

# 低感度 2 次ローパスフィルタの一回路形式

池田 一二\*, 富田 安志\*, 本多 誠一\*

(昭和54年 9 月 3 日受理)

## A Realization of Insensitive 2nd-Order Low-Pass Active Filter.

KATSUJI IKEDA, YASUSHI TOMITA and SEIICHI HONDA

**Abstract:** - A description will be given of an active RC-network using a three-port amplifier for realization of insensitive second-order low-pass active filter. This network has several advantages from the points of gain requirement, Q-factor, and output impedance characteristics.

In this paper, a design method of this network and the results of experimental on the six-order Chebychev low-pass filter are shown.

### 1. まえがき

2 端子対の定利得増幅器を用いた負帰還形回路構成で実現するアクティブフィルタは低感度であることがよく知られている。この構成では RC の素子数も少なく、かつ素子値の広がりもあまり大きくないので一見すぐれた回路に見えるが、Q が大きくなると極めて大きい利得を必要とするため、安定な回路が実現できるのはかなり低い Q、またはかなり低い周波数に限定される<sup>(1)</sup>。

本文では 3 端子対増幅器 (以下 3 P A と略す) を用いて、従来の負帰還形回路構成を多少変形 (帰還端子と出力端子を分離) することによって所要の利得が緩和され、より高い Q が実現できることを述べる。さらに利得感度<sup>(2)</sup>積を考慮した設計方法を述べ、試作例についての実験結果を示した。

### 2. 理 論

ここで使用する 3 P A を図 1 に示す。この回路の出力電圧  $v_0$  および帰還端子電流  $i_f$  は近似的に次式で与えられる<sup>\*\*</sup>。

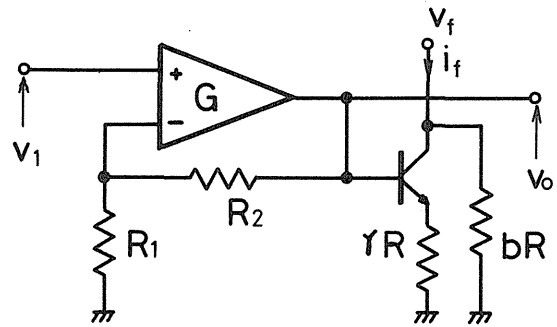


Fig. 1 3-port amplifier.

$$\left. \begin{aligned} v_0 &= K v_1 \\ i_f &= \frac{v_f}{bR} + \frac{K}{rR} v_1 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ただし、 $K = 1 + R_2 / R_1$

この 3 P A を用いて図 2 の構成とすれば、出力端開放電圧伝達関数は次式となる。

$$T_S = \frac{-K \{ y_{31} (1 + y_{22} bR) - y_{21} y_{32} bR \}}{y_{33} (1 + y_{22} bR) - \frac{b}{r} (K + y_{23} rR) y_{32}} \quad (2)$$

ただし、 $y_{ij}$  は RC 受動回路の短絡アドミッタンス要素 RC 受動回路として図 3 を用いれば式(2)は

\* 茨城大学工学部電子工学科 (日立市中成沢町)

\*\* トランジスタのパラメータを  $h_{oe} = h_{re} = 0, h_{fe} \gg 1, h_{ie} \ll h_{fe} rR$  とし、OP Amp は理想特性とする。

$$T_s = \frac{\frac{Kk_b}{C^2 R^2 \alpha \delta}}{S^2 + \frac{1}{CR} \left( \frac{\alpha + \delta + \alpha \delta}{\alpha \delta} \right) S + \frac{1 + Kk_a X}{C^2 R^2 \alpha \delta}} \quad (3)$$

ただし,  $k_a = a / (a + b)$ ,  $k_b = b / (a + b)$ ,  $X = b / \gamma$ ,  $\alpha = a // b$   
となり, 2次のローパス特性が実現できる。

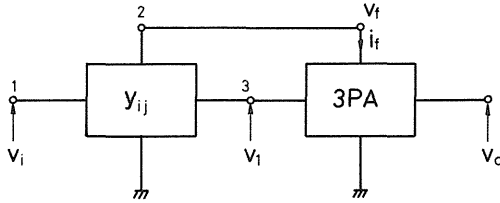


Fig. 2 Circuit configuration.

