

半一様損失 LC フィルタを基にした 能動 RC フィルタ

石川 弘文 原 卓伸 深井 澄夫

佐賀大学 理工学部

佐賀県佐賀市本庄 1 番地

あらまし 能動 RC フィルタの一構成法に損失を有する 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。これは低素子感度で能動素子数の少ない能動フィルタを得ようとするものである。素子感度や素子値の広がりからみると損失係数の選び方によっては通常用いられる両側抵抗終端形よりも片側抵抗終端形の LC フィルタをシミュレーションした方が有利になる場合がある。本文では、片側抵抗終端形半一様損失 LC フィルタを基にインピーダンス・シミュレーションにより 5 種類の 4 次低域通過フィルタ（通過域リップル 0.5 dB のチェビシェフ特性）を構成し、これらの回路の特性を比較、検討した。その結果、これらの能動 RC フィルタの特性にはかなりの差異があり、基とする LC フィルタの選択とともにどのような回路で最終的に実現するかが重要であることを示す。

Active RC Filters based on Semiuniformly Dissipative LC Filters

Hirobumi ISHIKAWA Takanobu HARA Sumio FUKAI

Faculty of Science and Engineering, Saga university

1, Honjo, Saga-shi, saga, 840

Abstract The active RC filters based on the simulation of dissipative LC filters has been proposed. It has low sensitivity and a reduced number of operational amplifiers. In the simulation of dissipative LC filters, single-terminated type may be more advantageous than conventional double-terminated one. We present five kinds of impedance simulation type active RC filters based on semiuniformly dissipative single-terminated LC filters and examine these characteristics, sensitivity, dynamic range and effect of finite GB product of opamps by computer simulation.

1. まえがき

能動RCフィルタの構成法の一つに、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もつ両側抵抗終端形LCフィルタをシミュレーションすることにより、低素子感度の能動フィルタを得ようとするものであるが、一般に多数の能動素子を必要とする。そこで、能動素子数を減らした構成法として、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^{(1),(2),(3)}されている。損失を有するLCフィルタの素子感度や素子値の広がりに関するさきの考察⁽⁴⁾からすると、損失係数の選び方によっては、通常の両側抵抗終端形よりも片側抵抗終端形のフィルタをシミュレーションする方が有利になる。

本文は、インピーダンス・シミュレーション法により、片側抵抗終端形半一樣損失LCフィルタをシミュレーションした5種類の能動RCフィルタについて、その素子感度特性、ダイナミックレンジ特性、演算増幅器の有限GB積の影響について比較、考察した。その結果、ダイナミックレンジ特性、演算増幅器の有限GB積の影響は回路により大きく異なり、基とするLCフィルタの選択とともに、最終的にどのような回路で実現するかが大変重要であることが分かった。

2. 半一樣損失LCフィルタとその能動RC回路化

ここで考える半一樣損失LCフィルタは、L、Cの一方のみが損失をもつフィルタとする。損失抵抗がLに入るかCに入るか、L、Cに直列に入るか並列に入るかで4通りが考えられる。図1に半一樣損失片側抵抗終端形LCフィルタを示す。図1の回路を基本として、直接あるいは図2のようにインピーダンス・スケールした回路をインピーダンス・シミュレーションにより能動RC回路化するとき用いる能動イミタンス回路を図3に示す。能動イミタンス回路により置き換える回路部分は図1、2の回路中の点線で囲まれた部分である。

