

損失を有する LC フィルタの 素子感度に関する一考察

野田 浩正 深井 澄夫 石川 弘文

佐賀大学 理工学部

佐賀県佐賀市本庄 1 番地

あらかし 能動 RC フィルタの構成法の一つに、損失を有する LC フィルタをシミュレーションする方法が提案されている。両側抵抗終端形と片側抵抗終端形 LC フィルタの素子感度は、損失係数の変化に対して両側抵抗終端形では高くなる一方であるが、片側抵抗終端形ではある程度の損失係数までは低くなり、その後高くなるという変化を示す。そこで、両者の素子感度を比較すると、損失係数によっては片側抵抗終端形の方が素子感度が低くなり、損失を有する LC フィルタをシミュレーションする場合、損失係数によっては片側抵抗終端形の方が有利となることを示す。

Sensitivity of LC Filters with Dissipation

Hiromasa NODA Sumio FUKAI Hirobumi ISHIKAWA

Faculty of Science and Engineering, Saga University

1. Honjo, Saga-shi, Saga, 840

Abstract A synthesis of RC active filters based on the simulation of LC filter with dissipation has been proposed. This paper deals with the sensitivity of single- and double-terminated dissipative LC filters with fifth and tenth order Chebyshev low-pass and band-pass characteristics. It is shown that single-terminated dissipative LC filters have lower sensitivity than double-terminated one in some dissipation factor, therefore, the former may be preferable to simulate dissipative LC filter.

1. まえがき

これまで能動RCフィルタの構成法に関しての様々な研究がなされてきたが、その一つにLCフィルタをシミュレーションする方法がある。これは通過域において低素子感度特性を持つ両側抵抗終端形LCフィルタをシミュレーションすることにより、低素子感度のフィルタを得ようとするものである。

無損失のLCフィルタをシミュレーションする場合、その能動RCフィルタの構成素子が変わった場合、正、負の損失を有するLCフィルタをシミュレーションしたことになるため、損失を有するLCフィルタをシミュレーションする方法が提案されている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。損失を有するLCフィルタをシミュレーションする場合、基本となるLCフィルタとして両側抵抗終端形と片側抵抗終端形の素子感度特性を改めて調べる必要がある。また損失係数はフィルタが実現可能となる範囲内では自由に選べるが、素子感度特性からはいくらに設定すればよいかを調べてみる必要もある。

本文は、損失を有する片側抵抗終端形および両側抵抗終端形LCフィルタにおける素子の損失係数の変化による素子感度特性の変化をローパスフィルタ、バンドパスフィルタについてコンピュータ・シミュレーションを行い、損失係数によっては片側抵抗終端形LCフィルタの方が低素子感度となることを示す。

2. 一様損失LCフィルタの構成

一様損失LCフィルタは、実現しようとする伝達関数 $T(s)$ を前補償し、その前補償された伝達関数 $T_d(s)$ を無損失LCフィルタとして実現し、その回路のL、Cに損失抵抗の dL 、 $1/dC$ をそれぞれの素子に直列、並列に接続することにより得られる。また、ここで得られたローパスフィルタに(LP-BP)周波数変換を用いることによりバンドパスフィルタを得る。以下に片側抵抗終端形と両側抵抗終端形LCフィルタの設計法を簡単に示す。

2. 1 一様損失片側抵抗終端形LCフィルタ

前補償された伝達関数 $T_d(s)$ を2つの関数、偶関数 $q_1(s)$ と奇関数 $q_2(s)$ に分け、

$$y_{22} = \frac{q_1(s)}{q_2(s)} \quad \dots (1)$$

(1)式で表わされる入力端短絡出力アドミタンス y_{22} を連分数展開し、無損失LCはしご形フィルタを構成する。そして、LとCにそれぞれの素子の損失抵抗 dL 、 $1/dC$ をそれぞれ直列、並列に接続することにより、図1に示す一様損失片側抵抗終端形LCローパスフィルタを得る。⁽⁴⁾

