

1 NS リニアックに於けるビーム負荷効果

新井重昭 東條栄喜 吉田勝英 東大原子核研究所

1 NS linac は 1.3 GeV electron synchrotron の入射器で、表-1 に示すような性能を持っている。この linac の運転特性で興味深い事は、ビーム負荷の強さに応じて、200 kHz ~ 400 kHz 設計周波数より高い周波数で運転した方が linac の energy gain, capture efficiency それに energy spectrum が良くなる事である。我々の linac は3段の buncher section (3 波長) と4段の regular section (17 波長) からできていて、構造が複雑な為、どういったメカニズムでこのような周波数特性を示すのか、直接的には解明しにくい。そこで、これらの現象を解明する為、6 cavity からなる進行波 type の加速管に、1 NS linac で加速された bunched beam を通して、進行波 type の linac に於ける beam 負荷効果が調べられた。この実験では、1 NS linac 本体では不可能な、beam 負荷の状態を、テスト管に入る、RF の位相を自由に覚えて作り出し、その時の、加速 field の振幅変化、位相変化、それに、その位相変化を打消す為の周波数の変化量が測定された。同時にこれらの beam 負荷効果の中で重要な役割を演じる beam induced field の量も測定された。実験の set-up は Fig-1 に示されている。テスト管には bunched beam と同期させる為、1 NS linac の RF system の中の T.W.T. 増幅管の出力を 3 dB の方向性結合器で分けて供給している。テスト管に入る RF power は約 8 watt である。beam 負荷による位相変化は、テスト管の input RF と output RF の二つの波のベクトル和の最小値を基準にして、phase shifter で測られる。テスト加速管の加速有効長は $l = 21.7 \text{ cm}$, peak shunt impedance は $r/d = 50.8 \Omega/\text{cm}$ として group velocity は $v_g/c = 8 \times 10^{-3}$ である。加速 mode は $\frac{2}{3}\pi$ mode で共振周波数は $f_0 = 2758.0 \text{ MHz}$ (at 30°C) と 1 NS linac と同じである。テスト加速管の RF coupler は „door-knob” type で、V.S.W.R. が 1.1 以下の帯域が 2 MHz 以上ある。

測定に入る前には、テスト管が進行波加速管として正常に働いている事が、次の二つの現象によって確認された。1) テスト加速管に外部から RF power を供給せず、beam を通した時、beam induced field の forward wave と backward wave の比が 22 dB 以上ある。2) テスト管の出口側から RF を供給した時、beam は加速も減速も受けない。

以上のような実験準備の後、得られた結果が Fig-2, Fig-3, Fig-4 にそれぞれ示されている。Fig-2 の黒点は加速 field の beam 負荷による位相のずれを示し、白点は output RF power の変化を示している。line stretcher の値を output power が最小になる所に set した時、beam bunch は加速 field の crest に乗っている。そして、この crest から bunch がずれた時位相が大きく変化するのが分る。Fig-3 は、bunch が加速 field の番号で示した各位相に乗った時 beam 負荷によって加速 field の bunch に対する位相がずれるようにする為、周波数の

変化量を示している。これらの結果を見ると、reactive loading による加速管の detuning は、はっきり見えるが、resistive loading による detuning は、更に精度の良い実験をしないと、何とも言えない。

この実験を通じて確認された事は、INS linac の周波数特性は、beam の reactive な負荷によって引き起こされる detuning 効果であるということである。Fig-5 に示されている、INS linac の beam 負荷による位相のずれから分るように (ref. リニアック技術研究会報告集、東北大学核理工学研究所報告 Vol. 9, 1976)、INS linac の場合には、設計周波数で運転すると、beam は加速 field の頂上より遅れた位相に bunch される為、regular section では波と bunch の間の位相差がしたいに大きくなり、充分な加速が行なわれなくなる。このような効果を近似的に compensate する為に、運転周波数を上げて加速しているのである。以上のようなことから、bunching と加速を 1 本の加速管で行うような linac では、beam の性質を良くする為には、beam 負荷による detuning 効果を考慮に入れて設計しなければならない。

Table - 1 Specification of INS linac

Type of construction	semi constant gradient
Cavity number of buncher section	9 (3 step)
Cavity number of regular section	51 (4 step)
Accelerating mode	$2/3 \pi$
Frequency	2758.0 MHz (at 30°C)
Total voltage attenuation	0.45 neper
Filling time	0.5 μ sec
Input RF power	5 MW
Loaded beam energy at 100 mA	15 MeV
Beam pulse length	2 μ sec

