

論 文

다기능 능동-R 여파기

正會員 金 益 洙

Multi-functional Active-R Filter

Ik Soo KIM*, Regular Member

要 約 본 논문에서 제안한 능동 여파기는 커패시터를 사용하지 않고 단지 4 개의 저항과 2 단의 연산 증폭기로 구성 되고 다기능 특성을 갖고 있으며 저항의 비를 낮은 능동-R 여파기이다. 제안된 능동-R 여파기는 여파기 파라미터인 극점 주파수 W_p 와 극점 Q_p 의 감도가 매우 낮으며 고주파에서의 동작이 가능하고 사용된 저항의 수가 적어지고 저항의 비가 감소하므로 여파기의 집적화가 용이하다. 실험을 통하여 제안된 능동-R 여파기의 모든 특성이 이론과 거의 일치 함을 확인하였다.

ABSTRACT A simple active-R filter is proposed by utilizing only four resistors and two operational amplifiers. This filter has multi-functional characteristics and decreases the ratio of resistors. The sensitivity of W_p and Q_p as the parameter of filter is very low and the operating frequency of this active-R filter is possible in the high frequency. The integration of this active-R filter is easy due to the decrease in the number of resistors and the lowering of the ratio of resistors. The experiment shows that all the characteristics of this active-R filter are in accordance with theory.

1. 序 論

연산 증폭기의 이득특성은 이상적인 경우 무한 대이나 실제의 경우 낮은 주파수에서의 동작을 제외하고는 주파수에 따라 이득이 변화하는 유한한 이득특성을 갖게 된다 (1, 2, 3).

따라서 연산 증폭기를 이용하여 능동여파기와 발진기 등을 단일 포울 모델로 해석할 경우 고주파 영역에서의 특성을 개선할 수 있다.

Rao와 Srinivasan은 연산 증폭기를 단일 포울 모델로 해석하여 한단의 연산 증폭기와 하나의 커패시터를 사용하여 2계 대역 통과 여파기를

실현하였으며⁽⁴⁾ Anandamohan은 저역통과 여파기를 실현하였다⁽⁵⁾.

Rao와 Anandamohan이 시도하였듯이 연산 증폭기를 단일 포울 모델로 해석할 경우 커패시터의 수를 줄일 수 있고 이는 회로의 전체 커패시턴스가 감소하여 여파기를 집적화하는데 용이하다.

최근에는 커패시터를 전혀 사용하지 않고 저항과 연산 증폭기만으로도 여파기를 구성해 오고 있다^(6, 7, 8, 9, 10)

능동-R 여파기는 커패시터를 사용하지 않으므로 이를 집적화 하는데 매우 용이하다^(6, 7, 9).

그러나 능동-R 여파기의 집적화에 대한 중대한 제약은 저항의 수와 이들의 비에 있으며⁽¹¹⁾ Schaumann의 경우⁽⁶⁾ 저항의 수는 7 개이고 이들의 비는 최대 350배이며 Osowski의 경우⁽⁸⁾ 저항

* 東國大學校工科學電子工學科
Dept. of Electronic Engineering, Dongguk University
Seoul, 100 Korea
論文番號 : 85-20(接受1985. 1. 22)

의 수는 6 개이고 이의 비는 최대 87배가 되므로 저항의 비를 줄이는 것이 문제가 되고 있다.

본 논문에서 제안된 능동-R 여파기는 최소 4 개의 저항으로서 고역 통과 여파기와 대역 통과 여파기 특성을 나타내고 저항의 비를 15배로 축소시켰다. 또한 제안된 능동-R 여파기는 저역 통과 특성·대역 차단 특성은 물론 전대역통과 특성을 가지므로 하나의 여파기로 여파기의 모든 특성을 얻을 수 있게 된다.

2. 제안된 능동-R 여파기의 해석

내부적으로 보장된 연산 증폭기의 이상특성은 다음과 같이 나타낼 수 있다¹⁾.

$$A(S) = \frac{A_o W_c}{S + W_c}$$

여기서 A_o 는 연산 증폭기의 개 루우프(open loop) 이득이득이고 W_c 는 개 루우프 3dB 주파수이다.

실제로 W_c 는 매우 작으므로 이득에 관한 식은 다음으로 수정될 수 있다.

$$A(S) = \frac{A_o W_c}{S} = \frac{W_t}{S}$$

여기서 W_t 는 연산 증폭기의 이득·대역폭적 이득이다.