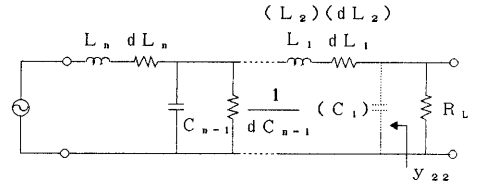


図1 一様損失片側抵抗終端形LCローパスフィルタ

2. 2 一様損失両側抵抗終端形LCフィルタ

前補償された伝達関数 $T_d(s)$ から

$$\rho(s)\rho(-s) = 1 - KT_d(s)T_d(-s) \quad \dots (2)$$

式(2)において、伝達関数 $|T_d(s)|$ が最大となったとき、反射係数 $\rho(s)$ が零となるようにKの値を決定し、この式により求められる反射係数 $\rho(s)$ を

$$Z_i = R_s \frac{1 + \rho(s)}{1 - \rho(s)} \quad \dots (3)$$

式(3)に代入し、回路の入力インピーダンスを求める。ここでは反射係数 $\rho(s)$ の零点の取り方により数種類の入力インピーダンスが得られることになる。そして、この入力インピーダンスを連分数展開し、無損失LCはしご形フィ

ルタを構成した後、 L 、 C にそれぞれの損失抵抗 dL 、 $1/dC$ を接続することにより、図2に示す一様損失両側抵抗終端形LCローパスフィルタを得る⁽⁴⁾。

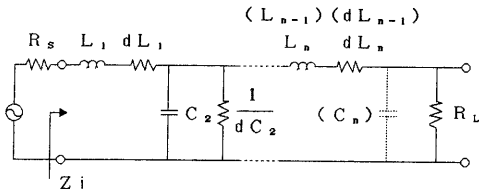


図2 一様損失両側抵抗終端形LCローパスフィルタ

3. 素子感度特性の比較

片側抵抗終端形、両側抵抗終端形LCフィルタにより、チェビシェフ特性(リップル 0.1dB)を2, 3, 4, 5次のローパスフィルタでそれぞれ損失係数を変化させて素子感度特性についてのコンピュータ・シミュレーションを行った(付図A参照)。また、それぞれのローパスフィルタに周波数変換を施し、10次のバンドパスフィルタ(比帯域幅 0.1, 1)についても同様なコンピュータ・シミュレーションを行った。そこで得られた結果により、それぞれの損失係数の変化に対しての素子感度の変化の仕方、同じ損失係数での片側抵抗終端形と両側抵抗終端形の素子感度特性についての考察を行う。なお、両側抵抗終端形LCフィルタは2.2で説明したように、零点の組合せにより数種類の素子感度のデータが得られるため、ここではそれらの中で最も素子感度の低いものを取り上げ、比較の対象としている。

5次のチェビシェフ特性(リップル 1dB)を実現した片側抵抗終端形LCローパスフィルタの通過域における素子感度特性の拡大図を図3に示す。また、これと同じ特性を実現した両側抵抗終端形LCローパスフィルタの通過域における素子感度特性の拡大図を図4に示す。

両側抵抗終端形LCローパスフィルタでは損失係数の増加にともない、素子感度は高くなる。一方、片側抵抗終端形LCローパスフィルタではある程度の損失係数までは素子感度は低くなるが、ある損失係数の値を境に素子感度は高く

なる。また、損失係数の変化に対する片側抵抗終端形と両側抵抗終端形LCローパスフィルタの素子感度の変化の仕方の違いから、素子感度の変化する範囲は片側抵抗終端形LCローパスフィルタの方が狭い。さらに、次数が高くなるにつれてもフィルタが実現可能となる損失係数の範囲が狭くなるために素子感度の変化する範囲は狭くなる。

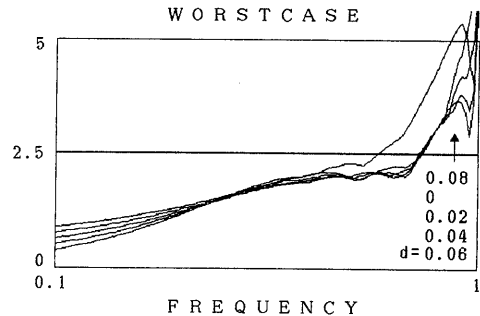


図3 片側抵抗終端形5次LPFの通過域での素子感度特性

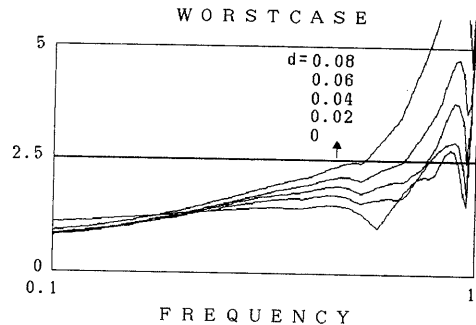


図4 両側抵抗終端形5次LPFの通過域での素子感度特性

つぎに片側抵抗終端形ローパスフィルタと両側抵抗終端形ローパスフィルタの素子感度の比較を図5の5次のチェビシェフ特性(リップル 1dB, 損失係数 0.04, 0.06, 0.08)の場合について行なう。この場合には、損失係数が0.04の時は2種類のフィルタにおける素子感度の高さはそれほど変わらないが、それ以上は片側抵抗終端形と両側抵抗終端形の素子感度の高さの関係が逆転していることがわかる。

