



ミューテータを用いたはしご形フィルタの構成

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 北海道教育大学 公開日: 2010-07-12 キーワード: 作成者: 北守, 進 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.32150/00004546

ミューテータを用いたはしご形フィルタの構成

北 守 進

北海道教育大学函館校技術教室

Realization of a Ladder Filter Using Mutators

Susumu KITAMORI

Technical Laboratory, Hakodate Campus
Hokkaido University of Education
Hakodate 040

Abstract

In this paper, a LC simulation-type RC active filter is presented. The proposed circuit simulates the doubly terminated ladder filters. First, a second-order Butterworth low-pass filter is designed. Second, L-R mutators are shown to be useful in synthesizing a floating inductor. The measured transfer response is in a good agreement with the theoretical value.

1. ま え が き

能動RCフィルタの構成法のひとつに、LCシミュレーション形構成法がある。LCシミュレーション形構成法は、能動RCフィルタのもうひとつの代表的構成法である縦続接続形構成法と比較して、低素子感度なフィルタを実現することが可能である。これは両抵抗終端形LCRフィルタを何らかの方法でシミュレートしているため、その低感度性のある程度受け継ぐことができるためである^{(1)~(3)}。一方、L.O.Chuaの提案したミューテータの原理を利用してインダクタンスあるいはキャパシタンスをシミュレートする方法がある。ミューテータとは、あるタイプの非線形特性を他のタイプの非線形特性に変換する能動2端子対回路である^{(4),(5)}。

そこで本論文では、従来の両抵抗終端はしご形LCフィルタにおいて、非接地形インダクタンスをミューテータでシミュレートして能動RCフィルタを構成した場合の結果について報告する。

2. バタワース・フィルタの設計

構成例として両抵抗終端2次バタワース・低域フィルタを考える⁽⁶⁾。両抵抗終端2次バタワース・フィルタ(プロトタイプ)の伝達関数 $H(s)$ は次のように表される。

$$H(s) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{s^2 + \sqrt{2}s + 1} \quad (1)$$

(1)式の右辺を変形すると、次式が得られる。

$$H(s) = \frac{\frac{1}{\sqrt{2}s} \parallel 1}{1 + \sqrt{2}s + \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \parallel 1\right)} \quad (2)$$

(2)式より、2次バターワース・フィルタとして、図1の回路が対応することがわかる。

プロトタイプ・フィルタはカットオフが $\omega = 1$ であるから、カットオフ $\omega \neq 1$ のフィルタはプロトタイプ・フィルタを変換して求めなければならない。本論文では一例として、カットオフ周波数 f_c として 1KHz ($\omega_c = 2\pi \times 10^3$) の低域フィルタを設計する。プロトタイプ・フィルタに含まれる素子 L, C, R それぞれのインピーダンスを $s = j\omega$ を用いて表すと $j\omega L, 1/j\omega C, R$ となる。インピーダンスの中の ω を $\omega \rightarrow \omega / \omega_c$ で変換すると、インダクタンスについては $L \rightarrow L / \omega_c$ 、容量については $C \rightarrow C / \omega_c$ 、抵抗 R はそのまま $R \rightarrow R$ とすればよいことがわかる。次にすべての構成素子を k でインピーダンス変換すると、インダクタンスについては $L \rightarrow kL$ 、容量については $C \rightarrow C / k$ 、抵抗については $R \rightarrow kR$ となる。本論文で、 $k = 1000$ として設計した回路を図2に示す。

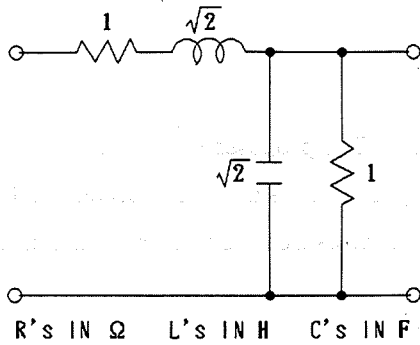


図1 両抵抗終端2次バターワース・フィルタ (プロトタイプ)

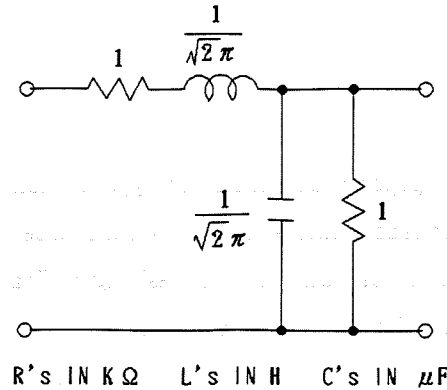


図2 両抵抗終端2次バターワース・低域フィルタ (カットオフ周波数 1 KHz, インピーダンス変換した最終の回路例)

