

10.非相反回路

10.1.回路の無損失性

(1)アイソレータ

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \mathbf{S}\mathbf{a}$$

アイソレータは無損失回路で構成できるか？

$$\mathbf{S}\mathbf{S}^+ = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \neq \mathbf{I}$$

散乱行列のユニタリー性確認 → No

(2)サーキュレータ

例えば3端子サーキュレータで

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{S}\mathbf{S}^+ = \mathbf{I}$$

サーキュレータは無損失回路で構成することができる！

10.2.磁性体のマイクロ波応答

外部から磁界を印加しないとき、磁性体中の磁化の方向はランダムで、その透磁率は

$$\mu = \mu' - j\mu'' \quad (\text{スカラー})$$

外部から磁界を印加すると、磁化の方向がそろい、テンソル透磁率になる。直流磁界 $\mathbf{H}_0$ を z 方向（電磁波の伝搬方向）に印加すると、透磁率は次のようになる（ポルダーテンソル）。

$$[\mu] = \mu_0 \begin{bmatrix} \mu_r & -j\kappa & 0 \\ j\kappa & \mu_r & 0 \\ 0 & 0 & \mu_{rz} \end{bmatrix} \quad (10.1)$$

$$\mu_{rz} \approx 1$$

$$\omega_0 = -\gamma H_0 \quad (\gamma = -2.8 \text{ MHz/Oe})$$

$$\omega_s = -\gamma M_s \quad (M_s : \text{飽和磁化})$$

ω : 動作周波数

$$\mu_r = 1 + \frac{\omega_0 \omega_s}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

$$\kappa = \frac{-\omega_s \omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

電磁波の磁界を $\mathbf{h}e^{j\omega t}$ 、 $\mathbf{b}e^{j\omega t}$ とする(小文字 $\mathbf{h}$ 、 $\mathbf{b}$ で表現)。

(i) $\mathbf{h}$ が右回り円偏波(観測面を定めると、電界ベクトルが時間とともに時計方向に回転する。+ z

方向に向かって観測点を移動すると左回転。)とすると、磁界の x 成分 h_x 、 y 成分 h_y は次の関係になる。

$$\mathbf{h}_+ = \mathbf{i}h_x + \mathbf{j}h_y$$

$$h_y = -jh_x$$

$$h_x = \operatorname{Re}[e^{j\omega t}] = \cos \omega t \quad (10.2.a)$$

$$h_y = \operatorname{Re}[-je^{j\omega t}] = \cos(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (10.2.b)$$

このとき、磁束密度 $\mathbf{b}$ は、 $\mathbf{b}_+ = [\mu]\mathbf{h}_+$ より、

$$b_x = \mu_0(\mu_r - \kappa)h_x \quad (10.3.a)$$

$$b_y = -j\mu_0(\mu_r - \kappa)h_x \quad (10.3.b)$$

となるので、 $\mathbf{b}$ も右回り円偏波となる。

さらに、 $\mathbf{b}_+ = \mu_0(\mu_r - \kappa)\mathbf{h}_+$ と表されるから、右回り円偏波に対してはスカラー透磁率 $\mu_+ = \mu_0(\mu_r - \kappa)$ を感じる。

(ii) 左回り円偏波 ($\mathbf{h}_- = \mathbf{i}h_x + \mathbf{j}(+jh_x)$) に対しても同じように考えると、透磁率はスカラー $\mu_- = \mu_0(\mu_r + \kappa)$ となる。

つまり、右・左回りの円偏波に対して、異なる透磁率をもつ。

→ 右・左回り円偏波は各々の偏波状態を保ったまま、異なる伝搬定数で伝搬する。

→ 両偏波を合成すると、偏波方向の異なる直線偏波になる (ファラデー回転)

[ファラデー回転]

$z=0$ で $e_x = E_0 \cos \omega t$ 、 $e_y = e_z = 0$ なる直線偏波が入射する場合を考える。

$$\begin{aligned} \mathbf{i}e_x &= \mathbf{i}E_0 \cos \omega t \\ &= \frac{E_0}{2} \{\mathbf{i} \cos \omega t + \mathbf{j} \cos(\omega t - \frac{\pi}{2})\} + \frac{E_0}{2} \{\mathbf{i} \cos \omega t + \mathbf{j} \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})\} \end{aligned} \quad (10.4)$$

と分解できる。右辺第 1 項は右回り円偏波、第 2 項は左回り円偏波を表し、それぞれ比透磁率 $\mu_+ = \mu_0(\mu_r - \kappa)$ 、 $\mu_- = \mu_0(\mu_r + \kappa)$ を感じるため、右・左回りの円偏波の伝搬定数は各々次のようになる。

$$\begin{aligned} \beta_+ &= \omega \sqrt{\epsilon \mu_+} \\ \beta_- &= \omega \sqrt{\epsilon \mu_-} \end{aligned}$$

