

Kohei Furuno

Institute of Physics, The University of Tsukuba

ABSTRACT: Inductive coupling loops for the accelerating cavity of the interdigital-H type have been examined from the point of the impedance matching. Brief discussions are given on the matching by means of a simple loop without any capacitance, the series resonance method and the parallel resonance circuit.

## 重イオンリニアックに於ける高周波導入ループ

この報告ではインターデジタル型の重イオン後段加速器(リニアック)に高周波電力を導入する誘導結合ループと、インピーダンス整合について考察する。以下では、共振器と給電線との結合係が、集中定数による等価回路で表されるものと仮定する。現在稼動しているタンデム型静電加速器の後段加速器の場合、イオン速度が遅いので周波数が100 MHz 付近となるから、等価回路は充分良い近似と考えられる。

## 1. 結合ループのみの場合

図-1 に共振器と給電線との結合系の等価回路を示す。入力インピーダンスは

$$Z_{in} = j\omega L_a + \frac{k}{1 + jQ_0 \left( \frac{\omega}{\omega_R} - \frac{\omega_R}{\omega} \right)} \quad (1)$$

で与えられる。ここで  $L_a$  はループの自己インダクタンス、 $Q_0$  は無負荷  $Q$ 、 $\omega$  および  $\omega_R$  はそれぞれ高周波電源及び共振器の固有角周波数である ( $\omega_R = 1/\sqrt{LC}$ )。

以下  $\omega$  を単に周波数と呼ぶことにする。第2項の分子は  $k = \omega^2 M^2 / r^2$  であり、 $M$  は相互インダクタンスを、また  $\gamma$  は共振器内の損失を表す。

明らかに  $\omega = \omega_R$  で整合は起こらない。しかし、電源の周波数を固有周波数から僅かにずらすと、第2項から負のリアクタンスが生じ、これによってリアクタンス  $\omega L_a$  を打ち消すことができる。たとえば  $Q_0 = 2 \times 10^4$ 、 $f = 100$  MHz、 $L_a = 150$  nH とすると、周波数のずれは  $10^{-4} \sim 10^{-5}$  となることがわかる。実数部は  $Q_0$  と  $k$  および周波数のずれから決まるが、 $k$  の値は  $M$  すなわちループの面積によって変わり、このためにはループを共振

器の中で回転させてループを貫く磁束を変化させればよい。従って、実際には電源の周波数を微調整しながらループを回転させれば整合がとれる。この方法は  $Q_0$  が高ければ最も簡単で、実際にも多く使用される。

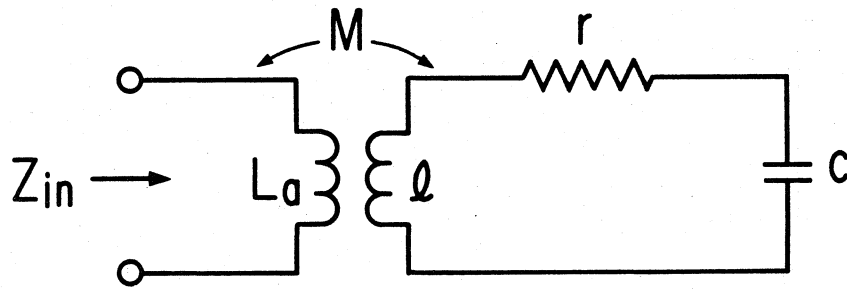


図-1 共振器と給電線との結合系の等価回路

## 2 直列共振

等価回路の上からは、この方法が最も明確に整合条件を与える。ループに直列に適当な可変容量を挿入して、式(1)の第1項を打ち消せばよい。すなわち直列共振である。しかしながら実際には直列に正しく静電容量を入れることは困難である。多くの場合ループの機械的構造上、内導体の支持や真空封じのためにどうしても絶縁物を使う必要があり、これが常に並列容量として入り、またその値も決して無視できないことが多い。このことは1に述べたループのみの場合にも言える。さらに、扱う高周波電力が高いとき、直列容量には高耐電圧・高品質が要求され、製作や製品の選択に苦心する。

