

電流帰還形帯域フィルタの温度特性

入江利明,** 池田一二*, 富田安志*, 本多誠一*

(昭和55年9月8日受理)

Thermal Characteristics of Current Feedback Type Active Band-pass Filter

TOSHIAKI IRIE, KATSUJI IKEDA, YASUSHI TOMITA and SEIICHI HONDA

Abstract – In this paper, thermal stability of the active band-pass filter using single amplifier is described. Taking Gain-Sensitivity Product (GSP) into consideration in filter design, we measured thermal characteristics of 3PA type filter, and compared it with that of Sallen-Key type. Experimental results show the superiority of 3PA type filter.

1. まえがき

最近の集積技術の目ざましい進歩に伴い、電子回路の集積化が行われており、RCアクティブフィルタの実現もその手段といえる。アクティブフィルタの研究には数多くの報告があり、代表的なものとしてSallen-Key形がよく知られている⁽¹⁾。Sallen-Key形の構成理論は増幅器が理想特性をもつものとして組み立てられている。しかし、実際には増幅器の特性は非理想特性の場合が多く、その影響についてはいくつかの報告がなされている⁽²⁾⁽³⁾。

その一改善法として三端子対増幅器(以下3PAと略す)を用いた構成が提案されているが⁽⁴⁾、いずれも実用面で要求されている周囲温度の変化に対する安定性の報告が不十分と考えられる。

本文では3PAを用いた帯域フィルタの温度変化に対する安定性について考察したものである。すなわち、⁽⁵⁾Sallen-Key形と3PA形について利得感度積(GSP)を考慮して設計し、その温度特性を実測して3PA形が優れていることを確かめている。

2. 電流帰還形帯域フィルタ

3PAを用いて帯域フィルタを実現する回路構成を図

1に示す。ここで、3PAの3端子対ハイブリッドパラ

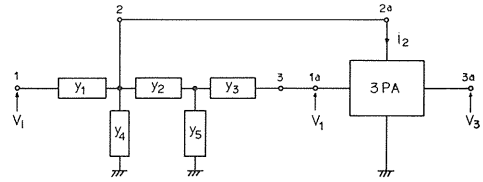


Fig. 1 Circuit configuration

メータを次のように仮定する。

$$h_{ij} = \begin{bmatrix} h_{11} & 0 & 0 \\ -h_{21} & 0 & 0 \\ -h_{31} & 0 & h_{33} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式(1)より、図1の電圧伝達関数($T(s) = V_3 / V_1$)は次式となる。

$$T(s) = \frac{-h_{31} y_1 y_2 y_3}{(y_1 + y_4) \{ (h_{11} y_3 + 1) (y_2 + y_5) + y_3 \} + (h_{11} y_3 + 1) y_2 y_5 + y_2 y_3 - h_{21} y_2 y_3} \quad (2)$$

式(2)より、帯域通過関数とするためのRC受動素子の組み合わせは、次の2通りが考えられる。ここでは、Type I, Type IIとする。

* 茨城大学工学部電子工学科(日立市中成沢町)

** 茨城大学大学院工学研究科電子工学専攻(日立市中成沢町)

Type I $y_1 = 1/R_1, y_2 = sC_2, y_3 = 1/R_2$
 $y_4 = 1/R_3, y_5 = sC_1$

Type II $y_1 = 1/R_1, y_2 = sC_2, y_3 = 1/R_2$
 $y_4 = sC_1 + 1/R_3, y_5 = 0$

ここで、各素子値を

$$\begin{aligned} R_1 // R_3 = R, R_2 + h_{11} = \alpha R, \\ C_1 = C, C_2 = \beta C \end{aligned} \quad (3)$$

とすれば、式(2)は、次のような帯域通過関数となる。

$$T(s) = \frac{-\frac{\omega_o}{Q_2} H s}{s^2 + \frac{\omega_o}{Q_o} s + \omega_o^2} \quad (4)$$

