

CRLHユニットセルの平衡条件について

YOSHIDA, Kenta / 吉田, 健太

(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

(巻 / Volume)

56

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

3

(発行年 / Year)

2015-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00011167>

CRLH ユニットセルの平衡条件について

Balanced Condition for CRLH Unit Cell

吉田 健太

Kenta YOSHIDA

指導教員 中野 久松

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

This paper investigates numerical analysis issues on designing a composite right-and left-handed unit cell (CRLH-UC). The CRLH-UC is modeled based on the concept of a right-handed micro strip line. The numerical analysis results are compared with the analytical results.

Key Words: CRLH-UC, Metamaterial, Bloch impedance

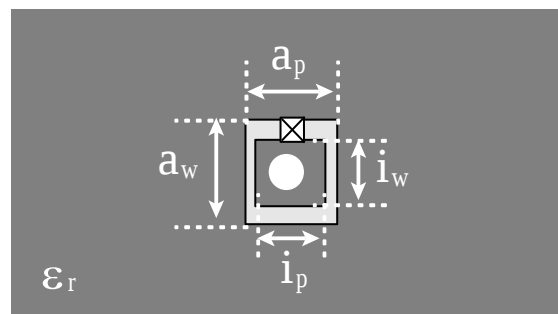
1. まえがき

近年, CRLH-TL(Composite Right- and Left-Handed Transmission Line)を用いたメタマテリアル特性を有するアンテナの研究が盛んに行われている [1]-[4]. 筆者の所属する研究室でも, 文献 [5]の手法を用いて CRLH-TL を構成するユニットセルを設計してきた. しかし, 文献[5]において, ユニットセルを設計した際に平衡条件周波数 3 GHz の部分で, gap が生じてしまう問題点が見られた. 本稿では, この問題点を 2つの観点から考察し, この問題の原因を究明する.

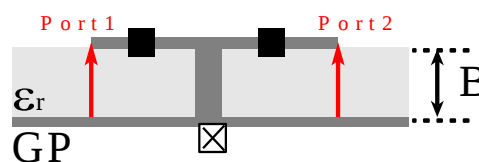
2. 数値解析の視点

(1) CRLH-TL のブロッホインピーダンス

図 1 に CRLH-TL の構造を示す. 表 1 に構造値のパラメータを示す. 本稿では, ブロッホインピーダンスを 50Ω に選んでいる. 左手系性質を得るために, 線路にはチップリアクタンスが装荷されている. チップリアクタンスの大きさは, 実験を想定した構造のため, 1 辺 0.5mm の正方形で構成されている.

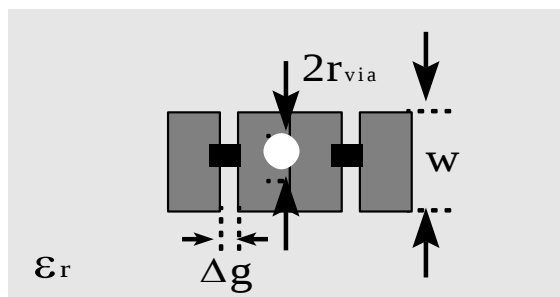


(b) Reverse side



(c) Side view

図 1. 構造図

■ $2C_z$ ⊗ L_y 

(a) Top view

表 1 構造値

Symbol	Value
B	1.6 mm
w	4.4 mm
Δg	0.5 mm
i_w	1.65 mm
i_p	1.40 mm
a_w	2.45 mm
a_p	2.00 mm
L_y	1.8 nH
$2C_z$	1.7 pF
$2r_{via}$	1.0 mm

