用いている。以下 phasing の方法を順を追って簡単に述べる。

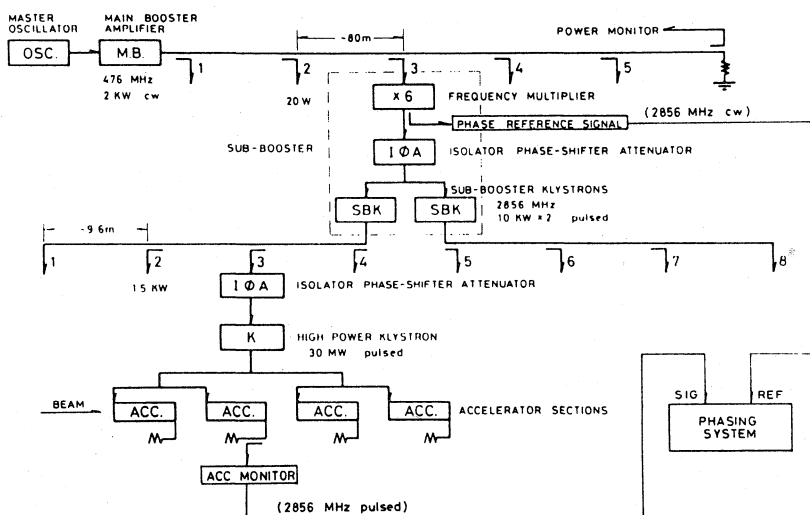
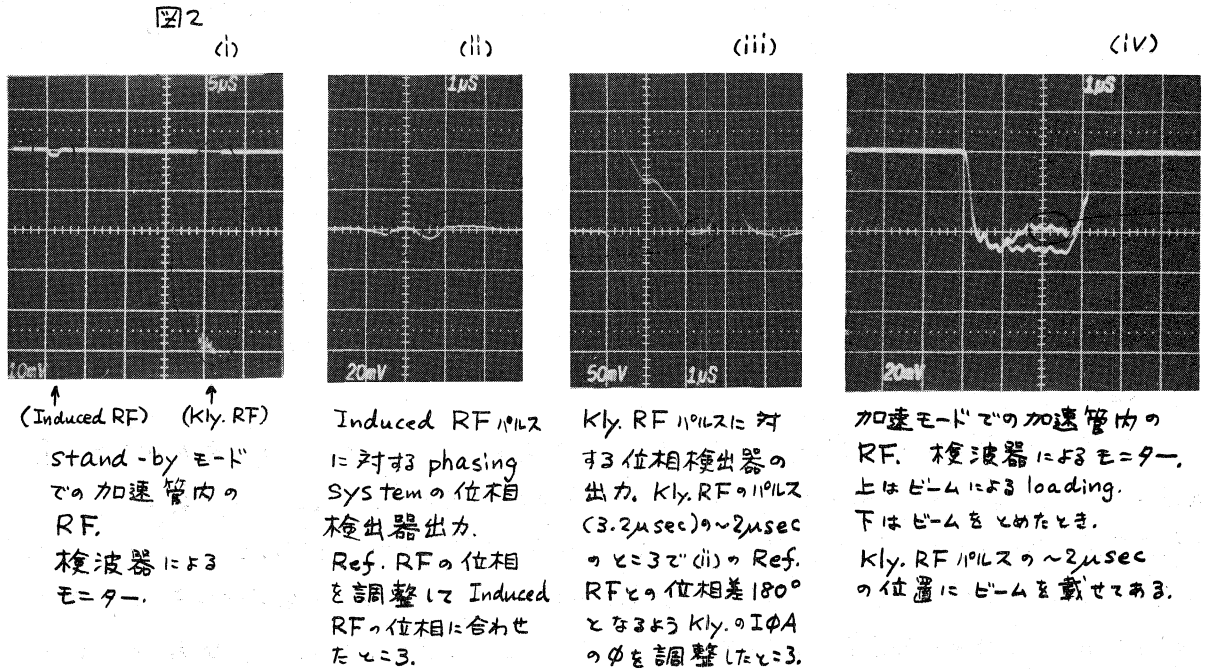


