OP3-9

周期条件による左手系導波管特性インピーダンス解析に関する研究

佐野　浩久　（指導教員：榊原　久二男）
名古屋工業大学　工学部

１．まえがき

メタマテリアルの導入によって，既存の材料では得られない様々な電気特性を実現できることから，研究が盛んに行われている．損失が大きい問題が指摘されていることから，我々は損失の小さい導波管を用いて左手系伝送線路を開発している．これまでの解析方法は，周期条件を考慮に入れた有限要素法による固有値解析や，複数の周期構造を有限個配列した構造全体を電磁界解析する方法が取られていたが，解析の負荷が大きく，構造の最適化が困難であった．

本研究では１周期構造のＳパラメータを電磁界解析し，周期条件のもとで二端子対回路として解析することで，位相定数と特性インピーダンスを求める方法を導入した．これを用いて左手系導波管の特性を解析した結果を示す．

２．構造

短絡スタブ，誘導性絞りを用いて左手系導波管を設計した．構造を図１に示す．短絡スタブを，導波管の広壁面上長手方向に流れる電流を切るように接続する．スタブ長を変化させることにより，容量性にも誘導性にも設計可能である．誘導性絞りは，導波管軸と垂直な面に，両方の狭壁から対称に壁を設けた構造である．絞りによって得られる位相摂動は，導波管の広壁幅が減少することによる管内波長の伸長に起因する．

３．伝送特性の解析

１周期構造の散乱係数を電磁界解析により求め，縦続行列に変換する．これが相反性を有する条件から分散特性，ブロッホインピーダンスが得られる．分散特性は位相定数の周波数特性を意味し，次式で表される．

$$\beta_p = \cos^{-1}\left(\frac{1 - S_{11}S_{22} + S_{12}S_{21}}{2S_{21}}\right) \qquad (1)$$

周期条件が考慮された特性インピーダンスをブロッホインピーダンスと呼び，次式で表される．

$$Z_B = \frac{2jZ_0S_{21}\sin(\beta_p)}{(1 - S_{11})(1 - S_{22}) - S_{21}S_{12}} \qquad (2)$$

ブロッホインピーダンスによって，整合の取れる帯域を確認することができる．左手系領域と右手系領域間のバンドギャップの上限および下限ではインピーダンスはゼロか無限大を取るため，整合を取ることが難しい．直列共振周波数と並列共振周波数が等しい構造をバランス型と呼び，バンドギャップが消失する．バランス型の構造の時，ブロッホインピーダンスは右手系，左手系領域間で連続となり，広帯域での整合が可能となる．

４．解析結果

図１に示す広壁 a=18mm，狭壁 b=9mm，長さ d=4mm の導波管で，スタブ長 l=16，20mm の場合について電磁界解析し，得られた散乱係数から式(1)，(2)を用いて分散特性，およびブロッホインピーダンスを求めた．結果を図２，３に示す．

左手系領域は，l=16mm の構造では 9.5～10GHz に，l=20mm の構造では 9.1～9.6GHz に現れている．l=16mm の構造ではバンドギャップが改善されており，整合可能な帯域が広くなることが確認できた．

５．まとめ

左手系，右手系領域間におけるインピーダンス整合を考慮した導波管を解析し，その特性を確認した．給電部の右手系伝送線路と左手系導波管におけるインピーダンス整合が今後の課題である．

参考文献

(1) T. Ikeda et al, ISAP, 2007
(2) R. E. Collin, Field Theory of Guided Waves, IEEE Press, 1990

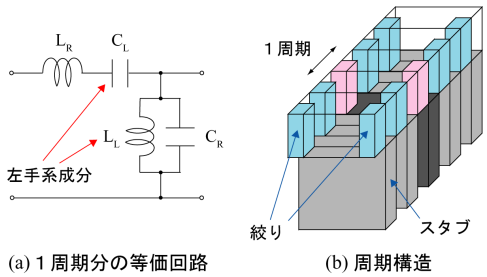

図１：左手系導波管の構造

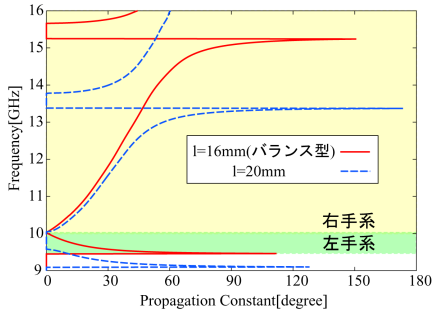

図２：位相定数分散特性

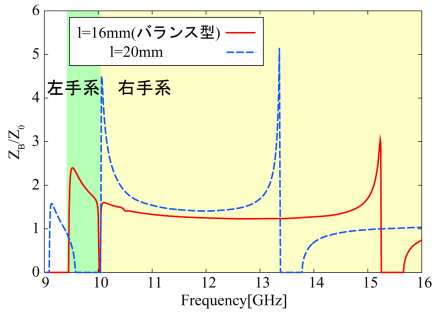

図３：ブロッホインピーダンス