

寄生ループ板を使用したチルトビーム形成

亀田, 悠平 / KAMETA, Yuhei

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

59

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

3

(発行年 / Year)

2018-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00021554>

寄生ループ板を使用したチルトビーム形成

FORMATION OF A TILTED BEAM USING PARASITIC LOOP-BASED PLATES

亀田悠平

Yuhei KAMETA

指導教員 山内潤治

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

This paper investigates an antenna system composed of a fed antenna and N parasitic plates ($N=1, 2, 3$). The system is designated as the N -plate system. The analysis reveals how the scattering parameters for the unit cell constituting the N -plate system change with the loop strip width. The tilt angle of the beam radiated from the N -plate system is estimated from the scattering parameters. It is found that this estimation is in good agreement with the tilt angle of the radiation pattern obtained using full wave analysis.

Key Words : Tilted-beam formation, Periodic structure, Strip loop, Transmission line

1. はじめに

寄生ループ板を用いたチルトビームアンテナを検討してきた[1][2]. 寄生ループ板が3枚の場合, 寄生ループ板1枚の場合に比べチルト角が増加する[3]. 本稿では, この現象を寄生ループ板のループユニットセルの解析から検討する. さらに参考として, ループ上における電流の位相を明示する. なお, 本内容は著者の修士論文の一部を構成している.

2. 寄生ループ素子のユニットセル解析

(1) 解析構造

使用周波数を 8GHz (波長 $\lambda_8=37.5\text{mm}$) とする. 図1(a)に寄生ループ板を示す. ここでは3枚の例を示している. 寄生ループ板の誘電体の厚さを B , 比誘電率を ϵ_r とする. 図1(b)に寄生ループ板の上面図を示す.

図2にループユニットセル構造を示す. 以下においては, ループ外周長 S_{out} を固定し, ストリップループ幅 w を変化させて放射現象を解析する. なお寄生ループ板の1枚目(最下位寄生板)と2枚目の距離を d_{23} , 2枚目と3枚目の距離を d_{34} としている. 詳細な構造値は修士論文の中に示している.

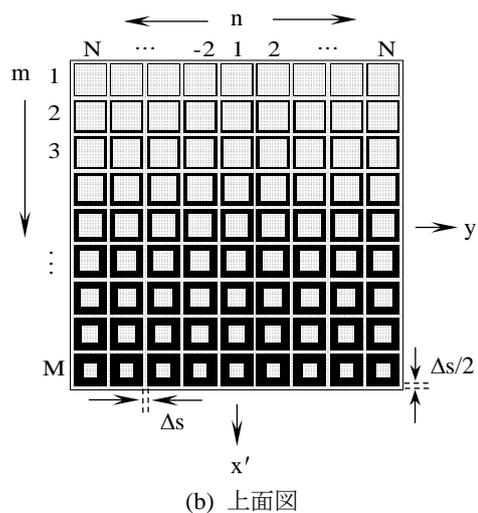
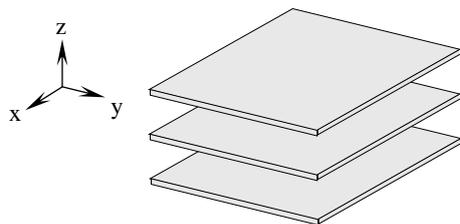
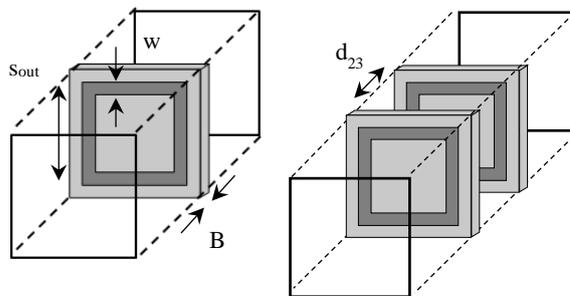


