

円偏波メタマテリアルラインの放射状配列

阿部, 智希 / ABE, Tomoki

(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)

60

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

2

(発行年 / Year)

2019-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00022007>

円偏波メタマテリアルラインの放射状配列

RADIALLY ARRAYED CP METAMATERIAL LINES

阿部智希

Tomoki ABE

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

An array antenna composed of eight metamaterial lines printed radially on a dielectric substrate is analyzed. The unit cell for the metamaterial lines is designed to radiate a circularly polarized (CP) wave. Analysis shows that the array is reconfigurable and has a half-power beam width of approximately 190° , a gain of approximately 4.7 dBi, and a VSWR of 2.2 at the design frequency, when one of the eight feed points is activated (1FP activation). The gain increases to approximately 7.3 dBi when two feed points are activated (2FP activation).

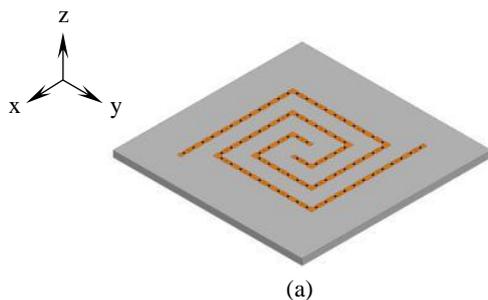
Key Words : metaline; array antenna; gain; tilted beam.

1. はじめに

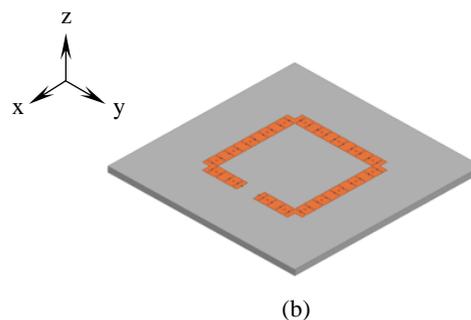
特定の周波数領域に渡って電流の位相定数 β が負になる放射素子をメタマテリアルアンテナと呼ぶ[1]. 文献[2]で述べられている右左手系複合線路は”直線偏波”を放射する代表的なメタマテリアルアンテナである. 対照的に, 図1で示されているスパイラル及びループアンテナは代表的な”円偏波”メタマテリアルアンテナである[3][4]. これらのアンテナは, 動作周波数において天頂方向で放射が最大となるように設計されている. このときのアンテナ高は約 $1/100$ 波長である.

天頂方向と異なる方向への放射が文献[5]で検討されている. このアンテナは特性再生可能アンテナとして知られている. 本アンテナは4本の円偏波メタマテリアルライン(メタライン)から構成されており, 形状は十字形となっている. 機能の特徴として, チルトした円偏波ビームを走査できることが挙げられる.

本稿は文献[5]の延長であり, より高い利得を得ることを目的とする. これを達成するために, 8本のメタラインを放射状に配列している. 文献[5]と比較しながら本アンテナの特性を検討する.



(a)



(b)

図1 円偏波を放射するメタマテリアルアンテナの例
(a) メタスパイラルアンテナ
(b) メタループアンテナ

2. 構造及び座標系

設計周波数を 2.6 GHz とする. 図2に円偏波メタライン8素子配列の構造及び座標系を示す. 8素子のメタラインが, 直径 D_{GP} の接地板に裏付けられた薄い誘電体基板上に, 放射状に印刷されている. 各メタラインは点 F_i ($i = 1, 2, \dots, 8$) を給電点としている. 終端 T_i ($i = 1, 2, \dots, 8$) はプロッホインピーダンスでグランド板に接地されている. ここで, メタラインは, 遷移周波数 f_T が 3 GHz になるように設計されている. 負の位相定数 ($\beta < 0$) は f_T より低い周波数で得られる.

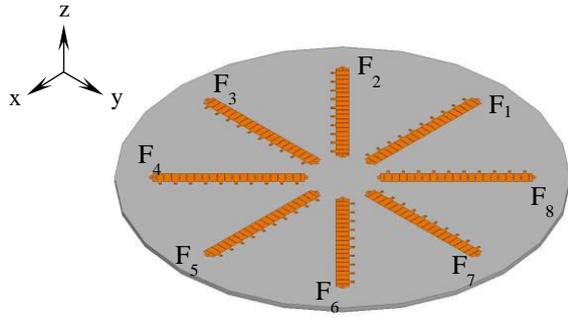


図2 円偏波メタライン8素子配列

3. アンテナ特性

遷移周波数 f_T より低い周波数 2.6 GHz を設計周波数とする。設計周波数におけるアンテナ高は極めて小さく、約 0.028 波長である。はじめに、8 つの給電点のうち 1 つを励振し、残りの 7 つの給電点を非励振とする(接地板に対し開放する)。この状態を 1FP 励振と定義する。図 3 は設計周波数における 1FP 励振の放射パターンを示している。ここでは、給電点 F_1 のみが励振されている。この図において、 E_R 及び E_L はそれぞれ右旋円偏波成分、左旋円偏波成分を表している。左旋円偏波成分が支配的であることが見出される。 x - z 仰角面内における左旋円偏波成分は後方、即ち負の x 方向に傾いている。この理由はアンテナに沿って流れる電流が負の位相定数を有しているためである。方位面内の半電力ビーム幅は約 190° である。