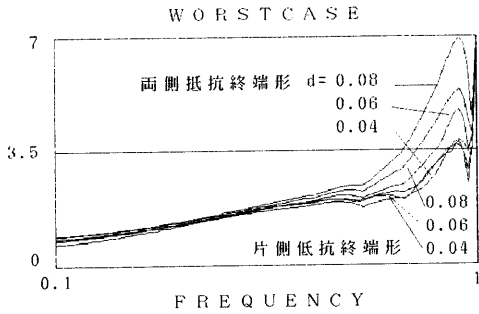


図5 片側抵抗終端形、両側抵抗終端形
5次LPFの通過域での素子感度特性の比較

つづいて10次のチェビシェフ特性(比帯域幅0.1, リップル1dB)の片側抵抗終端形、両側抵抗終端形LCバンドパスフィルタのそれぞれの素子感度特性と損失係数0.06, 0.08の2種類のLCバンドパスフィルタの素子感度特性の比較を図6~8に示す。この場合にもローパスフィルタの場合と同様な傾向がみられる。

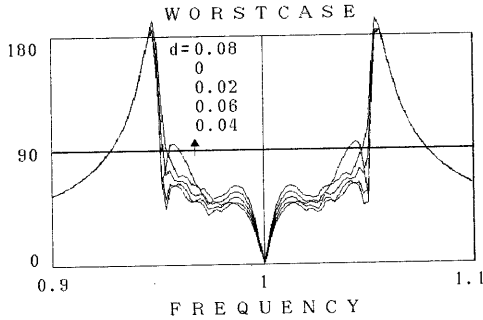


図6 片側抵抗終端形10次BPF
(比帯域幅0.1)の素子感度特性

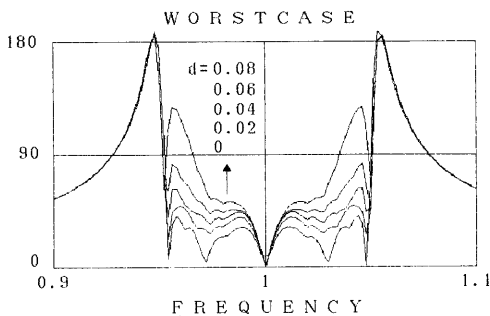


図7 両側抵抗終端形10次BPF
(比帯域幅0.1)の素子感度特性

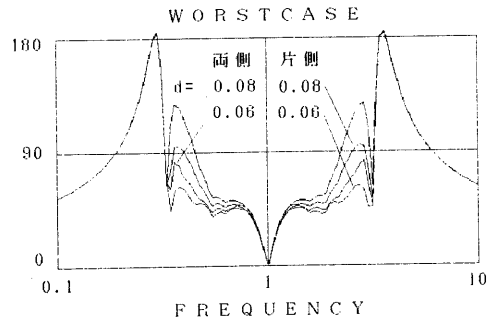


図8 片側、両側抵抗終端形10次BPF
(比帯域幅0.1)の素子感度特性の比較

ここまででは一様損失LCフィルタについての考察であるが、図9に示したLに直列に損失抵抗を含む5次の半一様損失片側抵抗終端形LCローパスフィルタ(チェビシェフ特性, リップル1dB)の通過域における素子感度特性においても一様損失LCフィルタと同様な素子感度特性の変化がみられる。

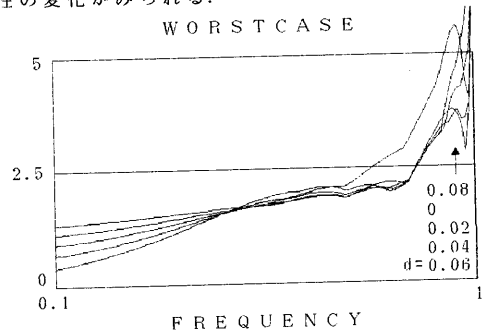


図9 半一様損失片側抵抗終端形5次LPFの
通過域での素子感度特性

以上の結果により、損失を有するLCフィルタをシミュレーションする場合、損失係数によっては片側抵抗終端形LCフィルタの方が低素子感度となり、それを基本LC回路としてシミュレーションした方がよいということがわかる。また、片側抵抗終端形LCフィルタは両側抵抗終端形LCフィルタよりも設計が容易であるという点でもより好都合である。

