

メタマテリアル伝送線路における共振に関する考察

Kenji, Anjo / 安生, 健二

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・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 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

58

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

2

(発行年 / Year)

2017-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00014160>

メタマテリアル伝送線路における共振に関する考察

INVESTIGATION OF THE RESONANCE PHENOMENON FOR A METAMATERIAL TRANSMISSION LINE

安生 健二
Kenji ANJO
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

A metamaterial transmission line is known as the composite right-handed and left-handed transmission line, and it has a positive or negative propagation phase constant. At transition from the positive to negative phase constant, the transmission line has a zero phase constant, i.e., it resonances. This paper presents the resonance condition and the behavior of the electric field at resonance.

Key Words : metamaterial, transmission line, resonance

1. まえがき

新しい伝送線路を利用したアンテナの研究が行われている[1]. この新しい伝送線路をメタマテリアル伝送線路と呼ぶ. この伝送路は周波数に応じて位相定数の正負を切り替えることができる[2]. この正負が切り替わる周波数においては位相定数が 0 となる. 本稿では位相定数が 0 となる場合(共振)について検討し, 共振時における電界の振る舞いを数値解析により確認する. 本内容は修士論文第 2 章に一部掲載している.

2. 共振条件

図 1 に伝送線路の等価回路を示す. 線路は長さ p としており, 2つの直列インピーダンス $Z/2$ と 1つの並列アドミタンス Y によって構成されている. 線路には固有の直列インダクタンス成分 L_R と並列キャパシタンス成分 C_R が存在する. C_L と L_L は人工的に与えた直列キャパシタンス成分と並列インダクタンス成分を意味する. これらのインダクタンス成分とキャパシタンス成分により線路の Z と Y の値が決まる.

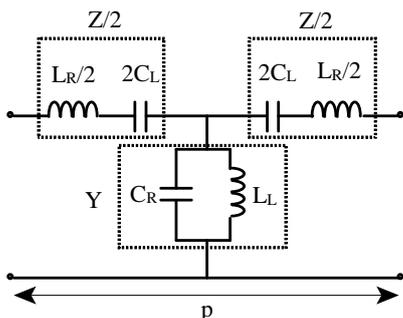


図 1 伝送線路の等価回路

図 1 の線路における F 行列を無損失と仮定した場合 ($\gamma = j\beta$), 式(1)が成り立つ[3].

$$\beta = \frac{1}{p} \cos^{-1} F_{AD} \tag{1}$$

ただし, F_{AD} は式(2)で表わされる.

$$F_{AD} = 1 - \frac{1}{2\omega^2 C_L L_L} + \frac{C_R}{2C_L} + \frac{L_R}{2L_L} - \frac{\omega^2 L_R C_R}{2} \tag{2}$$

これより式(3)が求まる.

$$\beta = \frac{1}{p} \cos^{-1} \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_L^2}{\omega^2} + \frac{\omega^2}{\omega_R^2} - \frac{\omega_L^2}{\omega_{se}^2} - \frac{\omega_L^2}{\omega_{sh}^2} \right) \right) \tag{3}$$

ただし, ω_L は C_L と L_L の共振角周波数であり, ω_R は C_R と L_R の共振角周波数, ω_{se} は C_L と L_R の共振角周波数, ω_{sh} は C_R と L_L の共振角周波数である. 共振時の位相定数 β は 0 となる. つまり式(3)が 0 となる時, 線路は共振している.

3. 数値解析

図 2 に解析したメタマテリアル伝送線路の構造図を示す. この線路はグラウンド板とその上部に配置された誘電体, そしてその上部に印刷された線路部分によって構成されている. 線路部分には周期的にキャパシタンス C_z が挿入されており, 終端はインピーダンス Z_B によりグラ

ンド板へと接続されている。また、線路部分からは周期的にグラウンド板へとビアが延びており、このビアはグラウンド板に設けられたアイランドに接続されている。アイランドとグラウンド板とはインダクタンス L_Y によって接続されている。線路の設計周波数を 3.0 GHz とし、この時線路は共振する。表 1 に各種パラメータを示す。