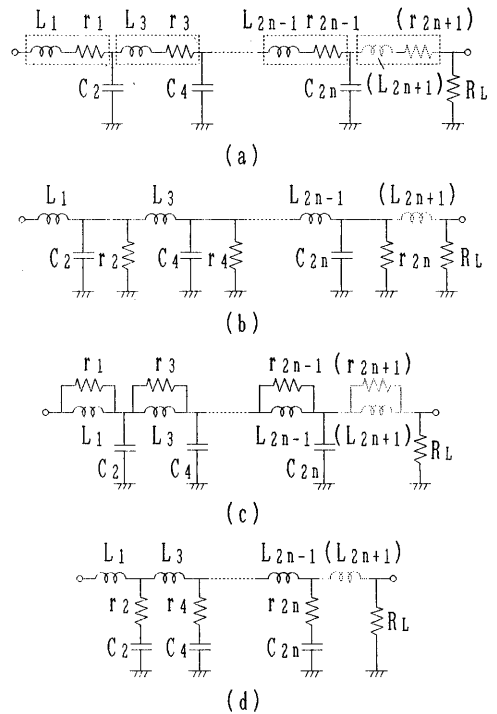


図1 半一樣損失片側抵抗終端形LCフィルタ

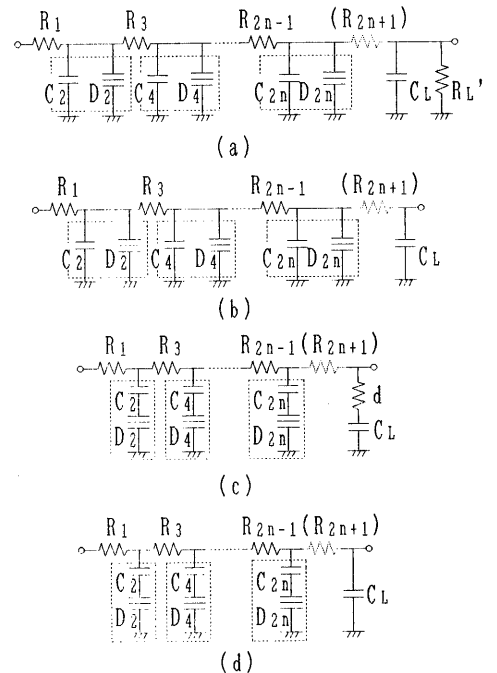
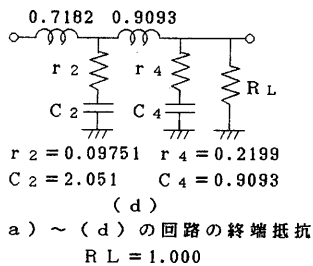
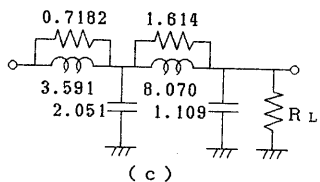
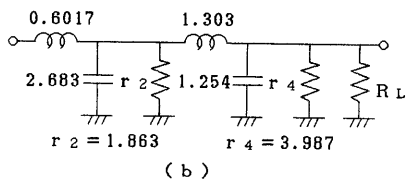
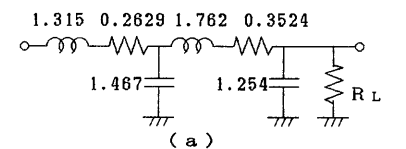


図2 図1をインピーダンス・スケールした回路

実現する回路部分	用いる能動回路

図3 能動イミタンス回路



単位は $R[\Omega]$ $L[H]$ $C[F]$

図4 4次チェビシェフ特性((c), (d))の回路は拡張チェビシェフ特性の半一樣損失片側抵抗終端形LCフィルタ

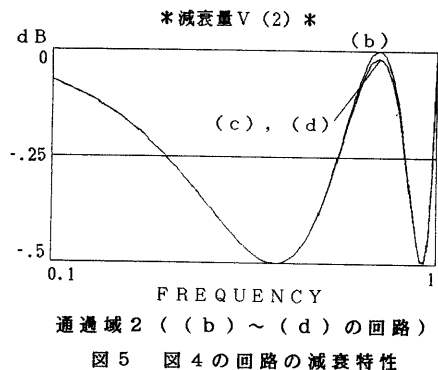
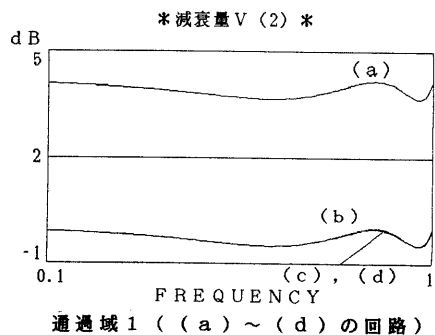
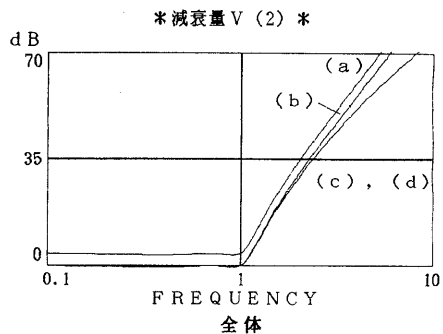