3. 非接地形インダクタの実現

ミューテータは、あるタイプの非線形素子を他のタイプの非線形素子に変換するための2端子対回路であり、インピーダンス変換作用をもっている。その変換の作用により、ミューテータは幾種類かに分類される。それらは終端に R を接続すると、入力側が L となる $L-R$ ミューテータ、および C となる $C-R$ ミューテータなどがある。ミューテータの特性は、入力および出力側における電圧・電流間の一定の微分・積分関係で示される。たとえば、タイプ3 $L-R$ ミューテータでは、

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= k_1 V_2 \\ I_1 &= k_2 \int I_2 dt \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

で表される。ここで、 V_1, I_1 は入力側の電圧・電流、 V_2, I_2 は出力側の電圧・電流であり、 k_1, k_2 は定数である。この伝達マトリクスは、周波数領域では次のようになる。

$$T_{LR3}(s) = \begin{bmatrix} k_1 & 0 \\ 0 & k_2/s \end{bmatrix} \quad (4)$$

ミューテータを用いて非接地形インダクタを得るための構成法はいくつか考えられるが、本論文では二つのタイプ3 $L-R$ ミューテータを抵抗 R を介して図3のように逆方向から駆動したものを縦続接続するこ

とにより実現した⁷⁾。この回路全体のマトリクスは次式で与えられる。

$$\begin{pmatrix} k_1 & 0 \\ 0 & k_2/s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & R \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} k_1 & 0 \\ 0 & k_2/s \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & \frac{k_1 R}{k_2} s \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

これはインダクタンス

$$L_e = \frac{k_1}{k_2} R \quad (6)$$

なる非接地形インダクタと等価となる。

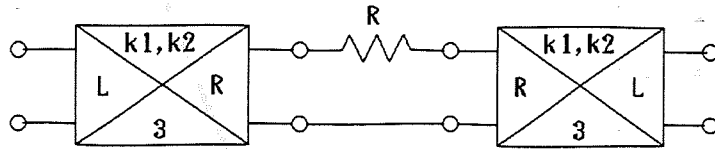


図3 二つのタイプ3 L-R ミューテータを使った非接地形インダクタ

4. 実 験

図4は、図2、図3を基にして演算増幅器により構成した実験回路である。ここでOP1,OP2はタイプ3 L-R ミューテータを構成しており、またOP3,OP4は逆方向から駆動したタイプ3 L-R ミューテータである。また、OP1,OP3は出力電流を積分する積分器であり、抵抗 R_3 はOP1,OP3の直流分安定のためのものである。ここで演算増幅器が理想的であり、 $R_3 \gg 1/\omega C_1$ とすると、OP1~OP4は $k_1 = 1, k_2 = 1/C_1 R_2$ のタイプ3 L-R ミューテータを抵抗 R を介して縦続接続したものとなる。したがって、この場合の非接地形インダクタンスの等価インダクタンスは、(6)式より、次のようになる。

$$L_e = C_1 R_2 R \quad (7)$$

今回用いた素子の値は、図4の回路において、 $R = 22.5\text{K}\Omega, C_1 = 1000\text{pF}, R_2 = 10\text{K}\Omega, R_3 = 2\text{M}\Omega, R_4 = 10\text{K}\Omega$ とした。また R_1 の値は、発振器の内部抵抗である 50Ω を考慮して、 950Ω とした。また、 $C_2 = 0.225\mu\text{F}, R_5 = 1\text{K}\Omega$ であり、演算増幅器はLF356を用いた。図5に、実験結果の減衰特性を示しているが、カットオフ周波数より低い周波数領域では実測値は理論値よりやや大きな値を示しているものの、カットオフ周波数より高い周波数領域では実測値と理論値とはかなり一致しており、2次の特性である 12dB/oct の減衰が得られていることがわかる。