ただし、

$$\left. \begin{aligned} Q_o &= \frac{1}{m_p - k h_{21}} \\ \omega_o &= \frac{1}{C R \sqrt{\alpha \beta}} \\ H &= \frac{h_{31}}{R_1} k Q_o \end{aligned} \right\} (5)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{Type I } m_p &= \sqrt{\alpha \beta} + \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} + \sqrt{\frac{\beta}{\alpha}}, k = \sqrt{\frac{\beta}{\alpha}} \\ \text{Type II } m_p &= \sqrt{\alpha \beta} + \sqrt{\frac{\beta}{\alpha}} + \frac{1}{\sqrt{\alpha \beta}}, k = \sqrt{\frac{\beta}{\alpha}} \end{aligned} \right\} (6)$$

3. GSP を考慮した設計法

電源電圧や温度の変動に対して、安定な回路を設計するには、G. S. Moschytz が提唱した利得感度積 (GSP) を考慮する方法がある。

Q の変化は GSP によって次のように表わされる。

$$\frac{\Delta Q}{Q} = (K S_K^Q) \frac{\Delta A}{A^2} = (\text{GSP}) \frac{\Delta A}{A^2} \quad (7)$$

ここで、 $\Delta A / A^2$ は回路形式には無関係で、増幅器だけによる量である。従って、増幅器の温度変化等による $\Delta Q / Q$ への影響は、GSP に比例して現われることになり、GSP はより安定な回路を作る上での指標となるものである。

式(3)より、GSP を計算すると次式のようになる。

$$\text{GSP} = h_{21} \cdot S_{h_{21}}^{Q_o} = \frac{(m_p Q_o - 1)^2}{k Q_o} \div \frac{m_p^2}{k} \cdot Q_o \quad (8)$$

したがって

$$U = \frac{m_p^2}{k} \quad (9)$$

を最小とする α, β の組を選べばよいわけである。ある α の値に対する U の最小値を U_{\min} とすると U_{\min} とそのときの β の値はそれぞれ次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \text{Type I } U_{\min} &= 3.08 (\alpha + 1)^{3/2} \\ &\beta = 3\alpha / (\alpha + 1) \\ \text{Type II } U_{\min} &= 3.08 \frac{(\alpha + 1)^{3/2}}{\sqrt{\alpha}} \\ &\beta = 3 / (\alpha + 1) \end{aligned} \right\} (10)$$

式(10)より、GSP の最小値は Type I で $\text{GSP} = 3.08 Q_o$ 、Type II では $\text{GSP} = 8.0 Q_o$ ($\alpha = 0.5, \beta = 2$) である。Type I の方が Type II に比べて GSP を小さくできることがわかる。Type I では α が小さい程 GSP を小さくできるが、あまり小さくしてもさほど効果はなく、設計上も $\alpha = 0.1$ 以上が適当と思われる。

4. Sallen-Key 型帯域フィルタの設計

図 2 の Sallen-Key 型について、GSP を考慮して設計する。

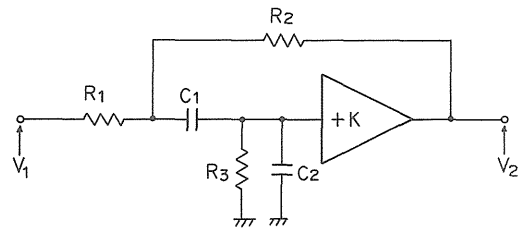


Fig. 2 Sallen-Key type band-pass filter

ここで、 $R_1 = a / (a - 1) \cdot R, R_2 = a R, R_3 = \alpha R, C_1 = C, C_2 = \beta C$ とすると

$$\left. \begin{aligned} Q_o &= \frac{1}{m_p - kK/a} \\ \omega_o &= \frac{1}{C R \sqrt{\alpha \beta}} \\ H &= \frac{(a - 1) K}{a (1 + 1/\alpha + \beta) - K} \end{aligned} \right\} (11)$$

ただし、

$$m_p = \sqrt{\alpha \beta} + \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} + \frac{1}{\sqrt{\alpha \beta}}, k = \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} \quad (12)$$