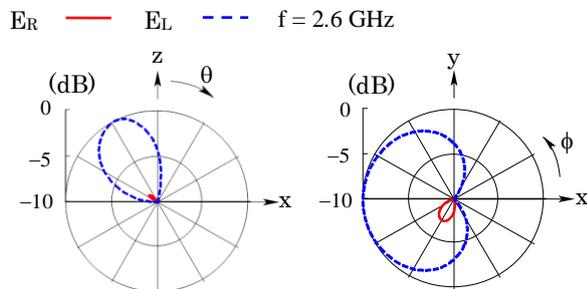


図3 1FP 励振時の放射パターン

次に、隣接する 2 つの給電点を同位相で励振し、残りの給電点を非励振とする。この状態を 2FP 励振と定義する。図 4 は 2FP 励振の放射パターンを示している。ここでは、給電点 F_1 及び F_2 が励振されている。2FP 励振の x - z 仰角面内におけるチルト角は、1FP 励振の場合と近い値である。しかしながら、方位面内における放射パターンは 1FP 励振の放射パターンより狭くなっている。これは、2 つの励振されたメタラインによるアレー効果に起因する。

図 5 に設計周波数周辺における 1FP 励振及び 2FP 励振の利得の周波数応答の比較を示す。設計周波数において、2FP 励振の利得(7.3 dBi)は 1FP 励振の場合と比べ、約 2.6 dB 高いことが見出される。このとき、VSWR は約 2.2 であり、実用上の問題はないといえる。

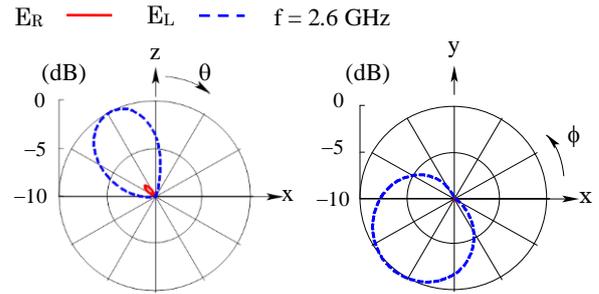


図4 2FP 励振時の放射パターン

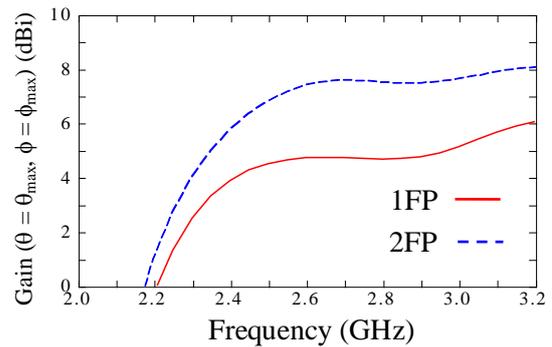


図5 1FP 励振及び 2FP 励振の利得の周波数応答

円偏波メタライン 8 素子配列は z 軸に対して対称な構造を有する。したがって、1FP 励振におけるアンテナ特性はどの給電点を励振するかに関係なく同じである。このことは 2FP 励振についてもあてはまる。即ち、本アンテナは特性再生可能アンテナとして動作する。

4. まとめ

特性再生可能アンテナとして円偏波メタライン 8 素子配列を提案し、1FP 励振及び 2FP 励振について電磁界解析を行った。仰角面内において、1FP 励振及び 2FP 励振の放射パターンは類似している。2FP 励振ではアレー効果により方位面内放射パターンを狭くすることができる。この効果により、2FP 励振の利得は 1FP 励振の場合に比べ上昇する。この上昇値は約 2.6 dB である。

参考文献

- 1) H. Nakano, *Low-profile Natural and Metamaterial Antennas*, IEEE Press/Wiley, NJ, 2016.
- 2) C. Caloz and T. Itoh, *Electromagnetic Metamaterials*, Wiley, NJ, 2006
- 3) H. Nakano, J. Miyake, M. Oyama, and J. Yamauchi, "Metamaterial spiral antenna," IEEE AWPL, vol. 10, pp. 1555-1558, 2011.
- 4) H. Nakano, K. Yoshida, and J. Yamauchi, "Radiation characteristics of a metaloop antenna," IEEE AWPL, vol. 12, pp. 861-863, 2013.
- 5) H. Nakano, T. Abe, and J. Yamauchi, "Beam-steering antennas using metalines," ISAP, Phuket, Thailand, Nov. 2017.