図 1. RF DRIVE 系統と PHASING SYSTEM

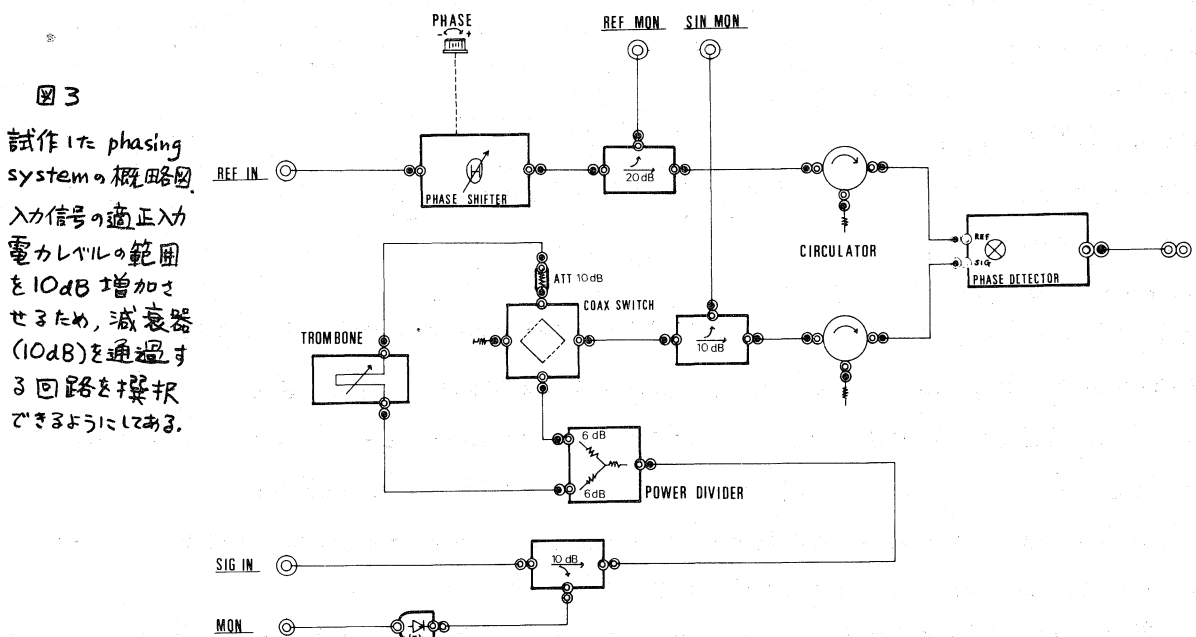
- 1) phasing を行なう加速ユニットのクライストロンを stand-by モードにする。このとき Kly. RF パルスは、電子ビームのパルスに対して $\sim 20 \mu\text{sec}$ 遅れた状態となる。(図 2-(i))
- 2) Induced RF と Ref. RF の位相差を調べ、phasing system 中の phase shifter により Ref. RF の位相を Induced RF の位相に一致させる。(図 2-(ii))
- 3) 次に Kly. RF の加速管内の位相が、2) で合わせた Ref. RF の位相に対してその差が 180° になるように、クライストロンの IΦA の phase shifter で調整する。(図 2-(iii))

4)最後にクライストロンを stand-by モードから 加速モードにし, 電子ビームパルスと Kly. RF パルス
を同期状態にもどす. (図2-(iv))



III. PHASING SYSTEM の特性

図3に今回試作した phasing system の概略図を示す. この中で用いられている位相検出器(日本高周波(株))はハイブリッド型である. ハイブリッド型の位相検出器の出力 δV は一般に, 振中 E_{sig} (入力信号), E_{ref} (参照波), 位相 ϕ_{sig} , ϕ_{ref} の2つの RF を入力したとき,



$$\delta V = \left(E_{sig}^2 + E_{ref}^2 + 2E_{sig}E_{ref}\cos\phi \right)^{n/2} - \left(E_{sig}^2 + E_{ref}^2 - 2E_{sig}E_{ref}\cos\phi \right)^{n/2}$$

$\phi = \phi_{sig} - \phi_{ref}$, n は 検波器の検波特性

で表わされる。図4に Ref. RF 10mW に於ける実際に測定された結果を示す。図から入力信号レベル 30dB の範囲で $\delta V=0$ の位相確度 $\Delta\phi$ は 1° 以内、 $\delta V=0$ の感度は $0.3 \sim 5mV/1^\circ$ である。加速管内での Induced RF と Kly. RF の電力比は、電子ビーム 80mA で十数dB であるが電流値が更に小さいと 20~30dB となる。従って位相検出器は、適正な入力信号電力の範囲として少なくとも $30dB$ 以上が要求されるが今回試作したものはこれを満たしている。(減衰器通過回路を用いれば $40dB$ を得られる。)