α を指定した場合の U_{min} とそのときの β は, 式(9),

(12)より

$$\left. \begin{aligned} U_{min} &= 3.08 \cdot a \frac{(\alpha+1)^{3/2}}{\alpha} \\ \beta &= (\alpha+1) / 3\alpha \end{aligned} \right\} (13)$$

式(13)は, 式(10)のType IIの場合と同等で, $GSP_{min} = 8.0 Q_0$ ($\alpha=2, \beta=0.5$)である。

5. 測定結果

実験回路を図3に示す。実験は増幅器のみの温度変化による影響を見るために, 図3の破線部分に対する Q ,

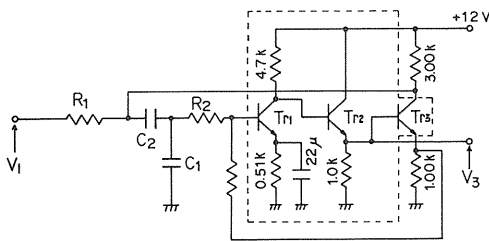


Fig. 3 Experimental circuit

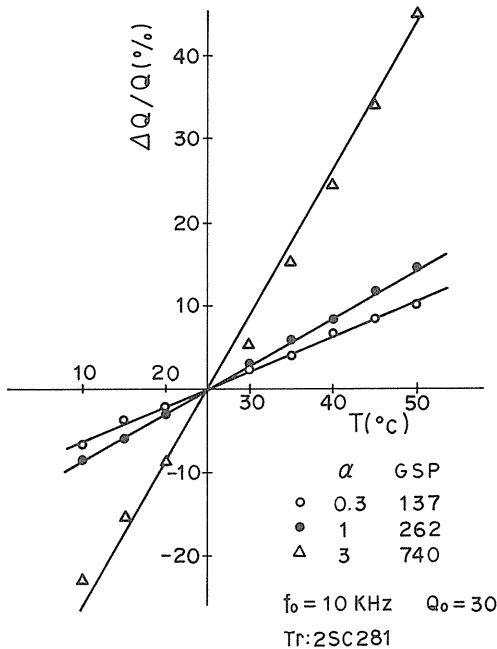


Fig. 4 Variation of Q with temperature (Type I)

及び ω_0 の変化を測定する。

まず, Type Iで $\alpha = 0.3, 1, 3$ のそれぞれにおいて, GSPを最小に設計した回路での測定結果が図4である。 $\Delta Q/Q$ はGSPにほぼ比例していることがわかる。Type IIにおいても同様な結果が得られた。

次に, 3PAのトランジスタの電流増幅率 h_{fe} を大きくすれば, 開ループ利得を大きくでき, 式(7)より $\Delta Q/Q$ は小さくなるはずである。Type Iの回路の測定結果が図5である。ここでは, $h_{fe} = 100, 200, 400$ の値について測定したが, 理論通り, 特性を大幅に改善できることがわかる。

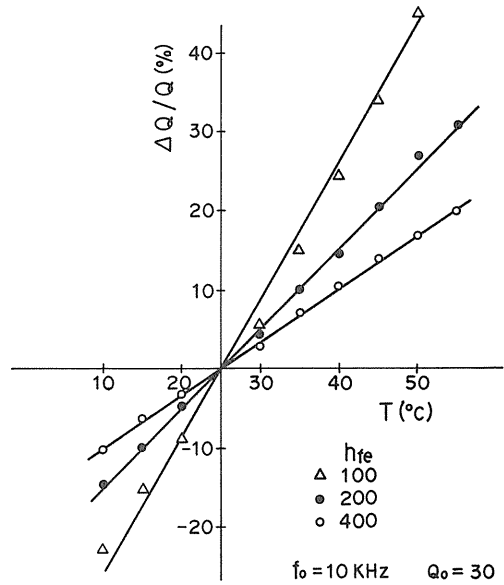


Fig. 5 Variation of Q with temperature (Type I, $\alpha=0.3, GSP=740$)

図6, 図7はType I及びSallen-Key型について, 表1の数値例で $\Delta Q/Q, \Delta\omega_0/\omega_0$ を測定した結果である。3PAのトランジスタは $h_{fe} \approx 600$, OPampは741型である。OPampは負の温度係数を持つが,

