論文紹介

週期的인 構造內의 마이크로波의 共流現象

Don R. McDiarmid and George B. Walker, "Two Examples of 'Confluence' in Periodic Slow Wave Structure" IEEE trans. MTT-16 p. 2(1968)

要　　約

無損失 週期構造에 依한 遮斷帶域의 除去와 零, π모드에 對한 共流現象에 대하여 記述하였다.

特殊한 2個의 構造內의 2個의 通過모드가 共流點에서 零이 아닌 群速度를 가질 수 있음이 解析에 依하여 알려 졌으며 이 共流現象은 모드分離를 뚜렷이 하기 때문에 線形加速器로서 有用하다.

1. 序　論

圓板誘電體로 負荷된 週期構造를 TM모드로 勵起할 경우 π모드의 周波數에서 誘電體와 空氣영역의 特性임피던스를 같게 함으로서 遮斷帶域이 除去됨을 理論的으로 보였었다.

이 條件下에서 π모드의 群速度는 零이 아니며 傳播曲線은 그림 4와 같다.

週期的인 構造를 갖는 空胴內에서 모드 分離를 增加시키는 이 結果는 線形共振加速器로서 매우 有用한 것이다.

圓板誘電體의 中心에 구멍이 있을 때에도 共流現象이 일어난다는 것이 實驗的으로 立證되었다.

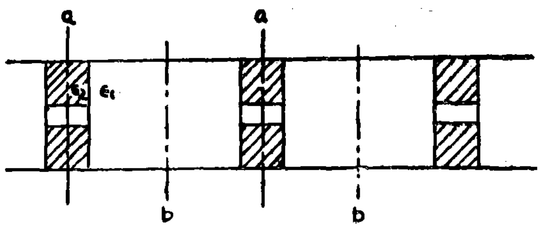

그림 1 유전체 부하의 주기구조

一般的으로 π모드에서 2個組를 갖는 對稱面에 (a−a, b−b) 마디를 갖는 定在波가 存在한다. 故로 그림 2와 같은 型의 週期的인 配置에 依한 波型은 그림 3과 같은 2個의 空胴으로 表現할수 있으며 構造의 파라메터를 바꾸어서 空胴의 共振周波數가 같은 2개의 π모드를 그림 2의 a, b에 各各 여진하면 遮斷帶域이 除去되어 共流가 일어나게 할 수 있다.

Walker와 West는 圓板의 두께를 조절하여 이를 形成하였다.

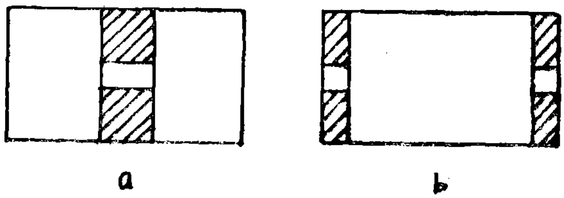

그림 2 π모드 공동

共流點에서 群速度가 零이 아님은 에너지가 傳播됨을 意味한다.

共流가 일어날때 π모드의 定在波는 같은 周波數를 가지나(그림 2—a, b에서 간격이 같음을 注視) 時間과 位置의 位相이 π/2만큼 다르다. π/2 移相인 두個의 定在波는 進行波를 形成한다.

2. 이리스 結合 構造

이 構造는 圓筒의 周邊을 따라 있는 좁은 폭의 細格을 通하여 空胴을 結合시킨 方法으로 Allen과 Kino에 依하여 解析되었으며 回路理論과 電磁界理論으로 다음의 傳播關係를 얻었다.

$$\alpha\pi Sin^2\left(\frac{\beta L}{2}\right)=\frac{\Omega(1-\Omega^2)}{tan(\rho\Omega\frac{\pi}{2})-\rho\Omega\frac{\pi}{2}} \quad \cdots\cdots\cdots(1)$$

여기에서

$\alpha\pi$=結合係數

$\Omega=\omega/\omega_1$

$\rho=\omega_1/\omega_{s1}$

$\omega_{s1}=2,4048c/a$

=細格短絡 TM_{010} 空胴모드의 共振周波數

$\omega_{s1}=\pi c/2a\phi$

$=$細格의 最低共振周波數

$\beta L=$基本하아트리 成分의 週期當 位相變化

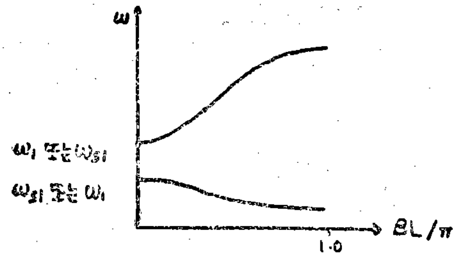

그림 3 이리스 결합 주기구조의 전파곡선

式(1)로부터 얻은 傳播曲線을 그림3에 보였다.

