

# LP-BP 변환에 의한 6階 RC 能動 BPF 의 구성

83310

正會員 趙漢衡  
大憲工業專門大學 通信電送科

A realization of 6th-order RC Active BPF  
by LP-BP transformation.

JHO HAN HYEONG  
DAE HEON T. J. college.

요약 : RC 소자변환에 의한 LP-BP 변환을 이용하여 단일증폭기만으로 6階 RC 能動 BPF 를 구성하여 素子數를 최소화 하였고 실험결과를 만족할 만 하였다.

ABSTRACT : In this paper, an RC active filter having 6th-order band pass characteristics using single amplifier by LP-BP transformation is proposed and designed. The number of element is minimized as possible as and experimental results are reasonably good.

## 1. 서론

HPF 나 BPF 는 일반적으로 LPF 의 LC 소자변환만으로 필요할 여파기를 만들수 있다.

그러나 능동 RC 여파기에서는 구성소자가 능동소자 외에는 R 과 C 뿐이므로 이것을 HPF 나 BPF 로 구성하기 위해서는 LPF 의 전달함수를 주파수 변환에 의하여 희망하는 여파기 전달함수로 만들어야 한다.

본 논문에서는 LPF 로부터 RC 소자변환에 의한 BPF 로 변환할기 있어 희망하는 주파수에서 특성을 얻기 위하여 2제 능동 RC 여파기를 증폭접속하는 방식은 개선 하여 단일 증폭기만으로 6階 BPF 특성을 갖는 RC 능동 BPF 를

실현케 보이로 한다.

구. 분론

2-1. RC 소자변환에 의한 주파수 변환  
일반적으로 BPF 의 전달함수는 LPF 의 전달함수에 식 ① 의 주파수 변환을 하여 얻을 수 있다.

$$s = \frac{1}{B} \left( \frac{p}{\omega_0} + \frac{\omega_0}{p} \right) \dots \dots \dots (1)$$

但: s, p 는 복소주파수,  
B 는 비대역폭,  $\omega_0$  는 중심주파수

여러서 LPF 의 전달함수를  $T_L(s)$  라고 하면 BPF 의 전달함수  $T_B(\frac{p}{\omega_0})$  는 식 (2) 와 같다.

$$T_B(\frac{p}{\omega_0}) = T_L \left[ \frac{1}{B} \left( \frac{p}{\omega_0} + \frac{\omega_0}{p} \right) \right] \dots \dots (2)$$

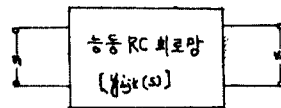


그림 1. 능동 RC 회로망  
Fig. 1. Active RC Network

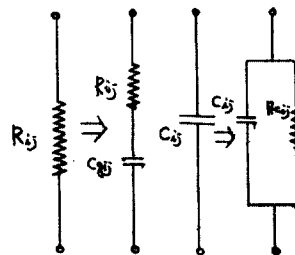


그림 2. RC 소자변환  
Fig. 2. RC transformation.

그림 1 과 같은 능동 RC 회로의 회로방정식은 일반적으로 식 (3) 과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ \vdots \\ i_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11a}(s), y_{12a}(s), \dots \\ y_{21a}(s), y_{22a}(s), \dots \\ \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} \dots (3)$$

이때 출력개방전압함수  $T_a(s)$  는 식 (4) 와 같다.

$$T_a(s) = \frac{A_{12a}(s)}{A_{11a}(s)} \dots (4)$$

여기서  $A_{ij a}(s)$  는 식 (3) 에서의 (cofactor) 코팩터

$$A_{ij a}(s) = \sum_{\text{sgn}} \begin{pmatrix} 1, 2, \dots, i, \dots, n \\ k_1, k_2, \dots, k_i, \dots, k_n \end{pmatrix} \cdot y_{i+1, k_1 a}(s) \cdot y_{k_2 a}(s) \dots y_{j-1, k_{i-1} a}(s) \cdot y_{j+1, k_i a}(s) \dots y_{n, k_n a}(s) \dots (5)$$

식 (5) 로 주어지고 또 행렬요소  $y_{ij a}(s)$  는

$$y_{ij a}(s) = sC_{ij} + \frac{1}{R_{ij}} = \frac{sC_{ij}R_{ij} + 1}{R_{ij}} \dots (6)$$

식 (6) 로 나타낼 수 있다.