(2) 設計

図2にCRLH-UCの設計アルゴリズムを示す。解析時に用いるF行列は、Sパラメータから算出される[5]。式(1)、(2)に Z_B と β の式を示す。

$$Z_B = \frac{\pm B}{\sqrt{A^2 - 1}} = \frac{\pm \sqrt{D^2 - 1}}{C} \quad (1)$$

$$\beta = \frac{1}{p} \cos^{-1} \left(\frac{A+D}{2} \right) \quad (2)$$

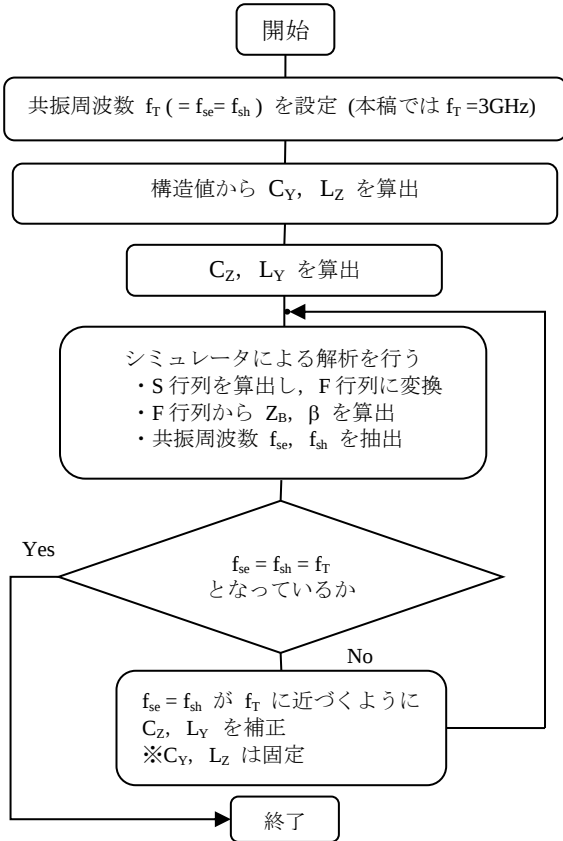


図2. フローチャート

(3) アルゴリズム解析結果

Ansys 社の HFSS を使用して数値解析を行う。ブロッホインピーダンスの周波数特性を図3に示す。ただし、図2のフローチャートを使用している。

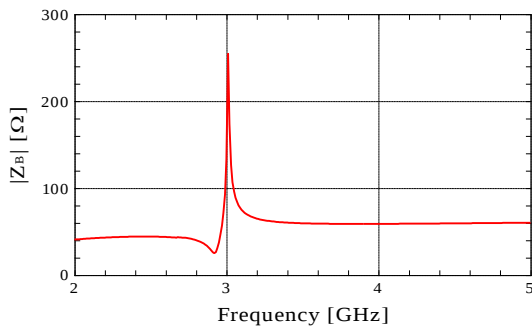


図3. ブロッホインピーダンスの周波数特性
(数値解析結果)

図3より、周波数2 GHzから5 GHzにわたり、50 Ωに近い値を示しているが、平衡条件周波数である3 GHz付近で、ブロッホインピーダンスの極端な上昇が確認できる。以下に、この問題点を回路方程式の視点から究明していく。

3. 回路方程式からの視点

(1) アンテナアームの設計

回路論から、ブロッホインピーダンスを求める手順を示す。

Step1. 使用するマイクロストリップラインの幅、高さ、誘電率等を決めて、特性インピーダンスを求める[5]。

Step2. C_Y , L_Z の値を求める[5]。

Step3. 初期の f_{sh} , f_{se} を設定する。

Step4. 式(3)、(4)を用いることで、 C_Z と L_Y の値を求める。

$$C_Z = \frac{1}{\omega_{se}^2 L_Z} \quad [F] \quad (\text{ただし, } \omega_{se} = 2\pi f_{se}) \quad (3)$$

$$L_Y = \frac{1}{\omega_{sh}^2 C_Y} \quad [H] \quad (\text{ただし, } \omega_{sh} = 2\pi f_{sh}) \quad (4)$$

Step5. 式(5)に、計算した値を代入し、 Z_B (ブロッホインピーダンス)を求める。

$$Z_B = \pm Z_L \sqrt{\frac{\left(\frac{\omega^2}{\omega_{se}^2} - 1 \right)}{\left(\frac{\omega^2}{\omega_{sh}^2} - 1 \right)}} - \frac{\omega_L^2}{4\omega^2} \left(\frac{\omega^2}{\omega_{se}^2} - 1 \right)^2 \quad (5)$$

(2) アルゴリズムの問題点

アルゴリズムにおいては、 f_{se} と f_{sh} の値が等しくなれば、解析が終了となる。よって、所望の C_Z , C_Y , L_Z , L_Y を数値解析で得ることができれば f_{se} と f_{sh} が等しくなる。しかし、式(3)、(4)より、 C_Z , C_Y , L_Z , L_Y の4つのパラメータが、極わずかでも適正な値でない場合、 ω_{se} と ω_{sh} は等しい値にならない。

以上の事実より、 $f_{se} = f_{sh}$ が数値解析上で成り立つことは限りなく不可能なため、厳密な終了は難しい。この事実を次項で証明していく。

(3) ブロッホインピーダンスの計算結果

回路論による計算結果を図4に示す。ただし、以下のA, Bを使用し、(a)~(c)の処理を行っている。

$$A = \left(\frac{\omega^2}{\omega_{se}^2} - 1 \right) \quad (6)$$

$$B = \left(\frac{\omega^2}{\omega_{sh}^2} - 1 \right) \quad (7)$$

- (a) $A = B = 0$ となった場合, $Z_B = Z_L$ とする.
 (b) $A = 0, B \neq 0$ となった場合, $Z_B = 0$ とする.
 (c) $A \neq 0, B = 0$ となった場合, $Z_B = \infty$ とする.

