

正／負透磁率材料による積層伝送線路の損失低減に関する理論的検討

鮎澤祥史, 久保村航大, 中村玲於奈, 中山英俊, 田中秀登
(長野工業高等専門学校)

Theoretical Study on Loss Reduction of Multi-layer Transmission Line with Positive/Negative Permeability Materials

Yasufumi AIZAWA, Kodai KUBOMURA, Reona Nakamura, Hidetoshi NAKAYAMA and Hideto TANAKA
(National Institute of Technology (KOSEN), 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多層伝送線路が提案され¹⁾、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、薄膜多層構造による矩形線路の表皮効果抑制の設計指針を示したが、有限要素法解析等では最適設計を見出す詳細検討は困難であった。筆者らは、負の透磁率材料による損失低減効果を詳細に検討するため、電磁界理論に基づく設計を試みている。絶縁体基板上に導体線路を実装する場合、銅箔表面粗化の影響を考慮する必要があるため、本研究では、矩形多層伝送線路の電磁界理論に基づき、銅箔表面粗化による損失の影響を加味した矩形多層伝送線路の損失低減の効果を、基礎的に検討した結果を報告する。

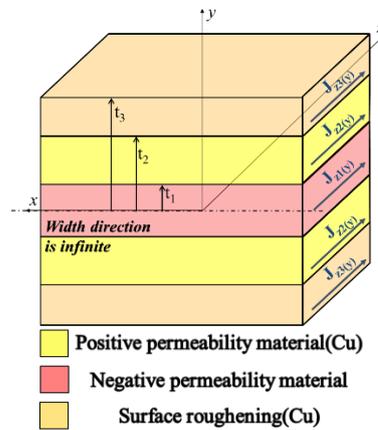


Fig. 1 Structure of rectangular transmission line.

正／負透磁率材料の積層構造における高周波電磁界理論

本研究では理論的検討のため、幅(x)方向が無限度で、厚さ(y)方向が上下対称な矩形多層構造の伝送線路を対象に、Fig. 1の電磁界モデルで検討した。矩形多層線路の電流密度と導体損失はマクスウェル方程式により導出され、式(1)～式(3)で表される。n層目の導体損失 L_n は式(3)で算出でき、多層線路における全体損失を算出し、低損失な積層構造設計を検討することができる。

$$J_{zn}(y) = \sigma_n E_{zn}(y) = \sigma_n (A_n e^{+k_n y} + B_n e^{-k_n y}) \quad (1)$$

$$k_n^2 = j\omega\sigma_n\mu_n \quad (2)$$

$$L_n = \int_{t_{n-1}}^{t_n} \frac{|J_{zn}(y)|^2}{\sigma_n} dy \quad (3)$$

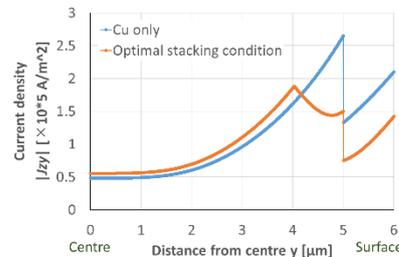


Fig. 2 Current density distribution considering the effect of surface roughening.

検討結果及び今後の展望

Fig. 1の5層積層構造において、導体材料としてCu(導電率 5.81×10^7 S/m)を想定し、中心の負透磁率材料には、導電率 σ_1 がCuと同等で、比透磁率が $\mu_{r2} = -1$ である仮想的な材料を設定し、第2層目にCuを設定し、最外層に厚さ $1\mu\text{m}$ の表面粗化層を仮定して、その導電率 σ_3 をCuの0.5倍(2.91×10^7 S/m)に設定して検討した。検討条件は、周波数 $f = 1$ GHz, 中心から最外層までの厚さ $y_{\text{max}} = 6\mu\text{m}$ とし、中心の負透磁率材料の積層条件 y_1 の厚さを変化させて損失の低減効果を検討した。結果として、 $y_1 = 4.03\mu\text{m}$ の場合に損失が最小となり、Cuおよび表面粗化層のみのモデルと比較して、損失が約36%低減できることが確認できた。Fig. 2に、表面粗化を考慮した場合の電流密度分布を示す。負透磁率材料の適用により、表面粗化を考慮しても全体の電流密度の偏りを低減できることが分かった。今後は、複素透磁率の虚部による強磁性共鳴損失を含め、使用周波数や想定する具体的な材料値を変化させ、積層伝送線路の損失低減を目的とした最適構造設計を検討する。

謝辞

本研究の一部は、JSPS科研費17K14674及び19K04521の助成を受けたものであり、感謝申し上げます。

参考文献

1) Yamaguchi et al.: MWE 2008 Microwave Workshop Digest, 207-210 (2008).