

● 特別寄稿 ●



下

金 東 龍

全北大 工大 電氣工學科  
助 教 授

IV. 濾波回路의 設計例

(Filter Design Example)

〈Example 1〉 Passive, RLC 濾波回路 設計例.

次數  $n=3$  의 Butterworth 低周波 濾波回路를 電源抵抗  $1\Omega$  과 Infinite Termination 으로 設計하라.

(a) Butterworth 傳達函數를 Approach Method에서 求할 수 있다.

$$T(s) = \frac{1}{s^3 + 2s^2 + 2s + 1} \quad (1)$$

(b) Butterworth 傳達函數 分母項은 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$Z_{11} = \frac{D(s \text{ even})}{D(s \text{ odd})} \quad Z_{11} = \frac{2s^2 + 1}{s^3 + 2s} \quad (2)$$

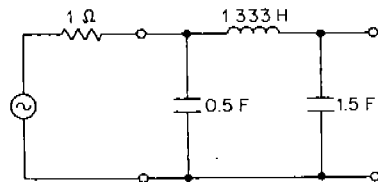
(c) Impedance  $Z_{11}$ 은 分子項을 1로 하고 分母項(높은 次數)을 分子項(낮은 次數)으로 나누어 주면 (3)과 같다.

$$Z_{11} = \frac{1}{\frac{s^3 + 2s}{2s^2 + 1}} \quad (3)$$

(d) 다음 段階로 展開해 가면 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_{11} = \frac{1}{0.5s + \frac{1}{\frac{2s^2 + 1}{1.5s}}} \quad Z_{11} = \frac{1}{0.5s + \frac{1}{1.333s + \frac{1}{1.5s}}} \quad (4)$$

(e) Passive R. L. C 回路로 設計하면 Example 1과 같다.



Example 1 Passive R. L. C 低周波 濾波回路設計

〈Example 2〉 Active RC 濾波回路의 設計例.

(a) 먼저 傳達函數가 (1)식과 같이 주어지면,

$$T(s) = \frac{1}{s^3 A + s^2 B + s C + 1} \quad (1)$$

$$A = C_1 C_2 C_3$$

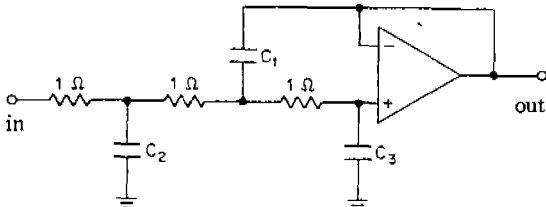
$$B = 2 C_3 (C_1 + C_2) \quad C = C_2 + 3 C_3$$

(b) 設計者が Butterworth 函數로 擇하여 (2)식과 같이 整理해서 係數를 각각 求할 수 있다.

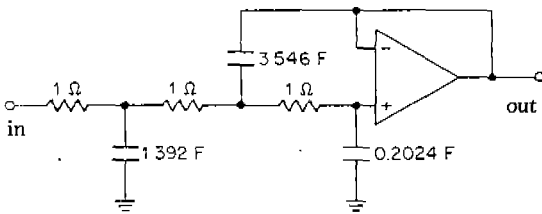
$$T(s) = \frac{1}{s^3 A + s^2 B + s C + 1} \quad \begin{matrix} A=1 \\ B=2 \\ C=2 \end{matrix}$$

$$= \frac{1}{s^3 + 2s^2 + 2s + 1} \quad (2)$$

(c) (1)式의 3個 方程式에 依해서 Capacitor의  $C_1, C_2, C_3$  값을 구할 수 있다. 그런후에 Active 濾波回路의 一般形에 代入하여  $n=3$ 의 Butterworth Active 低周波 濾波回路를 設計할 수 있다.



$n=3$  Active 低周波 濾波回路의 一般形

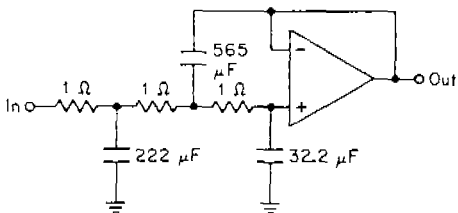


$n=3$  Butterworth Active 低周波 濾波回路의 예  
(Example 2)

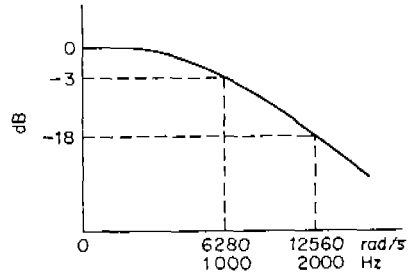
(d) 實際回路의 使用時에는 Denormalized 濾波回路를 使用하는데 그 計算法은 (3)式으로 表示된다.