図5 図4の回路の減衰特性

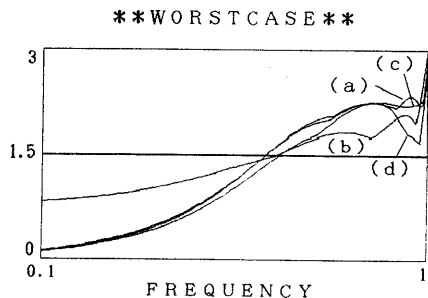
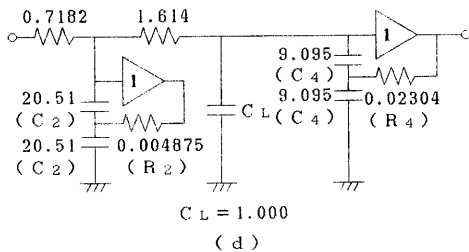
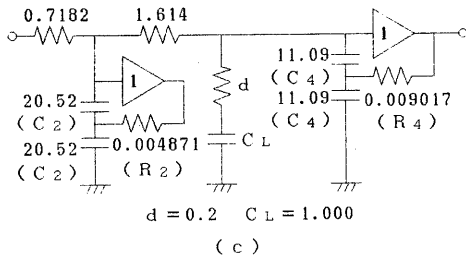
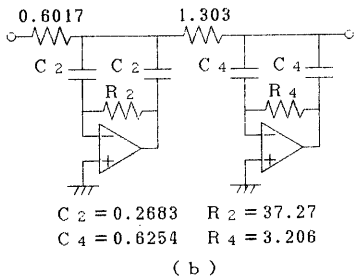
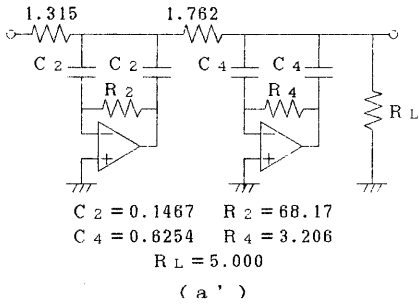
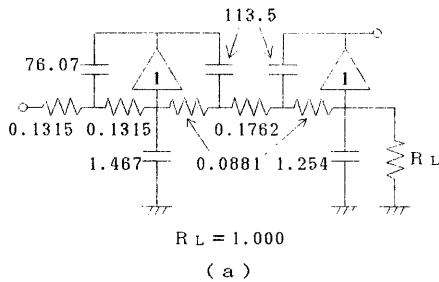


図6 図4の回路の素子感度特性



単位は R [Ω] C [F]

図7 能動RC回路

3. 回路の構成例と特性の考察

図4に通過域リップル0.5dBの4次チェビシェフ(c), (d)の回路は拡張チェビシェフ⁽³⁾特性をもつ半一樣損失片側抵抗終端形LCフィルタによる低域通過フィルタを示す。損失係数dは0.2に選んでいる。これらの回路の減衰特性、素子感度特性を図5、図6に示す。図4の回路を基に、直接あるいはインピーダンス・スケーリングを行なって能動RC回路化した回路を図7に示す。図7の回路の素子感度特性を図8に示す。また、図9に図7の回路における演算増幅器の有限GB積の影響を示す。

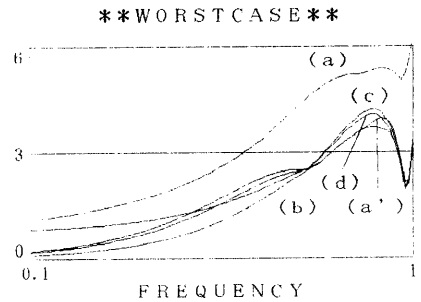


図8 図7の回路の素子感度特性

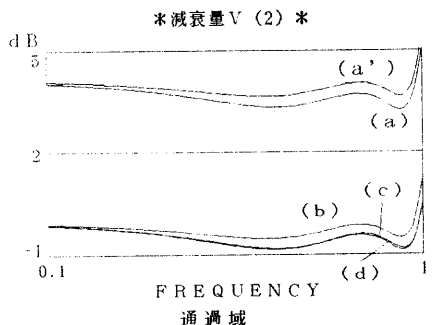
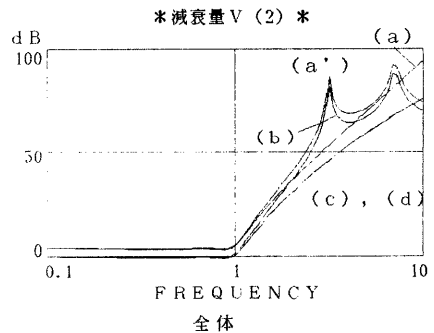
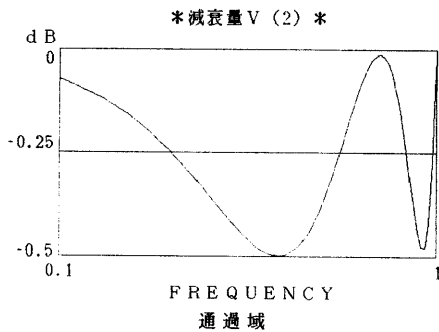
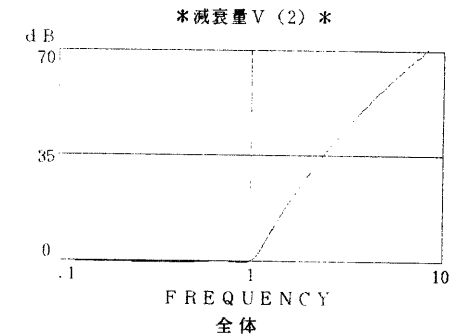