여기서 그림 1 과 같은 회로에 그림 2 에 나타낸 도각변환을 하면 각 도각은 식 (7) 과 같이 된다.

$$R_{ij} \rightarrow R_{ij} + \frac{1}{pC_{Rij}} = R_{ij} \left(1 + \frac{w_0}{p}\right) \dots (7)$$

$$sC_{ij} \rightarrow pC_{ij} + \frac{1}{R_{Cij}} = w_0 C_{ij} \left(1 + \frac{p}{w_0}\right)$$

$$\left(w_0 = \frac{1}{R_{ij} \cdot C_{Rij}} = \frac{1}{C_{ij} \cdot R_{Cij}}\right)$$

이때의 행렬요소  $y_{ij a}(s)$  는 식 (8) 과 같다.

$$y_{ij a}(s) \rightarrow \left(1 + \frac{w_0}{p}\right)^{-1} \cdot \frac{w_0 (\lambda + 2) C_{ij} R_{ij} + 1}{R_{ij}} \dots (8)$$

$$\left(\lambda = \frac{p}{w_0} + \frac{w_0}{p}\right)$$

여기서 도각변환후의 회로의 행렬요소

$y_{ij b} \left(\frac{p}{w_0}\right)$  를 구하면 식 (9) 와 같다.

$$y_{ij b} \left(\frac{p}{w_0}\right) = \left(1 + \frac{w_0}{p}\right)^{-1} \cdot [y_{ij a}(s)]_{s=w_0(\lambda+2)} \dots (9)$$

식 (9) 의 여인수  $A_{ij b} \left(\frac{p}{w_0}\right)$  는 식 (10) 이 되며

$$A_{ij b} \left(\frac{p}{w_0}\right) = \left(1 + \frac{w_0}{p}\right)^{-(n-1)} \cdot A_{ij a} [w_0(\lambda+2)] \dots (10)$$

식 (10) 에서 개방전압 전압함수  $T_b \left(\frac{p}{w_0}\right)$  는 식 (11) 로 주어진다

$$T_b \left(\frac{p}{w_0}\right) = \frac{A_{12b} \left(\frac{p}{w_0}\right)}{A_{11b} \left(\frac{p}{w_0}\right)} = \left[ \frac{A_{12a}(s)}{A_{11a}(s)} \right]_{s=w_0(\lambda+2)} \dots (11)$$

여기서 식 (11) 은 식 (12) 와 같이 쓸 수 있다.

$$T_b \left(\frac{p}{w_0}\right) = T_a [w_0(\lambda+2)] \dots (12)$$

여기서 그림 (2) 의 도각변환은 식 (3) 의 주파수변환을 평각변과 같다는 것을 알 수 있다.

$$s = w_0(\lambda+2) \dots (13)$$

$p$ - $p$ , BPF 전압함수 유도

LPF 의 전압함수  $T_L(s)$  에 대하여 RC 도각변환을 가용 식 (14) 의 주파수변환을 평각변 때로 전압함수

$T_V \left(\frac{s'}{w_0}\right)$  는 식 (15) 가 된다.

$$s = \frac{1}{B} \left(\frac{s'}{w_0} - p\right) \dots (14)$$

$$T_V \left(\frac{s'}{w_0}\right) = T_L \left[\frac{1}{B} \left(\frac{s'}{w_0} - p\right)\right] \dots (15)$$

식 (15) 은 그림 2 와 같이 RC 도각변환은 하면  $T_V \left(\frac{s'}{w_0}\right)$  은 식 (16) 이 된다.

$$\begin{aligned} \left[T_V \left(\frac{s'}{w_0}\right)\right]_{s'=w_0(\lambda+2)} &= \left[T_L \left(\frac{1}{B} \left(\frac{s'}{w_0} - p\right)\right)\right]_{s'=w_0(\lambda+2)} \\ &= T_L \left(\frac{\lambda}{B}\right) = T_B \left(\frac{p}{w_0}\right) \dots (16) \end{aligned}$$

식 (16) 은 결과적으로 식 (2) 와 같게 되어 BPF 의 전압함수가 됨을 알 수 있다.

2-3, 회로구성

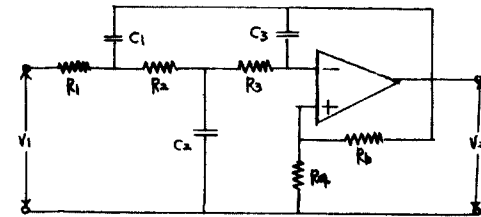


그림 3. 3차 lowpass filter

Fig 3 3rd-order LPF

그림 (3) 과 같은 LPF 를 구성하고 RC 도각변환을 하면 그림 (4) 와 같은 BPF 회로가 된다.