図1 寄生ループ板

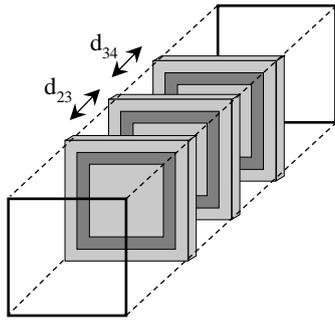


(a) 3枚構造



(a) 1枚構造

(b) 2枚構造



(c) 3枚構造

図2 ループユニットセル

(2) Sパラメータ

図3に使用周波数における寄生ループ板のユニットセルのSパラメータを示す。このとき、全てのループは同相の平面波で励振されている。

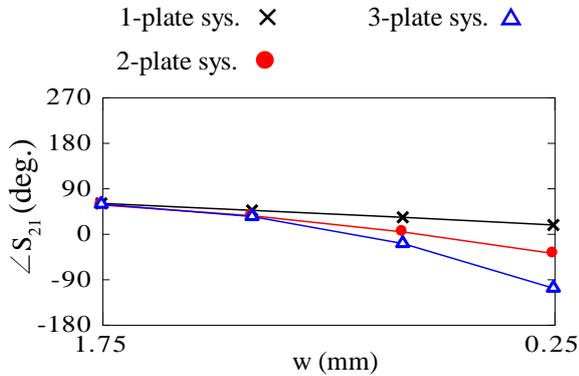


図3 Sパラメータ

(3) Sパラメータの位相補正

実際の励振においては、Fabry-Perot伝播経路による位相の変化が起きている。そこで平面波励振から中央素子励振にした場合のSパラメータの補正を実行する。つまり、励振素子に最も近い最下位寄生板における反射位相と地板における反射位相(180°)を考慮して実行する。その結果を図4に示す。図3に示す補正前のSパラメータに比べ、位相の勾配が急になっていることがわかる。

3. チルト角推定

図4に示されている補正されたSパラメータカーブの勾配からチルト角が計算できる[3]。チルト角は寄生ループ板1枚のとき27°, 2枚のとき43°, 3枚のとき62°と算出される。これらは図5に示されている実際上の放射パターンのチルト角とよく一致する。ただし図5はFDTD法によって解析された結果である。

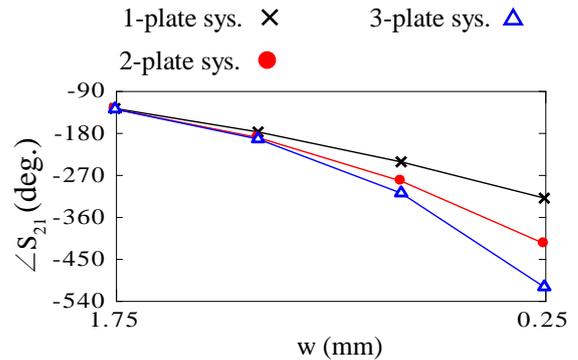
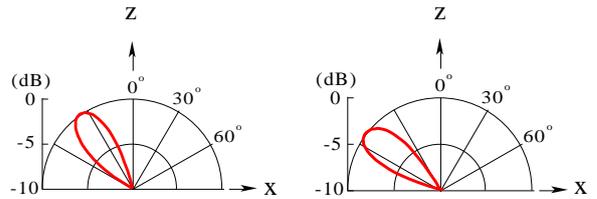
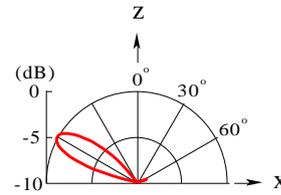


図4 補正されたSパラメータ



(a) 1枚構造系

(b) 2枚構造系



(c) 3枚構造系

図5 放射パターン

次に参考としてループをリアクタンス素子とみなし、この素子に流れる電流を伝送回路モデルで求め、電流の位相を明示する。本稿では明示していないが、この電流位相を使用するとチルト角が推定できる。

4. 伝送線路モデル[4]

(1) 寄生ループ板1枚の場合

図5で使用した構造値を基に、寄生ループ板1枚のときの伝送線路モデルを図6に示す。給電部から最下位寄生板までの距離を $0.5\lambda_8$ 、ループ素子部をリアクタンス X 、自由空間特性インピーダンスを Z_0 としている。但し λ_8 は使用周波数8GHzにおける波長。