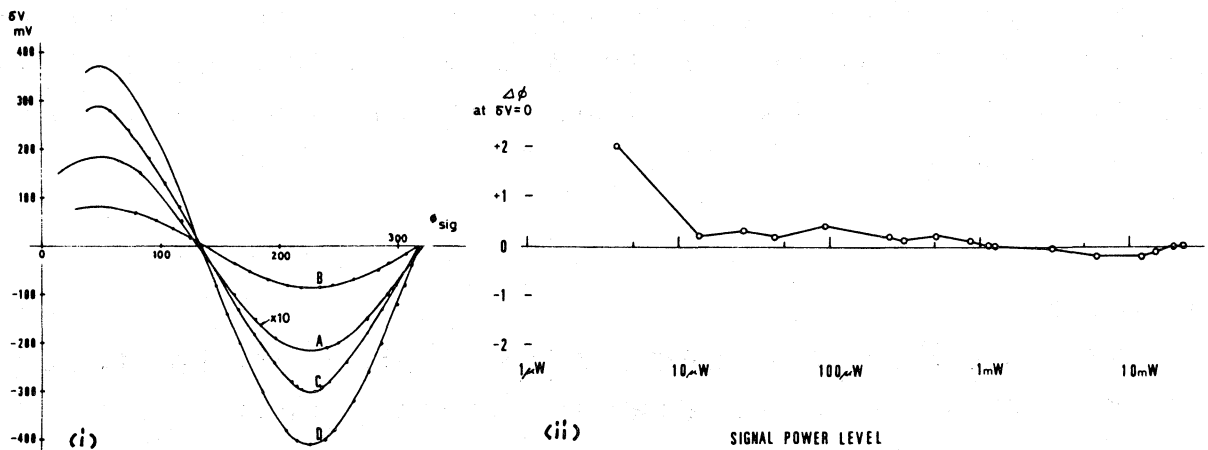
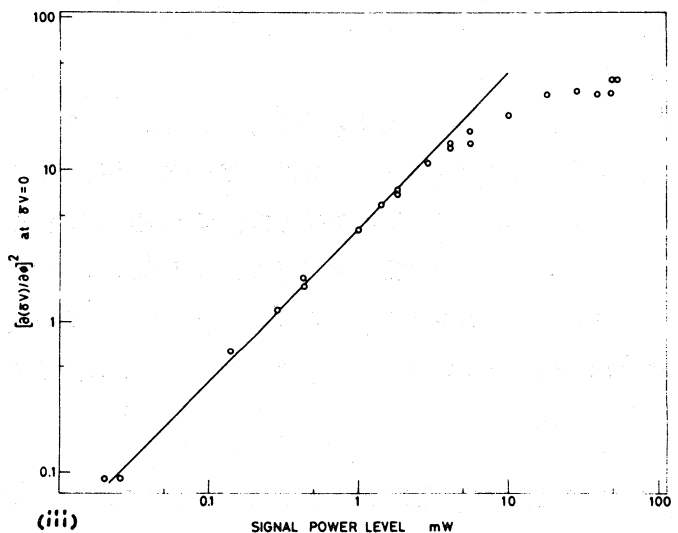


図4

- (i) $\delta V - \phi_{sig}$. 入力信号電力は
A: $25\mu W$, B: $420\mu W$,
C: $5.6mW$, D: $50mW$.
- (ii) $\delta V=0$ の位相確度 $\Delta\phi$.
- (iii) $\delta V=0$ の感度. 縦軸は感度の自乗, 横軸は入力信号電力 ($\propto E_{sig}^2$) でプロット. $\sim 3mW$ までは感度 $\propto E_{sig}$, $10mW$ 以上で感度 $\propto E_{sig}^2$ の傾向があるが, これは上の式に於いて $n=1$ (Ref. RF = $10mW$ なので $n=2$ の範囲を越えている) とし, $E_{sig} \ll E_{ref}$, $E_{sig} \gg E_{ref}$ とした各場合に対応する.



IV. PHASING 結果

II. で述べた 1)~4) の順序で, 40 ユニットのクライストロンに対して phasing を行った結果, 予めの Beam Loading 法により phasing をしていた状態に比べ, 電子ビーム ($40.7mA$) のエネルギーが $2.477 GeV \rightarrow 2.511 GeV$ に 1.4% 増加した。Beam Loading 法では位相を一致させる点で感度が最低となり $\sim 15^\circ/mV$ であったのに対し, 今回の Beam Induction 法では逆に感度最大となり $\sim 1^\circ/mV$ で phasing ができたので精度が上がり, Kly. RF の位相がより適切に制御された。