

正／負透磁率材料の積層伝送線路の表皮効果抑制に関する理論的検討

鮎澤 祥史, 森山竜太, 久保村航大, 中山英俊  
(長野工業高等専門学校)

Theoretical Study on Skin Effect Loss Reduction of Cylinder Multi-layer Transmission Line with Positive/Negative Permeability Materials  
Yasufumi AIZAWA, Ryuta MORIYAMA, Kodai KUBOMURA 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<sup>1)</sup>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<sup>1)</sup>。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理論検証のため、まずは円形断面線路を対象として検討しており、以前に多層モデルについて報告した結果<sup>2)</sup>を踏まえて、複素透磁率の虚部による磁性損失を考慮して検証した結果を報告する。

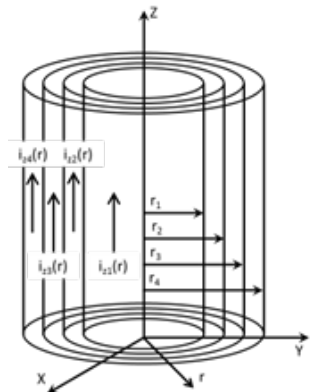


Fig. 1 Structure of cylinder transmission line.

正／負透磁率材料の積層構造による高周波伝送線路理論

本研究では理論的検証のため、単純な円形積層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と銅損は既報<sup>2)</sup>で示され、式(1)第1項に相当する。第1項は、各層の材料の導電率 $\sigma_n$ と電流密度  $i_{zn}(r)$ により求められる銅損である。第2項は、従来研究で未対応であった磁性材料の複素透磁率の虚部による磁性損失である。磁性損失は、局所的な磁界  $H(r)$ と複素透磁率の虚部 $\mu''$ から求められる。銅損と磁性損失を合わせた  $n$  層目の損失  $L_n$  を式(1)で評価でき、低損失な積層構造の設計を得ることができる。

$$L_n = \int_{r_{n-1}}^{r_n} \frac{|i_{zn}(r)|^2}{\sigma_n} \cdot 2\pi r \cdot dr + \int_{r_{n-1}}^{r_n} \frac{1}{2} \cdot \omega \cdot \mu_n'' \cdot H(r)^2 \cdot 2\pi r \cdot dr \quad (1)$$

計算結果及び今後の展望

正／負透磁率材料の2層構造において、2つの材料の導電率 $\sigma_1$ および $\sigma_2$ をCuと同等 ( $5.81 \times 10^7$  S/m)とし、比透磁率の大きさがともに1である正／負透磁率材料( $|\mu_{r1}| = |\mu_{r2}| = 1$ )を想定し、負の透磁率材料は、複素透磁率の実部が負( $\mu = \mu' - j\mu''$ ,  $\mu' < 0$ )で、そのQ値( $= |\mu'| / \mu''|$ )の大きさを変化させた場合の損失を比較検討した。設定条件は、周波数  $f = 1$  GHz、最外層の半径  $r_{max} = 8 \mu m$  とし、内側の負の透磁率材料の積層半径  $r_1 = 5.67 \mu m$  として、Q値に対する伝送線路全体の損失と、そのうち銅損の大きさを計算した結果をFig.2に示す。Fig.2における伝送線路全体の損失と銅損との差が、今回新たに考慮した磁性損失を示している。結果として、Q値が小さいほど磁性損失も大きくなり、全体損失に占める磁性損失の割合を計算することができた。

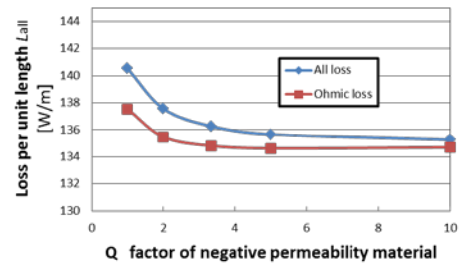


Fig. 2 Loss per unit length vs. Q factor of negative permeability material.

今後は、複素透磁率の虚部による磁性損失を含めて、適用周波数や想定する材料値等の条件を変化させ、積層伝送線路の表皮効果抑制および損失低減を目的とした構造設計の検討を進める予定である。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 17K14674 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 41th Annual Conf. Magn. Jpn., 41, 184 (2017).