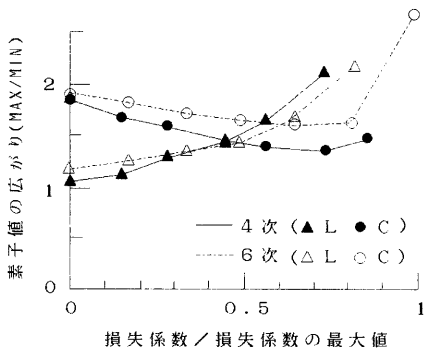
4. 素子値の広がり

ここではLCフィルタの損失係数の変化に対

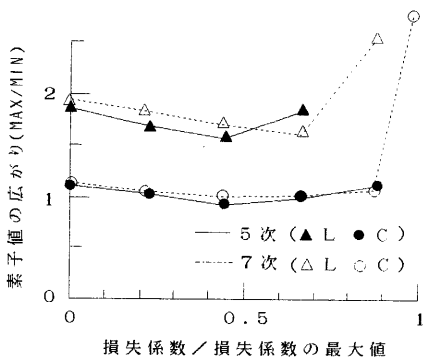
する素子値の広がりの変化の仕方を調べる。片側抵抗終端形 LCローパスフィルタ (4.5,6.7次) のチェビシェフ特性、リップル 1dB) の素子値の広がりについてのグラフを図 10 に示す。

奇数次のフィルタに関しては、L と C の素子値の広がり同時に小さくなる損失係数 d が存在する。また、偶数次のフィルタに関しては、C の素子値の広がりはある値の損失係数で小さくなるが、L の素子値の広がり増加する一方である。

素子値の広がり素子感度の関係は、奇数次のフィルタは L と C、偶数次のフィルタは C の素子値の広がり小さくなる損失係数付近で最も低素子感度となっている。しかし、最終的な素子値の広がり回路を能動 RC 回路化後に決まる。



(a) 4, 6 次 (偶数次)



(b) 5, 7 次 (奇数次)