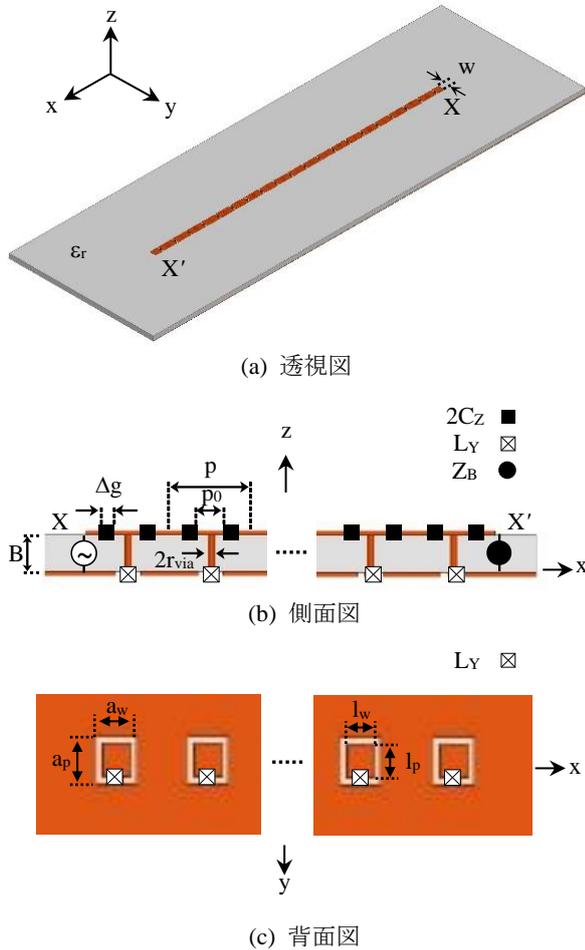


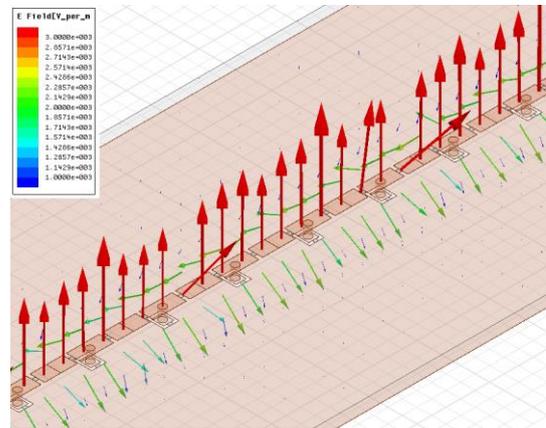
図 2 解析構造図

表 1 パラメータ

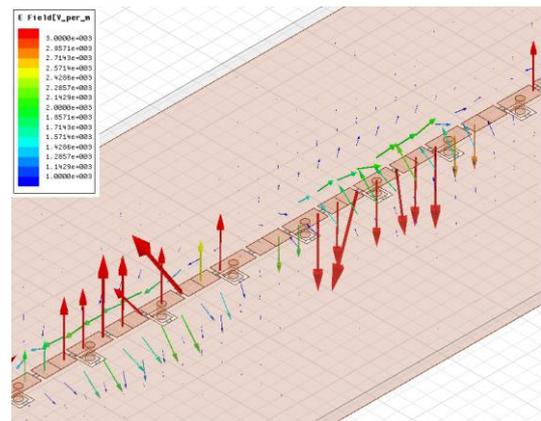
Symbol	Value	Symbol	Value
w	2.00 mm	ap	2.45 mm
B	1.60 mm	aw	2.00 mm
p	10.0 mm	lp	1.65 mm
P ₀	4.50 mm	lw	1.40 mm
Δg	0.50 mm	2Cz	1.30 pF
2r _{via}	1.00 mm	LY	3.16 nH
ε _r	2.60		

図 3 に解析したメタマテリアル伝送線路の電界図を示す。図 3 (a)には共振時である 3.0 GHz での電界図を示し、通常時との比較として図 3 (b)には非共振時である 4.5 GHz での電界図を示している。通常時は伝送路の位相定

数に応じて電界ベクトルの位相は変化して行く。図中の電界ベクトルの向きは伝送線路上で変化しており、位相の変化が確認できる。これに対し共振時は伝送路の位相定数が 0 であり、電界ベクトルの位相は変化しない。図中の電界ベクトルの向きは伝送線路上で変化が無く、位相が変化していないことを意味している。



(a) 3.0 GHz (共振時)



(b) 4.5 GHz (通常時)

図 3 伝送線路の電界図

4. 結論

伝送線路における共振について検討した。また、共振時の電界の振る舞いの数値解析結果を可視化した。

参考文献

- [1] H. Nakano, J. Miyake, M. Oyama, and J. Yamauchi, "Metamaterial spiral antenna" IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 10, pp. 1555-1558, 2011.
- [2] 三宅, "右左手系複合伝送線路," 法政大学大学院工学研究科紀要, vol. 54, 2013 年 3 月.
- [3] C. Caloz and T. Itoh, *Electromagnetic metamaterials*, Wiley, NJ, 2006.