## 3 並列共振

結合ループの周囲の並列容量が、実際の装置ではその機械的構造上避けられないならば、これを取り入れて入力側で並列共振を取ることが考えられる。KEK<sup>1)</sup>およびBNL<sup>2)</sup>の陽子リニアックでこの方法が採用されている。しかし容易にわかる通り、並列共振の場合解析的に整合条件を求めるのは困難である。計算機による試行的な数値計算で整合条件をもとめた例もある<sup>3)</sup>。

ところで、 $\omega = \omega_R$  の条件で考えると、図-2 の様な等価回路となる。この回路の共振条件は良く知られた次の式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \omega_R^2 &= \frac{1}{L_a C_a} - \frac{R^2}{L_a^2} \\ R_0 &= \frac{L_a}{C_a R} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここで、 $R_0$  は線路の特性インピーダンス、 $R$  は共振時の実効抵抗を1次側に変換したものとループの損失を含む。

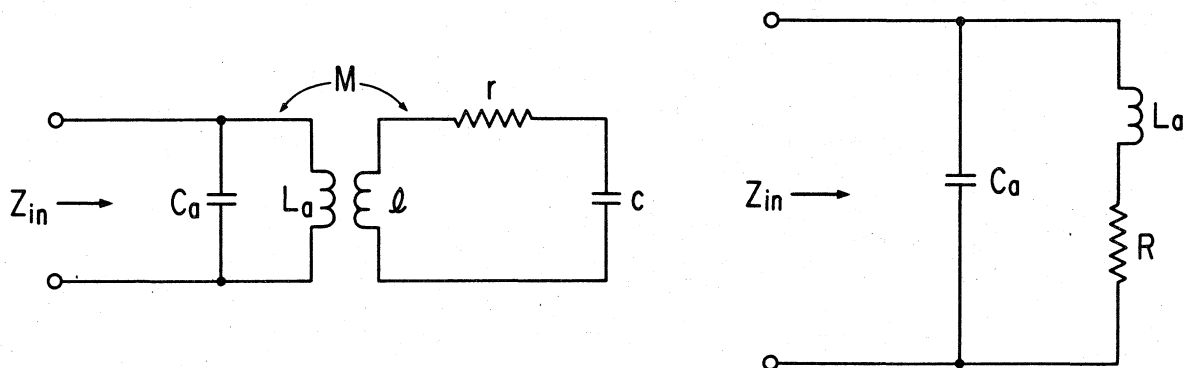


図-2 並列共振の等価回路

簡単に次の事がわかる。すなわち

- (1) もし  $L_a$  が与えられると、上の二つの式から並列容量  $C_a$  と  $R$  が決まる。
- (2)  $C_a$  は一般に内導体の支持や浮遊容量からの並列容量への寄与に比べて大きくすることができる。 $C_a$  の調整は共振器から切り離れた状態で並列共振の周波数を測定して目的の  $C_a$  にすることが出来る。
- (3)  $R$  は  $M$  を含むから、ループを回転させる等の方法により容易に変えられる。
- (4)  $L_a$  を最初に定める手段は任意性がある。しかし、 $\omega_R L_a \leq R_0/2$  でなければならない。

以上の手順に従って、インターデジタル型重イオンリニアックの結合ループを設計し、その妥当性をモデル空洞による実験で確かめたところ、ほぼ予想通りの結果がえられた。また計算機によるシミュレーションの結果ともよく一致している。並列共振による結合ループは、直列共振やループのみの場合と比較して解析および設計に若干の複雑さがあるものの、実際上、合理的な面が多いと言えるであろう。

#### 文献

1. S. Anami et al.: Proc. of the 1979 Linear Accelerator Conf. Montauk, Long Island, U.S.A.
2. J. T. Keane and R. R. McKenzie-Wilson: Linear Accelerator Conf.
3. J. Westergaad et al.: Nucl. Instr. & Meth. in Physics Research, A268(1988)525