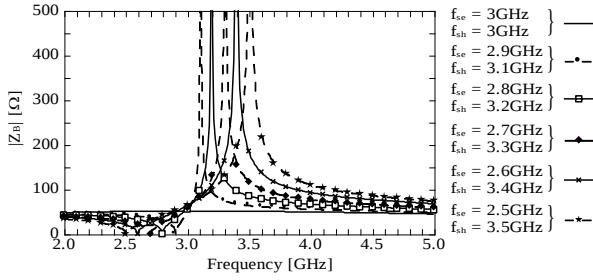


図 4. $f_{se}(\omega_{se})$ と $f_{sh}(\omega_{sh})$ を変数とした場合の
ブロッホインピーダンスの周波数特性

ここで, 平衡条件周波数 3GHz において, 数値解析で gap が生じてしまう問題点を考察する. 数値解析では, 図 2 のフローチャートを用いて C_Z と L_Y を算出するが, 所望の数値を求めることは限りなく困難である. 例として, 所望の値から極僅かにずれた場合を仮定し, $f_{se} = 2.999$ [GHz], $f_{sh} = 3.001$ [GHz] とした場合の計算結果を図 5 に示す. ただし, この時の周波数の刻み Δf は, 0.005 [GHz] とする.

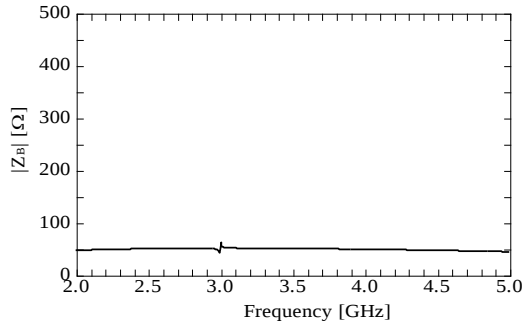


図 5. ブロッホインピーダンスの周波数特性
 $\Delta f = 0.005$ [GHz]

図 5 からわかる通り, $\Delta f = 0.005$ [GHz] で見た場合, 平衡条件周波数 3 [GHz] で gap はほとんど見られないことが分かる. 続いて, 同様の条件で, $\Delta f = 0.0001$ [GHz] で見た場合を図 6 に示す.

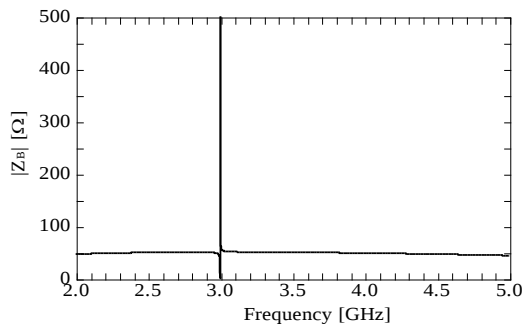


図 6. ブロッホインピーダンスの周波数特性
 $\Delta f = 0.0001$ [GHz]

図 5, 6 を比較してわかる通り, 周波数の刻みを変えることで, 図 6 では, Z_B の値に極端な上昇がみられることが分かる.
 ここで, 図 6 の周波数 3 [GHz] 付近を拡大すると以下のようなになる.

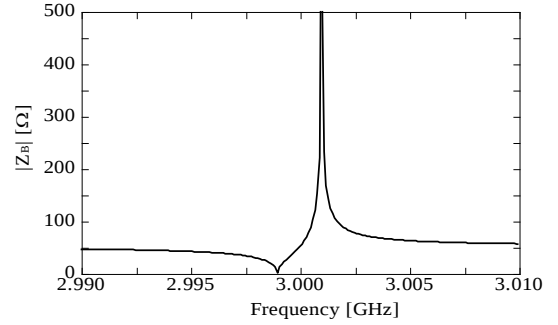


図 7. 平衡条件周波数付近の
ブロッホインピーダンスの周波数特性

上記の結果より, 数値解析において, 平衡条件周波数で gap を無くすことは困難であることがわかる.

4. まとめ

平衡条件周波数 3 GHz の部分で, gap が生じてしまう問題点を検討をした.

参考文献

- [1] L. Liu, C. Caloz, and T. Itoh, "Dominant mode leaky-wave antenna with backfire-to-endfire scanning capability," IEEE Electronics Letters, vol. 38, no. 23, pp. 1414-1416, November 2002.
- [2] 鎌田, 道下, 山田, "梯子型右手/左手系複合伝送線路による UHF 帯漏れ波アンテナ", 電子情報通信学会総合大会, B-1-166, 愛媛, 2009 年 3 月.
- [3] 鎌田, 道下, 山田, "右手/左手系複合伝送線路による UHF 帯漏れ波アンテナの放射特性", 信学技報, vol. 109, no. 117, pp. 7-12, 2009 年 7 月.
- [4] 真田, "法政大学情報通信工学特論(集中講義) 資料", 2009-2010.
- [5] 三宅, 中野, "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.