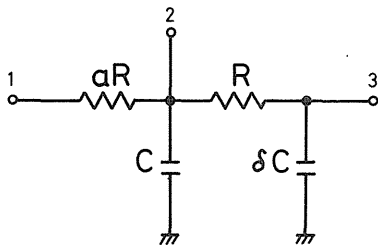


Fig. 3 Passive network.

ローパスフィルタの基本式は

$$T_s = \frac{H \omega_0^2}{S^2 + \frac{\omega_0}{Q_0} S + \omega_0^2} \quad (4)$$

で与えられるから, 式(3), (4)を等置することによって次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \omega_0 &= \frac{1}{CR} \sqrt{\frac{1 + Kk_a X}{\alpha \delta}} \\ Q_0 &= \frac{\sqrt{1 + Kk_a X}}{m} \\ H &= \frac{Kk_b}{1 + Kk_a X} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ただし,  $m = \sqrt{\alpha / \delta} + \sqrt{\delta / \alpha} + \sqrt{\alpha \delta}$   
式(5)より, この構成では  $k_a X$  を大きく選ぶことにより所要の利得が緩和され, より高いQの実現が可能となることが分かる。またこの回路の増幅器の利得変化に対する  $\omega_0$ ,  $Q_0$  の感度は式(5)より

$$S_{K^0}^{\omega_0} = S_{K^0}^{Q_0} = \frac{Kk_a X}{2(1 + Kk_a X)} < \frac{1}{2} \quad (6)$$

となり, 当然のことながら従来の負帰還形回路構成(図4)と同じ低感度となる。

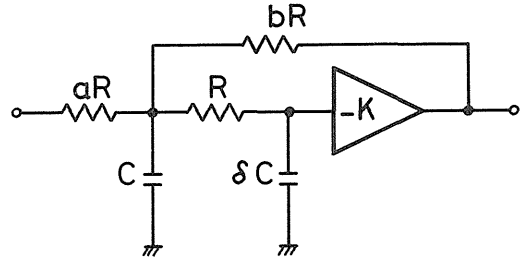


Fig. 4 Negative feedback type L.P.F.

### 3. 設計方法と実験結果

設計手順としては利得感度積(GSP)<sup>(2)</sup>の最小化を考慮して  $\alpha$ ,  $\delta$  を定める。式(5), (6)よりGSPは  $m^2 Q_0^2 \gg 1$  のとき近似的に次のようになる。

$$GSP \doteq \frac{m^2}{2k_a X} Q_0^2 \quad (7)$$

すなわち, mの最小化を考えればよい。ここでは  $\alpha$  を設定するものとしてmが最小となる  $\delta$  を求めると

$$\delta = \frac{\alpha}{1 + \alpha} \quad (8)$$

となる。この場合, GSPの最小値は

$$GSP|_{\min} = \frac{2(1 + \alpha)}{k_a X} \quad (9)$$

となり,  $\alpha$  が小さい程よい。一方Xは3PAのbias条件と出力レベルを考慮して指定するのが実際のであり, 式(4)より次の関係が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \gamma &= \alpha \left( \frac{1}{X} + \frac{Hm^2 Q_0^2}{m^2 Q_0^2 - 1} \right) \\ a &= \alpha \left( 1 + \frac{m^2 Q_0^2 - 1}{H X m^2 Q_0^2} \right) \\ K &= Hm^2 Q_0^2 + \frac{m^2 Q_0^2 - 1}{X} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

すなわち, 実現するフィルタの特性から  $\omega_0$ ,  $Q_0$ , H を与え,  $\alpha$ , Xを指定すれば, 式(5), (8), (10)より各素子値が決定できる。実験例として次式で与えられる1dBリッ