図 10 損失係数を変化させたときの素子値の広がりの変化

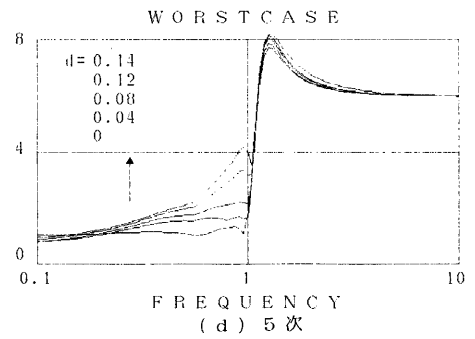
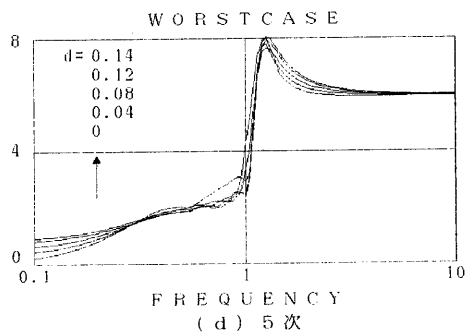
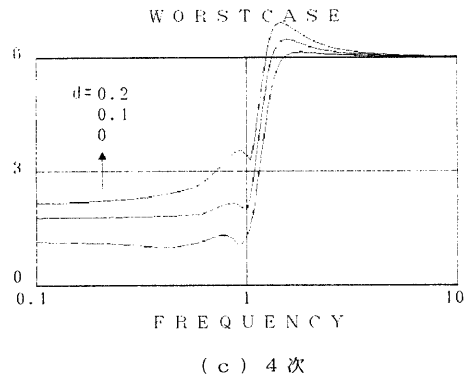
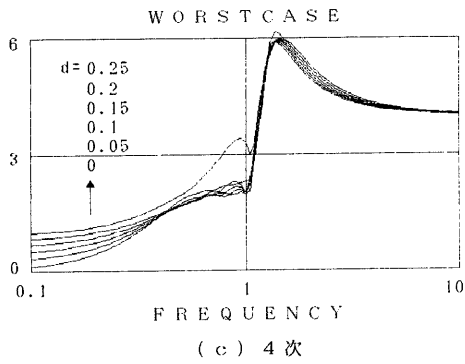
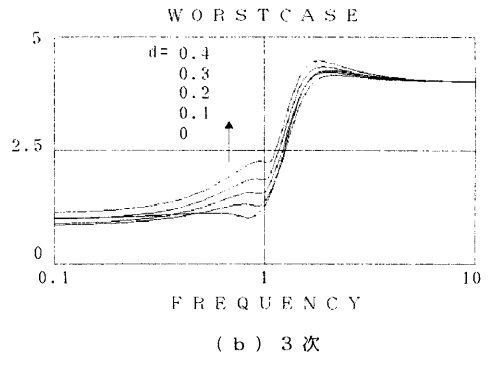
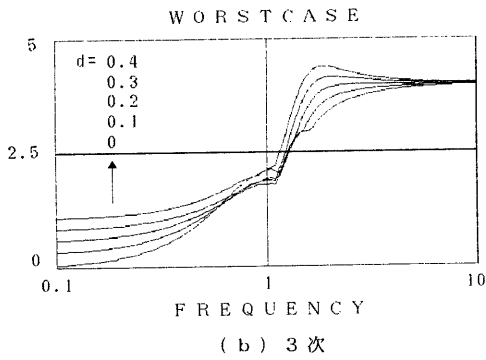
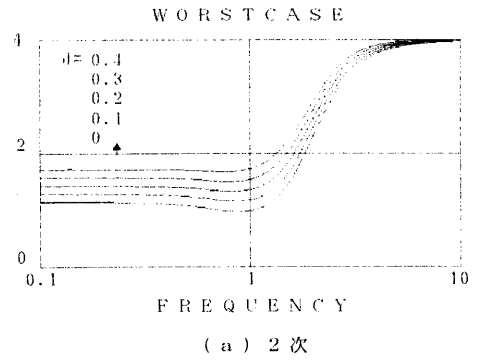
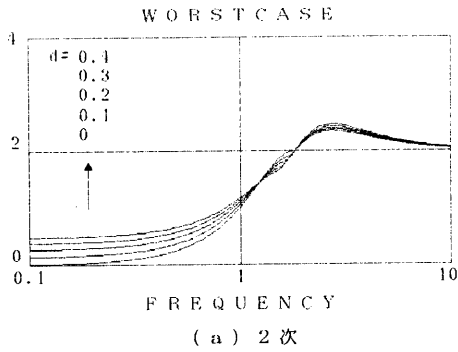
5. むすび

本文は損失を有する片側抵抗終端形、両側抵抗終端形 LC フィルタの素子感度とその素子値の広がりについて考察を行った。その結果、損失係数の変化に対しての片側、両側抵抗終端形 LC フィルタの素子感度の変化の仕方が違うことがわかり、損失係数の値によっては片側抵抗終端形 LC フィルタの方が通過域においての素子感度が低くなることがわかった。また、素子値の広がりに関して、奇数次、偶数次のフィルタでの素子値の広がりの変化の仕方や、素子値の広がり小さくなる損失係数付近で最も低素子感度となることがわかった。

一般に LC フィルタのシミュレーションを行う場合、基本となる LC 回路としては両側抵抗終端形 LC フィルタが用いられているが、損失を有する LC フィルタの場合には、損失係数によっては必ずしも両側抵抗終端形 LC フィルタでなくてもよい。能動 RC 回路化を前提とした場合、能動 RC 回路化後の素子値の広がり考慮すると損失係数は大きくとりたい。その場合は特に片側抵抗終端形 LC フィルタを基本 LC 回路としてシミュレーションした方がよい。

文献

- (1) 石橋 幸男: "一樣損失 LC フィルタをシミュレートする能動 RC フィルタの一構成法", 信学論 (A), J71-A, 8, pp.1552-1562 (1988-8)
- (2) Y. Ishibashi: "An Active RC Filter Based on Simulation of Semi-Uniformly Dissipative LC Filters", Trans. IEICE (Section E), E 72, 1, pp.23-28 (1989-1)
- (3) 石橋 幸男: "少数の電圧ホロフを用いた LC シミュレーション形能動 RC フィルタの構成", 信学論 (A), J72-A, 6, pp.923-930 (1989-6)
- (4) 渡部 和: "伝送回路網の理論と設計", オーム社, (1968)



付図A・1 片側抵抗終端形ローパスフィルタ
チェビシェフ特性 (リップル 0.1dB)

付図A・2 両側抵抗終端形ローパスフィルタ
チェビシェフ特性 (リップル 0.1dB)