다음에 空胴 및 細格 사이의 遮斷帶域이 除去되어 零모드에서 群速度가 零이 아님을 보이겠다. ($\omega=\omega_{s1}$, $\phi=0.653$)

式(1)을 βL에 關하여 微分하여 다음 式을 얻는다.

$$[F(\Omega\rho)+G(\Omega,\rho)]\frac{d\Omega}{d\beta L}=\alpha\pi\sin\frac{\beta L}{2}\cos\frac{\beta L}{2} \quad\cdots\cdots(2)$$

여기에서

$$F(\Omega,\rho)=\frac{1-3\Omega^2}{\tan\Theta-\Theta}$$

$$G(\Omega\rho)=-\frac{\Theta(1-\cos^2\Theta)(1-\Omega^2)}{(\sin\Theta-\Theta\cos\Theta)^2}$$

$$\Theta=\rho\Omega\frac{\pi}{2}$$

(2)式으로부터 $\beta L=n\pi$(n은 定數) $d\omega/d\beta=0$이며 零, π모드에서 群速度가 零이 된다. 만일 $\beta L=n\pi$일때 $[F+G]=0$이면 即 $\rho=\Omega=1$, $\omega=\omega_1=\omega_{s1}$이면 共流의 條件을 만족시킨다.

$\rho=1$로 놓고 (2)의 βL을 除去하면 다음 式을 얻는다.

$$A(\Omega)\cdot\frac{d\Omega}{d\beta L}=\pm\beta(\Omega)$$

Ω가 1로 接近함에 따라 B(Ω)/A(Ω)에 依한 群速에 關한 式

$$v_g=\pm\frac{\omega_1 L}{2}\sqrt{\frac{\alpha\pi}{\pi}} \quad\cdots\cdots(3)$$

을 얻는다.

여기에서 復符號는 傳播曲線이 交叉함을 意味하며 (1)式에 $\rho=1$, $\alpha\pi=0.315$를 代入하여 交叉點 $\beta L=o$를 얻을 수 있다.

群速이 零이될 다른 條件은 $\omega=\omega_1=3\omega_1$으로서 이는 空胴通過帶域과 2次細格通過帶域의 共流가 된다. 이 경우

$v_g=\mp\frac{\omega_1 L}{2}\sqrt{\frac{\alpha\pi}{3\pi}}$가 되며 이것의 振幅은 작아서 加速器로서 不適하다

3. 루프 結合構造

루프結合構造에서는 空胴相互間에 루프로 結合되고 있다.

Dunn et. al.은 이 構造의 回路理論的 考察에서 $\beta L=\pi$에서 傳播曲線의 傾斜가 零이 아님을 指摘했다. 이 構造에 關하여 Bevensee는 電磁氣論的으로 解析하였는데 다음의 傳播式을 얻었다.

$$[\tfrac{1}{2}P_c{}^2(1+\cos\beta L)+\tfrac{1}{2}p_c(1-\cos\beta L)-K^2]$$
$$\times[\tfrac{1}{2}P_L{}^2(1+\cos\beta L)+\tfrac{1}{2}p_l(1-\cos\beta L)-K^2]$$
$$-m_l(P_c{}^2-K^2)(P_L{}^2-K^2)\cos^2\frac{\beta L}{2}=o\cdots\cdots(4)$$

여기서

$P_c=$短絡空胴모드의 正規化 周波數

$p_c=$開放空胴모드의 正規化 周波數

$P_L=$短絡루프모드의 正規化 周波數

$p_l=$開放루프모드의 正規化 周波數

$m_l=$結合係數

이들 定數들은 實驗에 依하여 測定된다. 루프의 双이 8個以上인 百足型構造에서는 다음의 傳播式이 Bevensee에 依해 서술되었다.

$$[\tfrac{1}{2}P_c{}^2(1+\cos\beta L)+\tfrac{1}{2}p_c{}^2(1-\cos\beta L)-K^2]$$
$$-[\tfrac{1}{2}P_L{}^2(1+\cos\beta L)+\tfrac{1}{2}p_l(1-\cos BL)-K^2]$$
$$-K\sin^2\beta L=O\cdots\cdots(5)$$

(4), (5)式에서 $p_c=p_l$은 π모드에서 共流가 일어날 必要充分條件이다.