プルの6次チェビシェフローパスフィルタを構成してみ  
る。

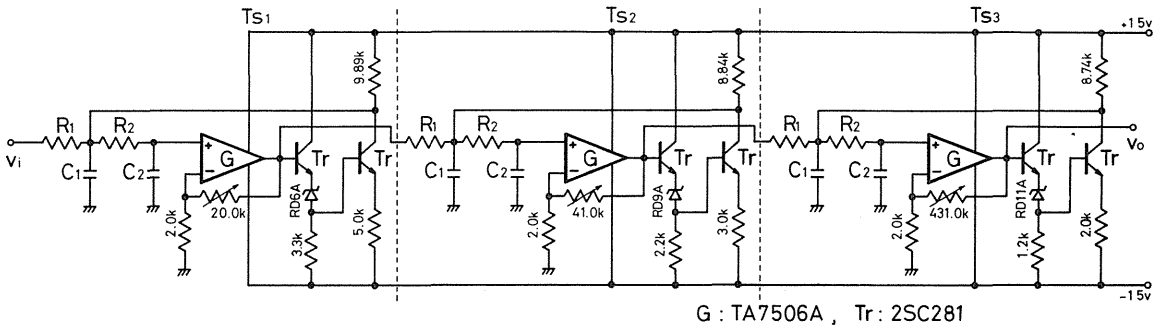
$$T(p) = \frac{0.4397}{\lambda^2 + 0.46413\lambda + 0.12471} \cdot \frac{0.3176}{\lambda^2 + 0.33979\lambda + 0.55772} \cdot \frac{0.4397}{\lambda^2 + 0.12436\lambda + 0.99073}$$

=  $T_{S1} \cdot T_{S2} \cdot T_{S3}$  (1)

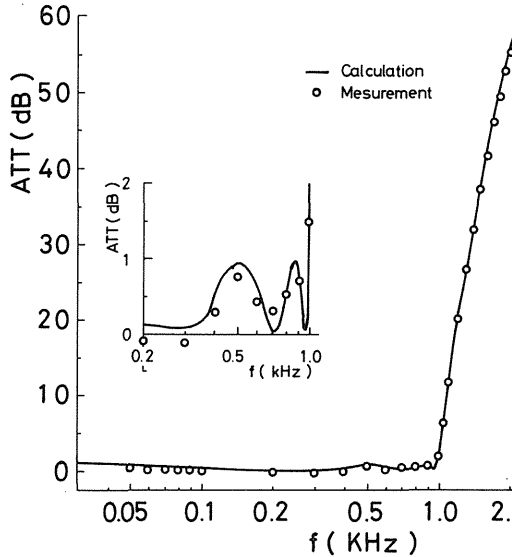
ただし,  $\lambda = s / (2\pi \times 10^3)$

$\alpha = 0.25$  とすれば,  $\delta = 0.2$  となり各区間の素子値は表1ようになる。表中  $k_n$  は従来の負帰還構成図4の増幅器の利得であり, 本構成では  $1/x$  に緩和されていることが分かる。

演算増幅器TA7506を用いた実験回路と測定結果をそれぞれ図5に示す。実験値と理論値にはほとんど差のないことが分かる。



(a) Experimental circuit.



(b) Attenuation characteristics.

Fig. 5 6th-order low-pass filter.

Table 1. Parameters of Six-order Chebyshev L.P.F..

	$T_{S_1}$	$T_{S_2}$	$T_{S_3}$
$\omega_0$	$2.2175 \times 10^3$	$4.6900 \times 10^3$	$6.2511 \times 10^3$
$Q_0$	0.7609	2.5695	8.0037
H	3.5258	0.5675	0.4438
x	1.974	2.945	4.374
$R_2 = R_e/\gamma$ (k $\Omega$ )	3.485	12.805	11.858
$R_1 = R_2/a$ (k $\Omega$ )	0.930	5.034	4.488
$C_1 = \frac{\sqrt{1+K \cdot ka \cdot x}}{\omega_0 R_2 \sqrt{\alpha \delta}}$ ( $\mu F$ )	1.292	0.366	1.306
$C_2 = \delta C_1$ ( $\mu F$ )	0.258	0.073	0.261
K	11.17	21.62	215.31
$K_n$	22.05	63.63	929.81

## 4. むすび

3端子対増幅器を用いた低感度2次ローパスフィルタの一回路形式を提案し試作例によって十分実用になることを示した。ここでは演算増幅器と個別部品により3PAを試作したが原理的には演算増幅器を2個用いて実現することもでき、特にパイカット回路<sup>(3)</sup>を利用すれば、さらにより結果が期待できる。

## 参 考 文 献

- (1) 柳沢, 金光: アクティブフィルタの設計, 産報(1974)
- (2) 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), P103
- (3) レー・クイ・テ, 柳沢: GB積の影響を補償した新しい能動RC回路, 信学論(A), J61-A, No1 (1978), P9