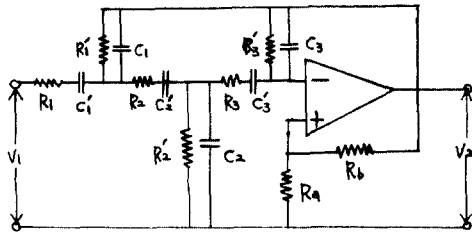


그림 4. 실험회로  
Fig. 4. Experimental circuit

그림(3)의 전달함수 식(19)을  
 $T[(s-2)/B]$ 의 특성을 가진 LPF로  
 변환하면 식(20)과 같이 된다.

$$T(s) = \frac{H}{(s+1)(s^2+s+1)} \dots (19)$$

$$T[(s-2)/B] = \frac{B^2 H}{D(s)} \dots (20)$$

$$\text{예: } D(s) = s^3 + 2(B-3)s^2 + 2(B^2-4B+6)s + (B-2)(B^2-2B+4) \dots (21)$$

여기서 열상용 특이점 전달이득을 무한대로  
 해서 전달함수  $T(s)$ 를 구하면

$$T(s) = \frac{K}{D(s)} \dots (22)$$

$$\text{예: } \hat{D}(s) = s^3 c_1 c_2 c_3 R_1 R_2 R_3 (1-K) + s^2 \{c_3 [c_1 R_1 (R_2+R_3) + c_2 R_3 (R_1+R_2)] (1-K) + c_1 c_2 R_1 R_2\} + s \{c_2 (R_1+R_2) + [c_1 R_1 + c_3 (R_1+R_2+R_3)] (1-K)\} + 1$$

$$K = 1 + \frac{R_6}{R_4}$$

여기서  $R_1 = R_2 = R_3 = 1(\Omega)$ ,  $K = 2$ 로 하고  
 $D(s)$ 와  $\hat{D}(s)$ 가 똑같은 특성을 갖도록  
 계수를 제화하면 식(23)이 된다.

$$\begin{aligned} -c_1 c_2 c_3 &= A \\ c_1 c_2 - 2(c_1 + c_2) c_3 &= 2(B-3)A \\ -c_1 + 2c_2 - 3c_3 &= 2(B^2-4B+6)A \end{aligned} \dots (23)$$

$$\text{예: } A = \frac{1}{(B-2)(B^2-2B+4)}$$

그림(3)에서 중심주파수  $1(\text{kHz})$ ,  $B=1$ 로  
 하면 식(23)으로 부터.

$$\begin{aligned} c_1 &= 3.127 \text{ F}, c_2 = 0.771 \text{ F}, \\ c_3 &= 0.1383 \text{ F} \end{aligned} \text{가 얻어진다.}$$

여기에서  $R_1 = R_2 = R_3 = 1(\Omega)$ 로 하여  
 그림(2)에 나타낸 소자변환을 하여  
 $R_1 = R_2 = R_3 = 10(\text{k}\Omega)$ 로 scaling 하면  
 그림(4)의 각 소자값은 표1과 같다.

표 1.

소자	$R_1$	$R_1'$	$R_2$	$R_2'$	$R_3$	$R_3'$	$R_4$	$R_6$
값	10.0	3.2	10.0	12.98	10.0	12.3	5.0	5.0
소자	$C_1$	$C_1'$	$C_2$	$C_2'$	$C_3$	$C_3'$		
값	49.72	15.9	12.6	15.9	2.2	15.9		

단위 (k- $\Omega$ ), (nF)

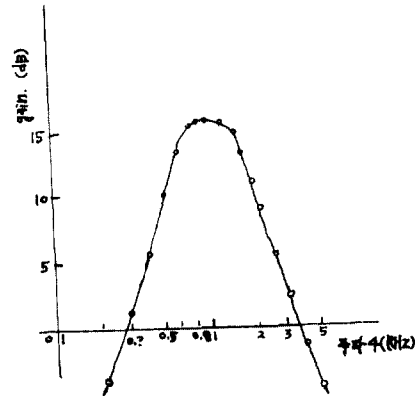


그림 5. 실험결과  
Fig 5. Experimental results.

R-4: 실험.  
 발진기 주파수가  $1(\text{kHz})$ 일 때 출력은  
 $0(\text{dB})$ 로 하고  $1(\text{kHz})$ 를 중심주파수로  
 하여 이득을 측정하면 이득 값은  
 그래프에 나타낸 것이 그림 5이다.  
 중심주파수에서 이득은  $16(\text{dB})$ 정도  
 로서 양호한 것이다.

### 3. 결론

단일 증폭기를 사용하여 6계 특성은 가진 RC 회로 BPF를 구성할바 중개의 방법에 비하면 증폭소리가 감소되었고 또 한 R과 C의 도각수도 최소화 하였다. 그림 5에 도시된 바와 같이 주파수 특성 또한 양호하였다. NIC형 여파기나 대역소거 여파이드 단일 증폭기에 의하여 6계 특성을 실현하는 것이 가능하리라 생각된다.

#### ○ 참고 문헌

- 1) 出口早原: LP-BP 変換比女子 能動 RC 帯域 필터의 構成, 化學論(A), J-59-A.1. p1.
- 2) 出口雅士, 早原悦郎: LP-BP 変換比女子 伝送極의 移動, 昭49 東海支部連大, 32-D-3.
- 3) 柳沢建, 金光榮: 双入丁 필터의 設計, 産報, p100 (1973).
- 4) 渡辺弘通: LP-BP 周波數変換比 関する一考察, 信學論(A), 52-A, 12, p521 (44-12).