

MULTIPLE FREQUENCY ACCELERATING CAVITY

Makio OHKUBO

Division of Physics, Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Ibaraki-ken

Abstract

In a special shape of the accelerating cavity, the fundamental and its harmonic frequencies, of which modes are suitable for acceleration, resonate simultaneously. When the cavity is fed by the fundamental and suitably phased harmonic frequency sources (dual frequency driving), a large peak value of the superimposed accelerating field can be obtained. The shunt impedance is larger than that for any single frequency driving.

多重周波数加速空洞

1. 序文

リニアックの加速空洞共振器には、加速に有効な共振モードがいくつか存在するが、普通は周波数の低い基本モードを加速に用いる。加速用のRF電力は、高周波増幅管であるクライストロン等の出力に限界があるため、基本モードのみの電力では加速電界が不足する場合がある。これを克服する一つの方法として、高調波を取り入れた多重周波数空洞が考えられる。高調波はリニアックでは”厄介なもの”であるが、これを積極的に利用する多重周波数空洞は既に、広角度バンチャー（サイン波 \Leftrightarrow 鋸歯状波）、位相誤差の少ない加速電界の形成（サイン波 \Leftrightarrow 矩形波）等に提案され一部は利用されている。{1-3} ここでは高電界を得る一方法として考察する。結果として粒子バンチの周辺に加速電界を集中させる事になり、RF電力の節約になる。

2. 多重周波数加速空洞

第1図の円筒形空洞の場合、第1、第2モードの共振周波数の比は、2.29であり7/3に近い。加速空洞の形状を適当に選ぶと基本波共振周波数（F1）と高次モード共振周波数（F2）の比を簡単な整数比にすることができる。この空洞に2つの異なるクライストロンからのF1、F2の高周波電力を導入すると、空洞内の電界ベクトルは最小公倍周期ごとに方向が揃い、強い電界がえられる。

説明の簡単のため基本波と第2高調波をとる。

基本波、および第2高調波に共振する空洞に、高周波電源をから基本波、および第2高調波を印加し共振させる。空洞共振器内のZ方向の電界は、両モードの和になり次の様に表わされる。

$$E(t) = E_1 \cos \omega t + E_2 \cos (2\omega t + \phi) \quad (1)$$

E_1, E_2 は振幅、 ϕ は相互の位相であるが、 $\phi = 0$ となるように移相を調整する。

第2図に空洞共振器内のZ方向の電界の時間変化を示す。

加速すべき荷電 e の粒子が、速度 v でZ軸上を負の方から正の方向へ空洞共振器内に入射したとする。粒子が空洞共振器内で受けるエネルギー利得 G が最大になるように、粒子の入射時刻と高調波電界の位相を合わせると、次の様に表わされる。

$$G = a E_1 \cdot T(\theta) + a E_2 \cdot T(2\theta) \quad (2)$$

ここに a は空洞の長さ、 $a E_1$, $a E_2$ は空洞のZ方向にかかっている各モードの最高電圧、 T は、通過時間因子であり次式で表わされる。

$$T(\theta) = \sin \theta / \theta, \quad \theta = \omega a / 2 v \quad (3)$$

エネルギー利得 G は E_1 , E_2 の一次式であり、係数は定数である。

一方、空洞共振器内に蓄えられた高周波電磁エネルギー U は各モードのエネルギーの和になり、 E_1 , E_2 の二次式であり係数は定数である。即ち

$$U = U_1 + U_2 = p E_1^2 + q E_2^2 \quad \dots \dots \dots (4)$$

第3図に示すように、 E_1 , E_2 を直交座標軸とする平面上で、 G を一定にする軌跡は直線であり、また U を一定にする軌跡は楕円である。ある定まった G を得るのに、 E_1 , E_2 の組み合わせのうち、直線 G と楕円 U との接点 A に於いて、必要とする電磁エネルギーは最小になる。これは空洞共振器を単一周波数励振により必要な加速エネルギー利得をうるよりも、二重周波数を用いた方が全体の電磁エネルギーが少なくすむ事を示している(通過時間因子を1として良い理想的な場合は $1/2$ になる)。従って総合シャント・インピーダンスも高い。

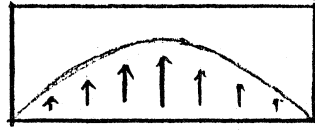
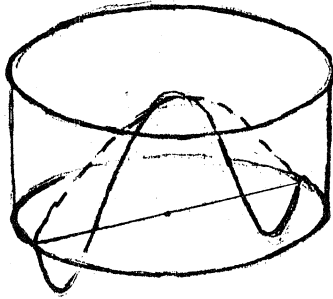
3. 議論

同様な議論をモードが N 個の場合に拡張すると、一定の加速に必要な全電磁エネルギーは(通過時間因子を1として良い理想的な場合)、単一周波数励振の場合に比べ $1/N$ になる。この理由は、高調波を組み合わせることによりパンチの周辺にのみ加速電界を集中させたこと、によっている。これは単一周波数を用いている現今の加速器空洞とは対照的である。