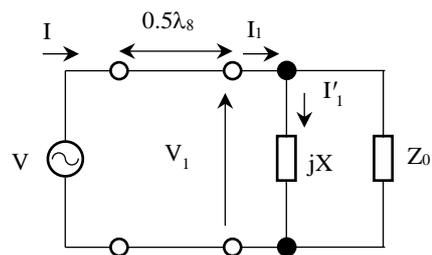


図6 寄生ループ板1枚の伝送線路モデル

このとき回路方程式は

$$\begin{pmatrix} V \\ I \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix}$$

これより

$$V = -V_1, I = -I_1 \quad (1)$$

リアクタンス素子(ループ)に流れる電流 I_1 , つまり 1 枚目(最下位寄生板)の寄生ループに流れる電流は

$$I_1 = j \frac{V}{X}$$

したがって電流の位相 $\angle I_1$ は電源電圧 V に対して,

$$\angle I_1 = 90^\circ \quad (2)$$

と表せる.

(2) 寄生ループ板 2 枚の場合

図 7 に寄生板 2 枚の場合の伝送線路モデルを示す. このときの回路方程式は以下ようになる.

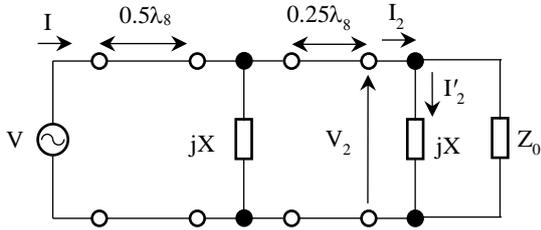


図 7 寄生ループ板 2 枚の伝送線路モデル

$$\begin{pmatrix} V \\ I \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -jZ_0 \\ -\frac{j}{Z_0} & -\frac{Z_0}{X} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix} \quad (3)$$

これを基にして, リアクタンス素子に流れる電流 I_2 を求めると, 最終的に以下ようになる.

$$I_2 = \frac{X + jZ_0}{X^2 + Z_0^2} V \quad (4)$$

したがって電流の位相 $\angle I_2$ は以下ようになる.

$$\angle I_2 = \tan^{-1} \frac{Z_0}{X} \quad (5)$$

(3) 寄生ループ板 3 枚の場合

寄生ループ板 3 枚のときのモデルを図 8 に示す. 4 章 1 節, 2 節と同様にして, 電流 I_3 を求めると以下ようになる.

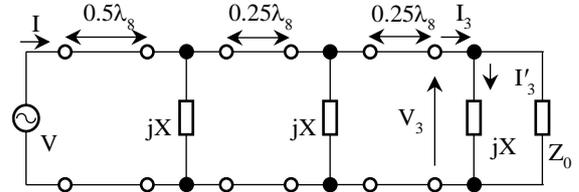


図 8 寄生ループ板 3 枚の伝送線路モデル

$$\angle I_3 = \tan^{-1} \frac{(Z_0^2 - X^2)}{XZ_0} \quad (6)$$

以上の電流位相を利用して, チルト角が推定できる. これについては筆者の修士論文の中で述べている.

5. まとめ

寄生ループ板のユニットセル解析から, 寄生板の枚数増加に伴うビームチルト角の増加を議論した.

参考文献

- 1) H. Nakano, S. Mitsui, and J. Yamauchi, "Tilted-beam high gain antenna system composed of a fed patch antenna and periodically arrayed loops," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Volume 62, Issue 6, pp. 2917-2925, June 2014.
- 2) H. Nakano, M. Toida, S. Okabe, and J. Yamauchi, "Tilted beam formation using parasitic loop-based plates," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Volume 15, pp. 1475-1478, December 2015.
- 3) H. Nakano, Y. Kameta, and J. Yamauchi, "Increased beam tilt angle from a patch antenna with three inhomogeneous loop-based plates," IET Electronics Letters, Volume 53, Issue 24, pp. 1562-1564, November 2017.
- 4) F. Qin, S. Gao, G. Wei, Q. Luo, C. Mao, C. Gu, J. Xu, and J. Li, "Wideband circularly polarized Fabry-Perot antenna," IEEE Antennas and Propagation Magazine, Volume 57, Issue 5, pp.127-135, October 2015.