그림 1에 제안된 능동-R 여파기를 나타내었다.

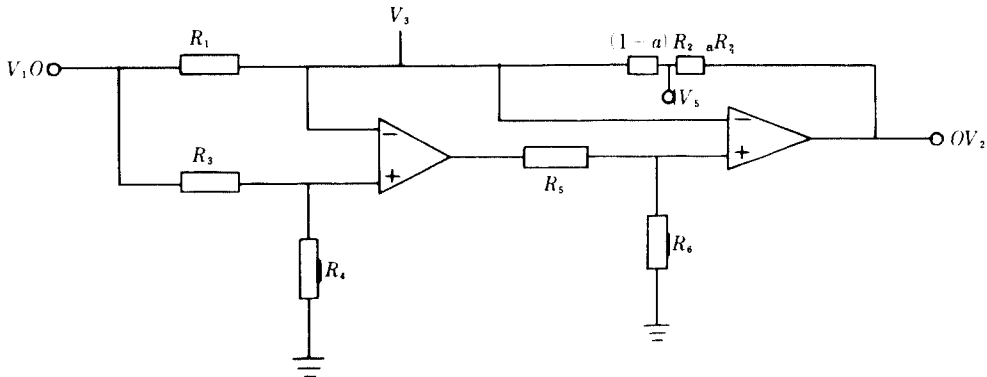


그림 1 제안된 2계 능동-R 여파기
proposed 2nd order active-R filter.

그림 1 출력의 여파기 제특성에 대한 전달함수는 다음과 같다.

$a = 0, R_3 = \infty, R_4 = 0$ 일 때,

$$\frac{v_3}{v_1} = \frac{S^2 R_2 / (R_1 + R_2)}{S^2 + SW_{t2} R_1 / (R_1 + R_2) + W_{t1} W_{t2} R_1 R_6 / \{(R_1 + R_2)(R_5 + R_6)\}} \quad (1)$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{SW_{t2} R_2 / (R_1 + R_2)}{S^2 + SW_{t2} R_1 / (R_1 + R_2) + W_{t1} W_{t2} R_1 R_6 / \{(R_1 + R_2)(R_5 + R_6)\}} \quad (2)$$

$R_1 = R_3, R_2 = R_4, a = 0$ 일 때,

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{W_{t1} W_{t2} R_1 R_2 / (R_1 + R_2)^2}{S^2 + SW_{t2} R_1 / (R_1 + R_2) + W_{t1} W_{t2} R_1 R_6 / \{(R_1 + R_2)(R_5 + R_6)\}} \quad (3)$$

$$\frac{v_3}{v_1} = \frac{R_2 / (R_1 + R_2) \{S^2 + W_{t1} W_{t2} R_1 R_6 / \{(R_1 + R_2)(R_5 + R_6)\}\}}{S^2 + SW_{t2} R_1 / (R_1 + R_2) + W_{t1} W_{t2} R_1 R_6 / \{(R_1 + R_2)(R_5 + R_6)\}} \quad (4)$$

$R_1 = R_3 = R_2 = R_4, a \neq 0$ 일 때

$$\frac{v_3}{v_1} = \frac{a R_2 / (R_1 + R_2) \{S^2 - SW_{t2} (1-a) / a + W_{t1} W_{t2} R_6 / (R_5 + R_6)\}}{S^2 + SW_{t2} R_1 / (R_1 + R_2) + W_{t1} W_{t2} R_1 R_6 / \{(R_1 + R_2)(R_5 + R_6)\}} \quad (5)$$

식(1)로부터 W_p 와 Q_p 는 다음과 같다.

$$W_p = \sqrt{W_{t1} \cdot W_{t2}} \cdot \sqrt{\frac{R_1 R_6}{(R_1 + R_2)(R_5 + R_6)}} \quad (6)$$

$$Q_p = \sqrt{\frac{W_{t1} \cdot R_6 (R_1 + R_2)}{W_{t2} \cdot R_1 (R_5 + R_6)}} \quad (7)$$

3. 감 도

식(6), (7)의 극점 주파수 W_p 와 Q_p 에 대한 수동 소자와 능동소자의 감도는 다음과 같다.