이들 式을 βL에 關하여 微分하고 $\beta L=\pi(K=p_c=p_l)$를 代入하면

$$(p_c{}^2-p_l{}^2)\frac{dK}{d\beta L}=o$$

를 얻고 $p_c{}^2-p_l{}^2$일때만이 群速度는 零이 아닌 값

을 갖는다. (그림4)

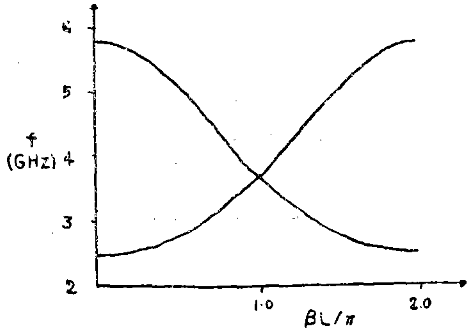

그림 4 루프 결합 주기구조의 π모드 공류

(4)式을 k^2에 關하여 풀고 $p_l = p_c$로 놓으면 다음 關係式을 얻는다.

$$A(\beta L)K^2 = B(\beta L)$$

$\beta L \to \pi$의 극한을 취하여

$$v_g = \pm CL\sqrt{me(p_c^2 - P_c^2)(p_l^2 - P_L^2)}/4\pi c \cdots\cdots (6)$$

루프 結合π모드 群速度가 2個의 共流通過帶域에 比例함을 (6)式에서 볼 수 있다. 百足型에서는 같은 過程을 通하여

$$v_g = \pm CL\sqrt{K}/2p_c$$

가 된다. 이리스細格에서 群速度는 $\sqrt{B}$에 比例함을 볼 수 있는데 B, K는 帶域幅에 關係된 因子들이다.

4. 共流判定

百足型構造에서 2個의 開放空胴共振周波數를 같으게 함으로서 共流現象이 일어나는데 開放空胴은 適當한 對稱面에 磁界的으로 短絡시켜 形成한다.

이 短絡面의 挿入은 2個의 모드의 波型이나 周波數를 攣亂시키지 않는다.

어떤 週期構造內에서 π모드를 形成하는 2個의 空胴이 같은 周波數를 갖는다면 이 週期構造는 共流點을 갖는다.

2個의 試驗空胴은 影像對稱面에 電界短絡 또는 磁界短絡을 가진다.

零모드 共流에 對한 判定을 發展시키기 위해 影像對稱面을 갖는 이리스 結合空胴을 생각하자 Allen과 Kino는 $\omega = \omega_{s1}$일때 零모드 共流가 이 構造에서 일어남을 보였다.

ω_1에 해당하는 電磁界型은 結合細格面에 電界短絡面을 代置시킨 TM_{010}空胴모드에 依하여 주어진다. 勵起될 수 있는 또 다른 電磁界型은 結合細格의 中間에 磁界短絡面을 代置하여 얻어지는데 이는 開放回路空胴이다. 이들 空胴의 모드 周波數가 같게되면 零모드 共流現象이 일어난다.

以上 論議된 二種의 構造의 零, π모드波型의 調査로서 주어진 短絡條件이 對稱面에 關하여 Z에 따라 奇數函數 또는 偶數函數로 變化하는 E_z成分의 双으로 定在波가 形成함을 알 수 있다.

誘電體에서는 π모드에 의하여 奇數偶數函數條件이 滿足되고 誘電體負荷에서 π모드의 에너지 傳播가 許容되는 것이다. 다음 루프結合, 이리스結合構造에서 이 性格으로 因하여 共流點에서의 에너지 傳播가 可能함을 보이겠다.

이리스結合 構造에 依한 2個의 零모드 定在波는 E_r電界成分과 $H\phi$磁界成分이 포인팅 벡터의 實成分이 나오도록 되어있다. Allen과 Kino의 근사치에 의하면 E_r, $H\phi$의 符號는 細格에서 주어진 순간에 바뀌지 않는다. 따라서 積分에 依하여 포인팅 벡터는 Z方向으로 共流零모드에서 에너지의 흐름을 갖는 것이다.

細格附近에서 E_r成分의 行爲로 因하여 E_z成分이 Z方向으로 細格을 지날 때 符號의 變化를 받는다. 다시 말하면 細格모드의 E_z成分의 奇數函數 變化는 細格內의 强한 E_r成分으로 因한 것이다. 한편 空胴모드의 E_z成分의 偶數函數 變化는 細格內의 零이 아닌 $H\phi$成分으로 因한 것이다.