したがって、距離 z だけ伝搬した後では、

右回り円偏波：

$$\frac{E_0}{2} \{\mathbf{i} \cos(\omega t - \beta_+ z) + \mathbf{j} \cos(\omega t - \frac{\pi}{2} - \beta_+ z)\}$$

$$= \frac{E_0}{2} \{ \mathbf{i} \cos(\omega t - \beta_+ z) + \mathbf{j} \sin(\omega t - \beta_+ z) \} \quad (10.5.a)$$

左回り円偏波：

$$\frac{E_0}{2} \{ \mathbf{i} \cos(\omega t - \beta_- z) - \mathbf{j} \sin(\omega t - \beta_- z) \} \quad (10.5.b)$$

となり、この点における電界の x 、 y 成分は各々次のようになる。

$$e_x = \frac{E_0}{2} \{ \cos(\omega t - \beta_+ z) + \cos(\omega t - \beta_- z) \} = E_0 \cos\left(\frac{\beta_- - \beta_+}{2} z\right) \cos\left(\omega t - \frac{\beta_- + \beta_+}{2} z\right) \quad (10.6.a)$$

$$e_y = \frac{E_0}{2} \{ \sin(\omega t - \beta_+ z) - \sin(\omega t - \beta_- z) \} = E_0 \sin\left(\frac{\beta_- - \beta_+}{2} z\right) \cos\left(\omega t - \frac{\beta_- + \beta_+}{2} z\right) \quad (10.6.b)$$

・ $\cos\left(\omega t - \frac{\beta_- + \beta_+}{2} z\right)$ の項は、 e_x 、 e_y で共通であり、時間的に同相で振動することを表す。

→ すなわち、直線偏波

・ x 成分、 y 成分の振幅が、各々 $\cos\left(\frac{\beta_- - \beta_+}{2} z\right)$ 、 $\sin\left(\frac{\beta_- - \beta_+}{2} z\right)$

→ x 軸から角度 $\theta_F = \frac{\beta_- - \beta_+}{2} z = \frac{\omega\sqrt{\varepsilon}}{2} (\sqrt{\mu_-} - \sqrt{\mu_+})$ 傾いている。

したがって、入射直線偏波は距離 z 伝搬後に角度 θ_F だけ傾いた直線偏波になる。

→ ファラデー回転

さらに、外部磁界の方向を反転すると、

$$H_0 \rightarrow -H_0$$

$$M_s \rightarrow -M_s$$

となるので、 $\mu_+ = \mu_0(\mu_r + \kappa)$ 、 $\mu_- = \mu_0(\mu_r - \kappa)$ となる。すなわち、回転角度は $-\theta_F$ になる。

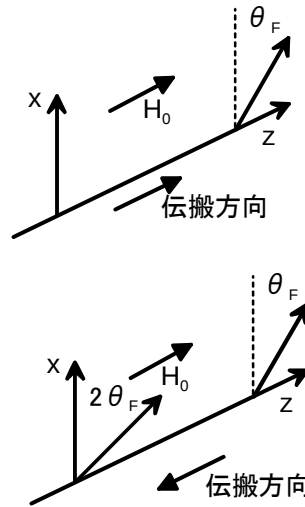


Fig.10.1 ファラデー回転

10.3 アイソレータ

- ・偏光子（偏波分離素子）＋ファラデー回転子＋偏光子（偏波分離素子）
- ・エッジガイドモード

10.4 サーキュレータ

- ・マイクロストリップ形サーキュレータ(1～30GHz)
- ・集中定数形サーキュレータ(小西形:30MHz～5GHz)
- ・エッジガイド形
 - 共振器構造を使わないので広帯域。伝送線路とエッジガイドモードのインピーダンス不整合で帯域が制限される。(例:中心周波数 5GHz、帯域幅 35%)
- ・非可逆移相器を用いたサーキュレータ

10.5 サーキュレータの利用例

- (1)双方向伝送
- (2)無反射終端と組み合わせてアイソレータ
- (3)位相変調器への応用
- (4)Add-Drop Multiplexer

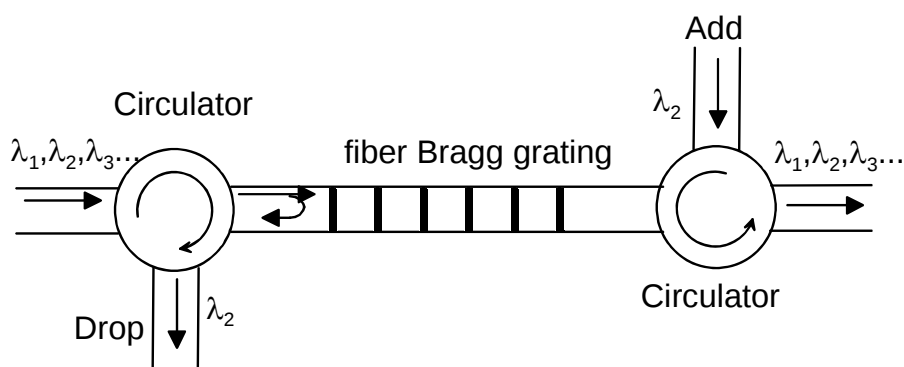


Fig.10.2 Add-Drop Multiplexer