$$S_{W_{n1}}^{W_p} = S_{W_{n2}}^{W_p} = S_{W_{n1}}^{Q_p} = S_{W_{n2}}^{Q_p} = -\frac{1}{2}$$

$$S_{R_1}^{W_p} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$$

$$S_{R_2}^{W_p} = S_{R_2}^{Q_p} = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$S_{R_3}^{W_p} = S_{R_4}^{W_p} = S_{R_3}^{Q_p} = S_{R_4}^{Q_p} = 0$$

$$S_{R_5}^{W_p} = S_{R_5}^{Q_p} = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_5}{R_5 + R_6}$$

$$S_{R_6}^{W_p} = S_{R_6}^{Q_p} = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{R_6}{R_5 + R_6} \right)$$

$$S_{R_1}^{Q_p} = \frac{1}{2} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - 1 \right)$$

따라서 제안된 능동-R여파기의 W_p 와 Q_p 의 감도는 모두 $1/2$ 이하로 매우 낮음을 알 수 있다.

4. 실험 및 검토

그림 1에 제안한 다기능 2계 능동-R여파기의 저역통과·대역통과·고역통과의 특성을 얻기 위해 실험에 사용된 소자의 제정수는 다음과 같다.

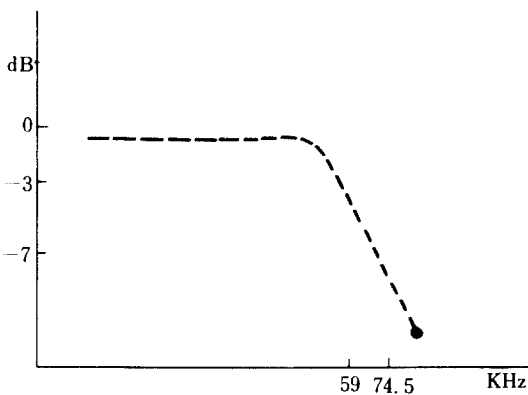


그림 2 저역통과 특성의 주파수 응답
Frequency response of lowpass characteristic.

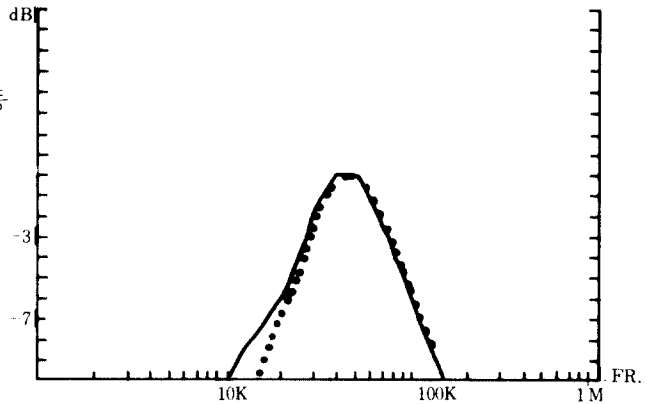


그림 3 대역통과 특성의 주파수 응답
- 이론치에 대한 주파수 응답
... 실험치에 의한 주파수 응답
Frequency response of bandpass characteristic
- Theoretical frequency response
... Experimental frequency response.

연산 증폭기는 $\mu A741$ 을 사용하였으며 LP·BP·HP의 극점 주파수는 $W_p = 2\pi \times 45 \text{Krad/sec}$ 로 극점 Q 는 $Q_p = 1$ 로 동작시키기 위하여 사용된 저항의 비는 $R_1 : R_2 = 1 : 15$, $R_5 : R_6 = 15 : 1$ 로 하였다.

이들 저항의 값으로는 R_1 과 R_6 는 $1 \text{K}\Omega (\pm 1\%)$ 로 R_2 와 R_6 는 $15 \text{K}\Omega (\pm 1\%)$ 으로 하였다.

사용된 2개의 연산 증폭기의 측정된 이득·대역폭적 $W_n = W_z = 2\pi \times 0.72 \times 10^6$ 이고 연산 증폭기의 공급 전원 전압은 $\pm 15 \text{V}$ 이었다.

주파수에 따른 저역통과 특성의 이득변화를 그림 2에 나타내었다.

저역통과 특성의 3dB 주파수는 실험치의 경우 59KHz로서 이론치의 3dB 주파수인 57.3KHz와는 1.7KHz의 차이가 있었다.

대역통과 특성의 실험결과는 그림 3과 같고 실험치의 이득·대역폭적은 46.2KHz로서 이론치와는 1.2KHz의 차이가 있었다.

고역통과 특성의 실험결과는 그림 4와 같고 3dB 주파수는 실험치의 경우 34.3KHz이고 이론치의 경우 35.8KHz로서 1.5KHz의 차이가 있었다.