図9 演算増幅器のGB積の影響

これより素子感度特性については図7の回路間でそれほど差はないが、減衰特性における演算増幅器の有限GB積の影響については大きな差があることがわかる。

図7の回路に用いた能動イミタンス回路における演算増幅器の有限GB積の影響についての考察⁽⁵⁾より、図(c)、(d)の回路についてはその影響が補償される。補償した場合の回路の素子値と減衰特性を図10に示す。これを見てわかるようにGB積の影響はほぼ補償されている。



(補償後の減衰特性)

素子	(c)	(d)
R_2	0.005358	0.005363
R_4	0.009919	0.01209
C_2	18.65	18.65
C_4	10.08	8.268

単位は R [Ω] C [F]

(補償後の素子値)

図10 GB積の補償後の減衰特性と各回路の素子値

図7の回路のダイナミックレンジ特性は図11のようになる。ダイナミックレンジ特性として入力端に近い方の演算増幅器の出力の特性を示している。図11より、電圧ホロウを用いた回路の特性が優れていることがわかる。素子値の広がりには表1に示す。

以上の結果より、減衰特性が同一でないので厳密な比較にはならないが、図(c)、(d)の回路が総合的にみると優れていると思われる。

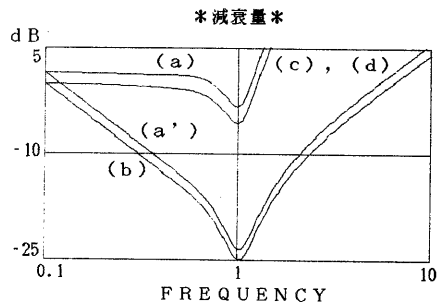


図11 ダイナミックレンジ特性

表1 素子値の広がり (d=0.2)

	(a)	(a')	(b)	(c)	(d)
E_R	11.35	51.84	61.94	301.2	301.0
E_C	90.51	4.263	2.331	18.65	18.65

4. むすび

損失を有するLCフィルタとしての半一様損失片側抵抗終端形LCフィルタを基に、インピーダンス・シミュレーションにより実現した能動RCフィルタを示し、その特性を比較した。最終的に実現する回路により、実際の特性がかなり異なってくることから、基とするLCフィルタの選択とともに回路の選択も重要であることを示した。

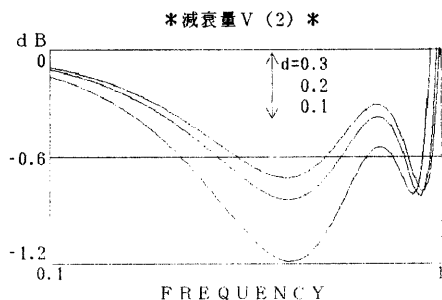
参考文献

- (1) 石橋幸男: "一様損失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.1552-1561(昭63-08)
- (2) Y.Ishibashi:"An active RC Filter based on simulation of semiuniformly dissipative LC filters",Trans.IEICE,E72,1,pp.23-28 (Jan.1989).
- (3) Y.Ishibashi:"An Active RC Filter based on simulation of LCR filters with a reduced number of operational amplifiers",IEICE,E72,12,pp.1417-1424 (Dec.1989).
- (4) 野田, 深井, 石川: "損失を有するLCフィルタの素子感度に関する一考察", 信学技報, CAS92-(92-05).
- (5) 中河原, 石川, 深井: "能動RLCフィルタの能動RC回路化におけるGB積の影響", 信学技法, CAS91-42(91-06)

付録

1. 損失係数による演算増幅器の有限GB積の影響の変化

シミュレーションの基とするLCフィルタにおける損失係数の決定に関して, 演算増幅器の有限GB積の影響の点からすると, 損失係数を大きくとる方が影響が少なくなる。これは, 能動イミタンス回路において演算増幅器の有限GB積によって生じる寄生素子の影響が少なくなるからである。付図1に例を示す。



付図1 損失係数による演算増幅器の有限GB積の影響の変化
(図6(c)の回路)