Table 1

	Designed Value			Measurement H=1	
	GSP	α	β	f_0	Q_0
Type I	1000	0.221	1	9.955	48.91
	2000	0.112	1	9.910	50.43
Sallen-Key type	1000	2.234	1	9.370	54.76
	2000	3.961	1	8.716	56.15

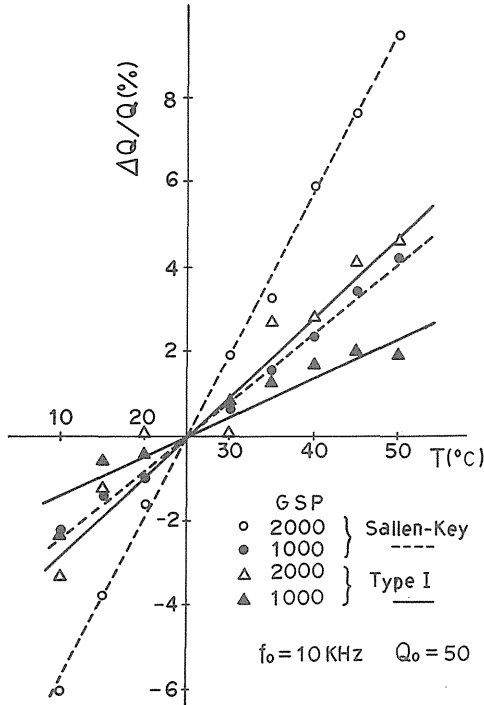


Fig. 6 Comparison of Q variation between Type I and Sallen-Key type

図 6 では比較のために正の傾きで示してある。結果を見てわかるように、電流帰還形が優れた特性であり、特に安定な周波数特性が得られた。

6. むすび

電流帰還形構成によって実現した帯域フィルタの温度特性は、GSP が小さくなるように受動素子値を選ぶことによって、良好な結果が得られ、充分実用になると思われる。

さらに、増幅器の温度係数を知り、それを設計の段階で考慮することにより、フィルタの総合特性を改善できるものと思う。ここでは受動素子は考慮していないが、混成集積化することによって安定な温度特性が得られるためである。

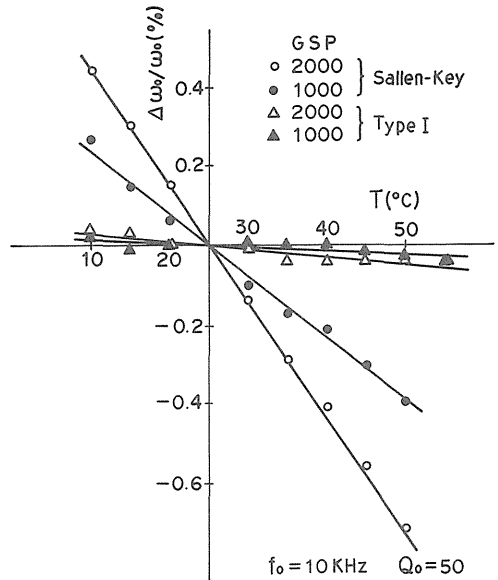


Fig. 7 Comparison of center frequency variation between Type I and Sallen-Key type

参 考 文 献

- 1) S.K.Mitra: Active Inductorless Filters, IEEE press, New York (1971), P. 51
- 2) 柳沢, 渡辺: 増幅器の周波数特性を考慮した能動帯域フィルタの設計および評価方法, 信学論 (A) 57-A 5, P. 413 (昭 49-05)
- 3) 池田, 富田, 本多: 能動帯域フィルタの一構成 茨城大学工学部集報 第 26 巻, (1979), P. 131
- 4) 池田, 本多: 3 端子対増幅器を用いた帯域フィルタ 電子通信学誌 Vol. 60-A No.3, (1977), P. 337
- 5) G. S. Moschytz: Gain-Sensitivity Product-A Figure of Merit for Hybrid-Integrated Filters Using single Operational Amplifiers, IEEE Journal of Solid-state circuit, (1971), P. 103