進行波型加速管の多重周波化については、すべての高調波の位相速度を一致させねばならないので、実際にどうするのか今後の研究課題である。

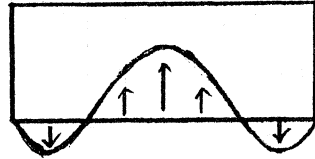
- 1) F.J.Lynch, R.N.Lewis, L.M. Bollinger, W.Henning, and O.D.Despe: Nucl.Instr.Methods 159 (1979) 245
- 2) S.O.Schriber and D.A. Swenson: LAUR-79-686, IEEE trans NS-26, 3705(1979)
- 3) C.E. Hess, H.A.Schwettman and T.I.Smith: IEEE trans,NS-32, 2924 (1985)

← D →



$TM_{010} \quad f_1 = \frac{c \cdot J_{01}}{\pi D}$

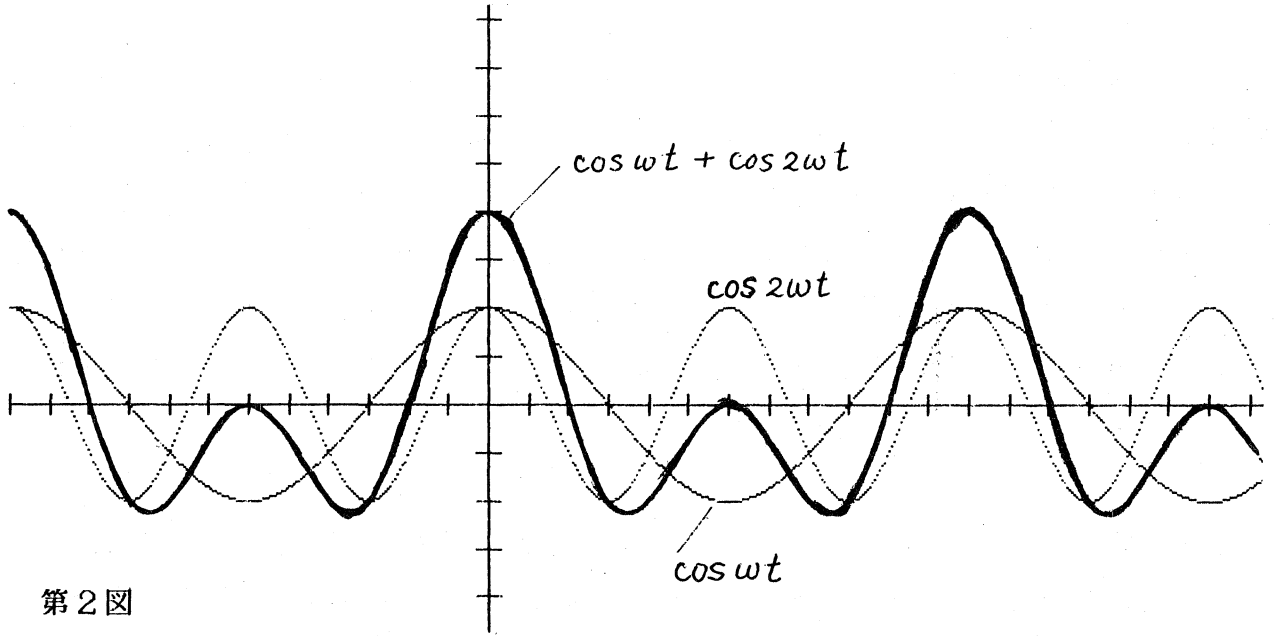
$J_{01} = 2.405$



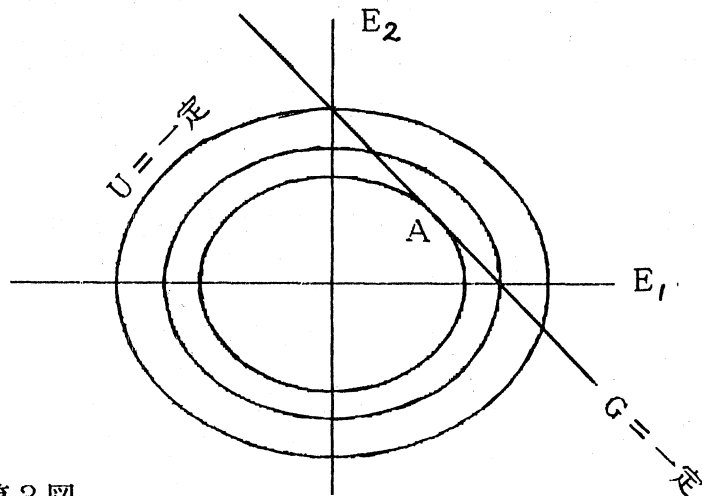
$TM_{020} \quad f_2 = \frac{c \cdot J_{02}}{\pi D}$

$J_{02} = 5.500$

第1图



第2图



第3图