

負の透磁率材料を用いた円形多層線路における表皮効果抑制の検証

森山 竜太, 鮎澤 祥史, 黒川 勇太, 中山英俊
(長野工業高等専門学校)

Consideration of Skin Effect Suppression in Cylinder Multi-layer Transmission Line
with Negative Permeability Material

Ryuta MORIYAMA, Yasufumi AIZAWA, Yuta KUROKAWA and Hidetoshi NAKAYAMA
(National Institute of Technology, Nagano College)

はじめに

高周波線路では表皮効果による損失の増大が、低損失化の大きな課題である。同課題を解決する革新的手法として、負の透磁率材料を用いた表皮効果抑制に関する研究^{1),2)}が進められ、山口らの先行研究により、その抑制効果が実証された¹⁾。同研究では、薄膜積層構造による矩形断面線路の表皮効果抑制の設計指針を示したが、矩形線路は複雑な電磁界メカニズムであるため、最適設計を見出す詳細な検討は有限要素法解析等に頼らざるを得ない。本研究では、負の透磁率材料の適用効果の原理的検証のため、まずは円形断面線路を対象にして理論検証を行っており、以前に2層モデルについて報告した結果を踏まえて、多層モデルに展開して検証した結果を報告する。

負の透磁率材料を用いた高周波伝送線路理論

本研究では原理検証のため、最も単純な円形断面構造の線路を対象に、Fig. 1に示す電磁界モデルで検討した。同心円状の多層線路の電流密度分布は、電磁界理論式の導出により式(1)で求められる³⁾。正の透磁率材料は、導電率 σ_1 、透磁率 $\mu_1 > 0$ として、負の透磁率材料は、導電率 σ_2 、透磁率 $\mu_2 > 0$ として、それぞれの内部の電流密度 $i_{z1}(r)$ および $i_{z2}(r)$ は式(1)により算出できる(なお、3層目以降も同様に求めて求められる)。

$$i_{z1}(r) = \frac{k_1 I_1 J_0(k_1 r)}{2\pi a J_1(k_1 a)}, \quad i_{z2}(r) = \frac{\sigma_2 J_0(k_2 a) k_1 I_1 J_0(k_2 r)}{\sigma_1 J_0(k_2 a) 2\pi a J_1(k_1 a)} \quad \dots(1)$$

ここで、 k_1 および k_2 は各材料特性に基づく係数であり、 J_0 および J_1 はBessel関数を示す³⁾。

結果と考察

Fig. 2に、2層および4層構造の円形断面線路の電流密度分布 $i_z(r)$ の一例を示す。設定条件は、最外層の半径 $r_{\max} = 8 \mu\text{m}$ 、周波数 $f = 3 \text{ GHz}$ とし、2つの材料の導電率をCuと同等($\sigma_1 = \sigma_2 = 5.81 \times 10^7 \text{ S/m}$)とし、比透磁率の大きさが1である正/負の透磁率材料($\mu_{r1} = +1, \mu_{r2} = -1$)を想定した。2層および4層構造の各半径を調整し、損失が小さくなる条件を検討した結果である。Fig. 2(b)に示される電流密度の位相 $\angle i_z(r)$ が各層の境界面で変曲し、位相変化を相殺することにより、低損失化が図れた。以前に報告した2層に対して、4層では更に低損失な特性が得られた。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 17K14674 および総務省 SCOPE 若手ワイヤレス研究者等育成型 165104001 の助成を受けており、ここに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Yamaguchi et al.: MWE 2008 Microwave Workshop Digest, 207-210 (2008).
- 2) Moriyama et al.: Digest of the 40th Annual Conf. Magn. Jpn., 40, 82 (2016).
- 3) Mizuno et al.: The Papers of Technical Meeting on Magn., IEE Jpn., MAG-06-82~87, 7-15 (2006).

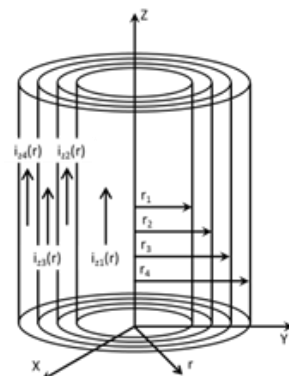
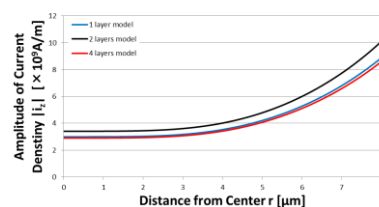
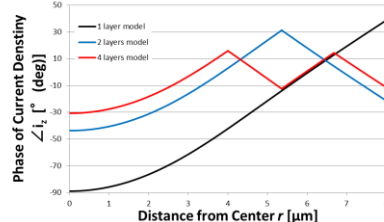


Fig. 1 Structure of cylinder transmission line.



(a) Intensity of current density



(b) Phase of current density

Fig. 2 Current density vs. distance from the center ($f = 3 \text{ GHz}$, $r_{\max} = 8 \mu\text{m}$).