루프結合에 關한 Bevensee의 調査에 依하면 空胴中間面에서 한 π모드는 E_r을, 다른 모드는 $H\phi$成分을 各各 갖고 있으며 結合面에서는 한 모드가 $H\phi$를, 다른 모드가 E_r成分을 갖는다고 한다. 또 이들 電磁界의 組合은 E_z成分의 函數的 行爲에 관련된다.

週期性이 傳播外에 廻轉을 包含할때 置換空胴의 形成은 不分明한 것으로 알려지고 있다. 이 경우에는 終斷面의 影像對稱面에 한組만이 規定될 수 있다. 例로서 크로버型 構造인데 이 構造에서는 突出部가 空胴에서 空胴까지 45° 廻轉하

게 된다. Bevensee는 혼합終端을 갖는 몇個의 모드로서 傳播式을 誘導하였다.

5. 結 論

이리스結合, 루프結合 그리고 百足型의 週期構造가 두 通過帶域 사이의 共流點에서 零이 아닌 群速度를 갖는 것을 보였다. 結果로서 共流點 부근에서 群速度가 커지며 여러 週期部로 構成되는 空胴內의 모드 分離가 增加되었다.

Knapp이 開發한 陽子加速構造와의 比較는 興味있는 것으로 Knapp은 $\pi/2$모드 動作으로 설명하였지만 Knapp의 結合回路를 空胴間의 結合細格 또는 루프로 생각한다면 Knapp의 回路는 π모드로 解析되는 것이며 이러한 觀點에서 Knapp 回路는 π모드에서 共流한다고 보여지는 것이다.

(李 泰 鎬 抄)

超傳導空胴間共振器를 갖인 모노트론 發振器

Francis Biquard, P. Grivet and Albert Septier. "A Monotron Oscillator with Superconducting Cavity" IEEE trans. Vol. IM—17 p. 254(1968)

이 論文은 超傳導空胴共振器를 使用한 모노트론型 超高周波發振器에 對한것이다.

理論的性質을 바탕으로한 간단한 測定結果는 이러한 型의 發振器가 훌륭한 short-term 安定度(10^{-14} for T=1ms)와 Spectral-Purity($2\delta f/f=10^{-17}$)를 갖고있다는 點이다.

現在 나타난 實驗的結果는 發振始作과 周波數安定인데, S밴드 發振器는 周波數安定度가 10^{-10} 以上이고 10mW정도의 連續的인 電力을 供給할수있다는것이 확인됐다.

1. 모노트론

모노트론 發振器라함은 한 連續的電子빔이 單同調空胴器의 電磁界에 에너지를 줄수있는곳에 놓인 裝置를 말한다. 負傳導領域은 特性을 이루는 빔內에 나타나서, 이시스템의 再生動作의 可

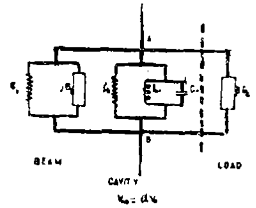

그림 1 모노트론의 등가회로

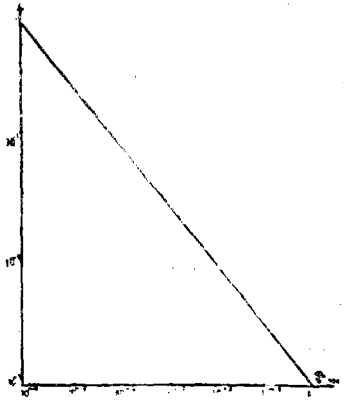
그림 2 이론적 단시간 안정도
f=3GHz, Q=10^7 P=0.1W

能性을 암시해준다. 모노트론 發振器의 一般論은 먼저 Muller와 Rostas 等에 依하여 이룩됐다. 또 모노트론 發振器의 動作이 그림 1과 같은 等價回路로 表示될수있음을 보였는데 여기서 애드미턴스 G_b+jB_b는 空胴共振器의 等價回路에서 電子빔의 영향에 依한것이다. 最近의 成果로서 超傳導空胴共振器는 대단히 높은 Q값과, 훌륭한 周波數安定度를 갖인 强力한 超高周波發振器로 등장하고 있다.

2. 超傳導 모노트론의 設計

速度 U_0, 密度 I_0인 電子빔이 길이 d인 圓筒型空胴共振器의 軸를 따라, 電壓 V_0에 加速되어 흐르고, 이때 TMO_{pq} 모드에서 共振周波數를 f라하자. 電子빔은 空胴共振器에서 高周波界로 그 힘이 바뀐다. 萬一 電子走行角 $D=\dfrac{2\pi fd}{u_0}$ 이 잘 선택된다면, 빔은 電磁界에 에너지를 전달할