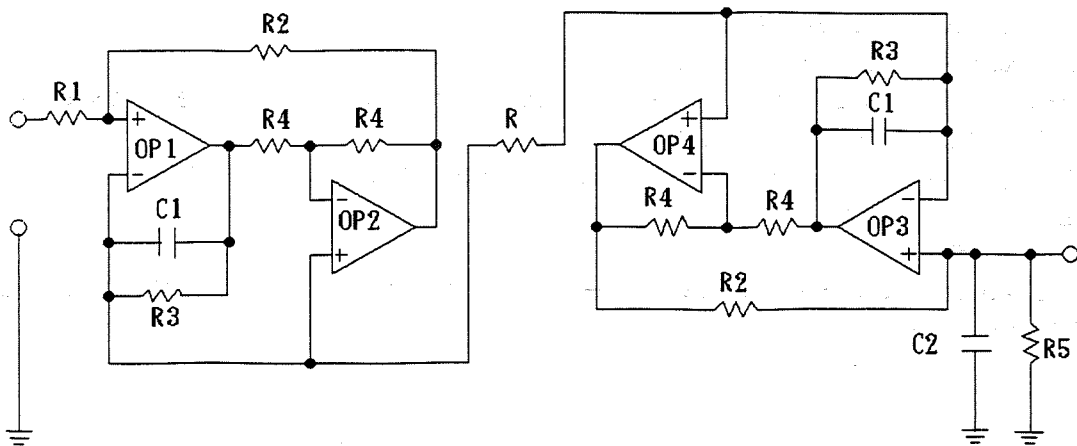


図4 実験回路

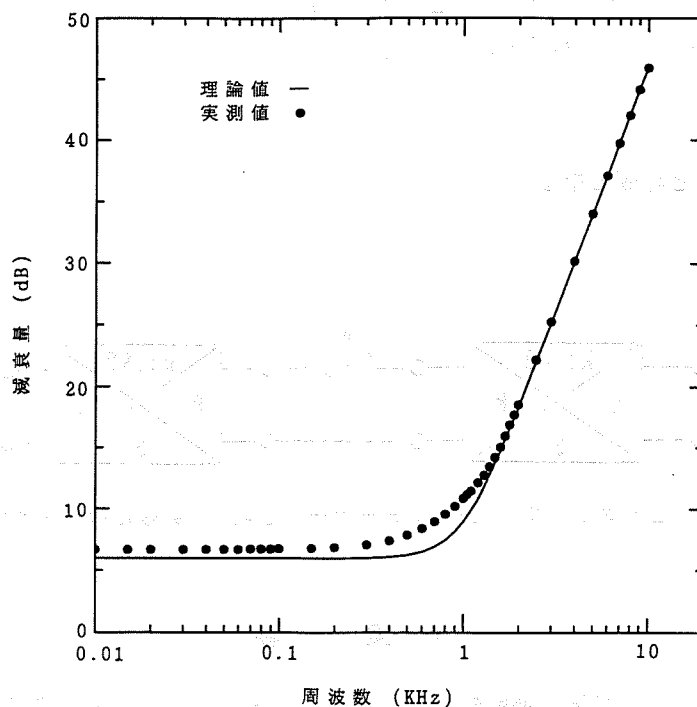


図5 実験結果

5. むすび

両抵抗終端はしご形LCフィルタにおいて、非接地形インダクタンスをミュテータでシミュレートして能動RCフィルタを構成する方法について述べ、実験を行った。測定結果は理論値とほぼ一致し、本構成法の有効性を確認した。また、本論文では、低域通過フィルタの構成例を示したが、本構成法を用いて高域通過フィルタや帯域通過フィルタを実現することもできる。

今後の課題としては、素子感度の検討、ならびに素子数の低減がある。

文 献

- (1) 石橋幸男, 続和久: 損失を有するLC素子によるはしご形フィルタの構成とその能動RC回路による実現, 電気学会論文誌, Vol.114-C, No.12, pp.1292-1296 (1994).
- (2) H.J.Orchard: Inductorless filters, Electron. Lett., 2, 224-225 (June 1966).
- (3) 高木茂孝, 藤井信生: インピーダンス・スケーリングされたLCRフィルタの電圧フォロワを用いたシミュレーション, 電子通信学会論文誌, Vol.J67-A, No.11, pp.1060-1067 (1984).
- (4) L.O.Chua: Synthesis of new nonlinear network elements, Proc. IEEE., 56, 8, 1325-1340 (Aug. 1968).
- (5) 北守進, 石井克幸: 回路リフレクタの一構成方法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J71-A, No.1, pp.119-122 (1988).
- (6) 佐藤力: 電子回路論, 昭晃堂 (1980).
- (7) 丹野頼元, 牧野雅行: ミュテータによるシミュレーション・リアクタンス回路の実現について, 電子通信学会論文誌, Vol.J65-C, No.6, pp.460-466 (1982).