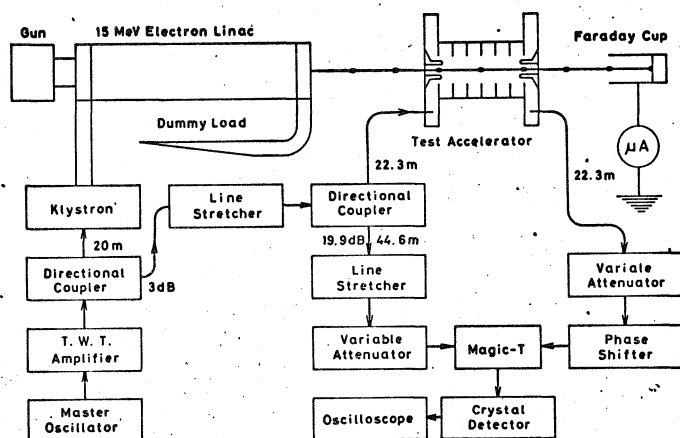


Fig-1

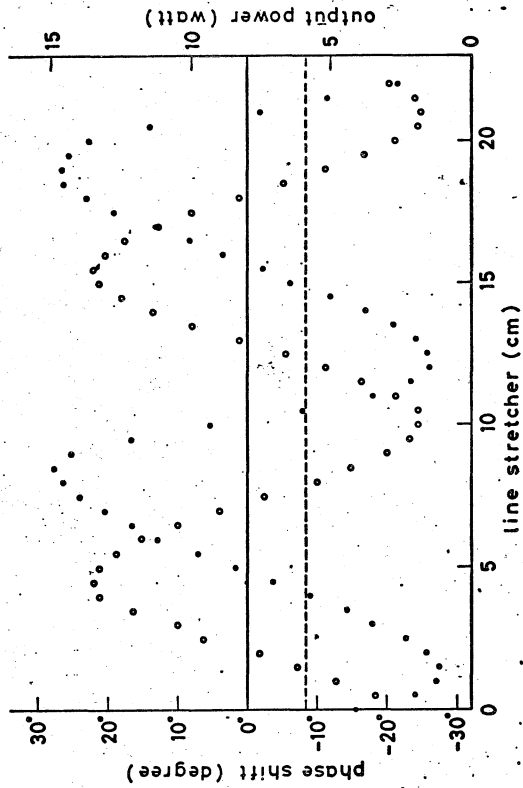


Fig-2

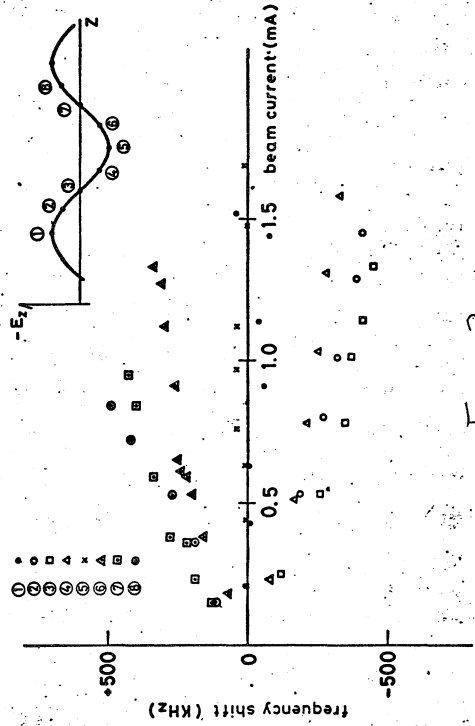


Fig-3

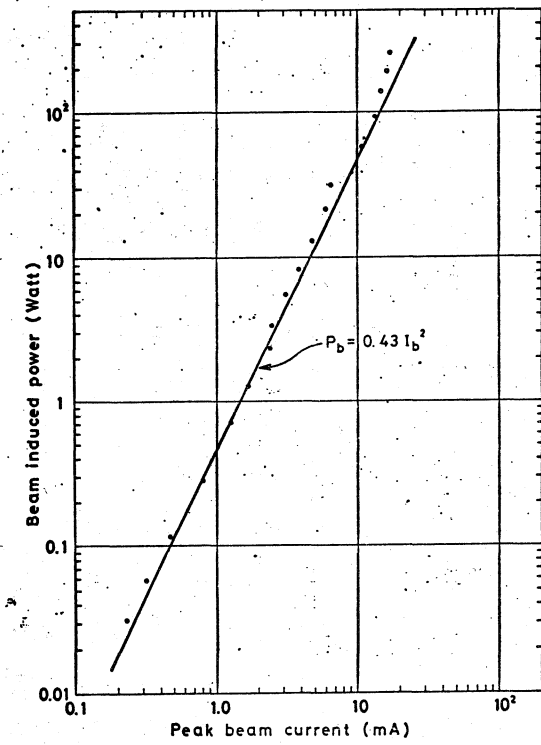


Fig-4

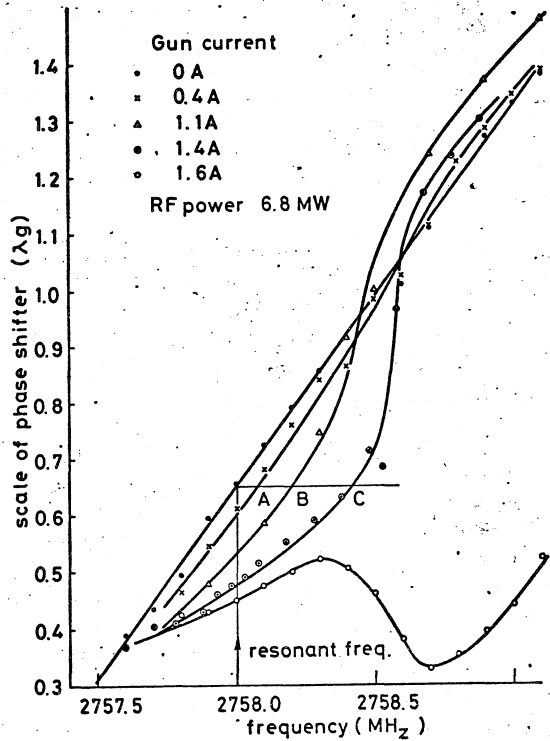


Fig-5