이론치와 실험치 사이의 오차는 저항값의 오차와 측정된 연산 증폭기의 W_n 의 오차에 기인하는 것으로 판단된다.

제안된 여파기의 특성을 보다 낮은 주파수 대역에서 동작시키기 위해서는 공급전원전압을 낮

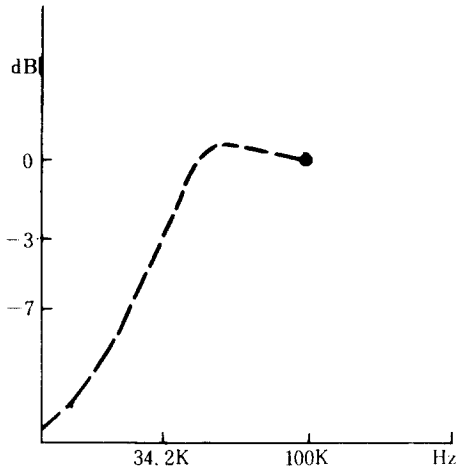


그림 4 고역통과 특성의 주파수 응답
Frequency response of highpass characteristic.

추어 W_1 를 감소시키거나 저항의 비를 증가시켜야 하므로 매우 낮은 주파수 대역에서의 사용에는 제한을 갖게 되지만 이문제는 모든 능동-R 여파기의 공통된 문제점으로 지적되고 있다.

5. 結 論

제안된 능동-R 여파기는 수동소자로는 단지 4개의 저항만으로 저역통과·대역통과·고역통과 특성을 갖는 여파기를 구성할 수 있음을 확인하였다.

또한 사용된 저항의 비를 1 : 15 ($f_p=45\text{KHz}$)로 낮출수 있음을 확인하였고 저항의 수와 저항의 비를 낮출수 있기 때문에 제안된 능동-R 여파기는 집적화하는데 보다 용이할 것으로 본다.

参 考 文 献

- (1) A. Budak and D. M. Petrela, "Frequency limitations of active filters using operational amplifiers," IEEE Trans. Circuit Theory, vol. CT, -19, no. 4, pp. 322-328, July 1972.
- (2) P. R. Geffe, "Exact synthesis with real amplifiers," IEEE Trans, circuits and systems, vol. CAS-21, No. 3, pp. 369-376, May 1974.
- (3) R. L. Geiger, "Amplifiers with maximum Bandwidth," IEEE Trans, Circuits and systems, vol. CAS-24, No. 9, pp. 510-512, September 1977.
- (4) K. R. Rao and S. Srinivasan, "A Bandpass filter using the operational amplifier pole," IEEE J. Solid-State circuits, vol. SC-8, pp. 245-246, June 1973.
- (5) P. V. Anandamohan, "Low-pass and notch filters using the operational amplifier pole," proc. IEEE, vol. 67, No. 8, pp. 1160-1162, Aug. 1979.
- (6) R. Schaumann, "Low-sensitivity high-frequency tunable active filter without external capacitors," IEEE Trans. circuits and systems, vol. CAS-22, No. 1, Jan. 1975.
- (7) S. Srinivasan, "Synthesis of transfer functions using the operational amplifier pole," Int. J. Electronics, vol. 40, No. 1, pp. 5-13, 1976.
- (8) S. OSOWSKI, "Voltage transfer function Realisation using active-R network: flow-Graph technique," Electronics Letters, vol. 15, No-14 pp. 416-417, July 1979.
- (9) M. A. Soderstrand, "Active-R Ladders: high frequency high-order low-sensitivity active-R filters without external capacitors," IEEE Trans. circuits and systems vol. CAS-25, No. 12 December 1978.
- (10) T. S. Rathore and K. R. Pai, "New Active-R Filters and Their Design," IEEE 1983.
- (11) R. Schaumann, M. A. Soderstrand, K. R. Laker, "Techniques for monolithic continuous analog active filters" IEEE press 1981.
- (12) G. Daryanani, "Principles of active network synthesis and design," Bell Laboratories Inc. 1976.



金 益 洙 (Ik Soo KIM) 正 會 員
 1955년 3월 30일생
 1974~1978. 2 : 동주대 전자공학과 졸업
 1979~1981. 2 : 동주대 대학원 전자공학과(공학석사)
 1981~1984. 2 : 동주대 대학원 전자공학과(박사과정 수료)
 1984. 3 ~ : 동주대 전자계산학과 강의.