이 節次를 Frequency and Impedance Scaling이라고 命하고 다음으로 표시한다.

$$FSF = \frac{\text{Desired Reference Frequency}}{\text{Existing Reference Frequency}} \quad (3)$$



$n=3$  Denormalized 低周波 Active Butterworth 濾波回路



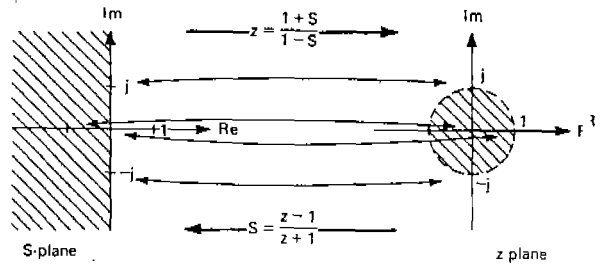
$n=3, 3\text{-dB}$ , 遮斷周波數 1000Hz을 갖는 Butterworth 濾波回路의 周波數 應答 特性曲線

$$(FSF = \frac{2\pi 1000 \text{ rad/s}}{1 \text{ rad/s}} = 6280)$$

(Example 3) Digital filter realization

(A) 簡單한 理論

Digital 濾波回路의 概念은 지금까지 試圖한 Analog 濾波回路와는 전혀 다르다. 먼저 S-plane을 Z-plane으로 變化시키면 다음 Fig1같이 그림으로 表示할 수 있다.

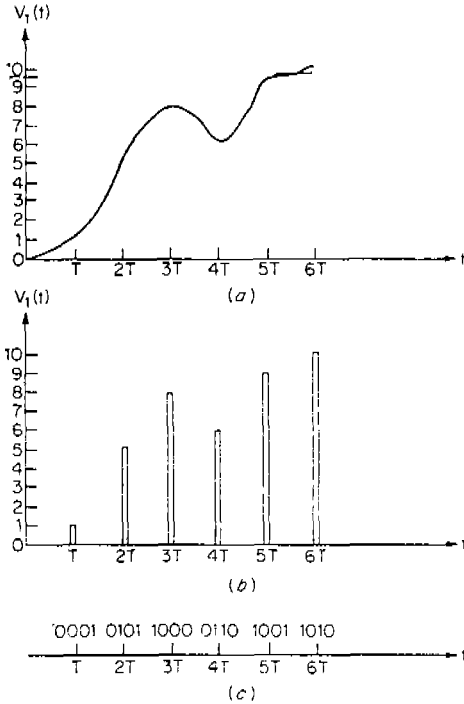


그런후에 簡單한 Block Diagram으로 Fig 2와 같이 나타낼 수 있다.



(Fig 2) 簡單한 Digital Filter

다음은 Analog Signal  $V_1(t)$ 을 Fig 3과 같이 連續인 時間함수로 표시된다. 그런 다음에 sampling instant에서  $V_1(t)$ 을 pulse의 크기로 Fig 3 (b)로 표시하고 이들 pulse는 binary numbers에 의해서 digitized samples로 變換되어 Fig 3 (c)로 표시된다.



〈Fig 3〉 The Sampling Operation

- (a) Input Analog Signal
- (b) Sample Pulse Train
- (c) Digitized Samples

**(B) First and Second-Order Digital Filter**

먼저 Difference Equation을 一般的인 形態, 函數로

$$y(nT) = A_0x(nT) + A_1x(nT - T) + B_1y(nT - T) \quad \bullet \text{一次 方程式}$$

$$y(nT) = A_0x(nT) + A_1x(nT - T) + A_2x(nT - 2T) + B_1y(nT - T) + B_2y(nT - 2T) \quad \bullet \text{二次 方程式}$$

그런후에 Z Transformation을 거쳐서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_0(z) = A_0E_i(z) + A_1z^{-1}E_i(z) + B_1z^{-1}E_0(z) \quad \bullet \text{一次 變換式}$$

$$E_0(z) = A_0E_i(z) + A_1z^{-1}E_i(z) + A_2z^{-2}E_i(z) + B_1z^{-1}E_0(z) + B_2z^{-2}E_0(z) \quad \bullet \text{二次 變換式}$$

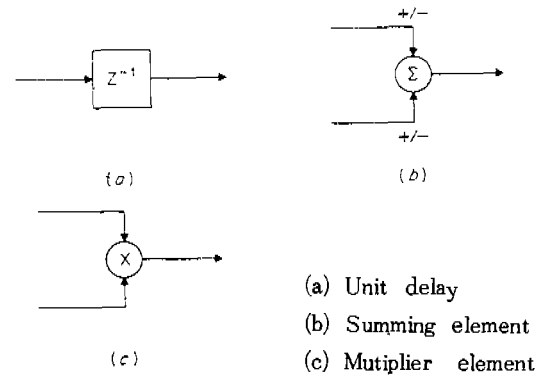
다음에  $E_i$ 와  $E_0$ 는 각각 Input와 Output를

나타낼 수 있고 一次 또는 二次 傳達函數로 表示하면

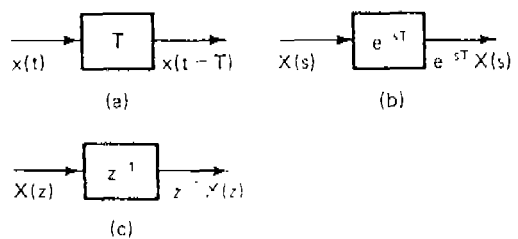
- 1차 傳達函數  $\frac{E_0(z)}{E_i(z)} = \frac{A_0z + A_1}{z - B_1}$
- 2차 傳達函數  $\frac{E_0(z)}{E_i(z)} = \frac{A_0z^2 + A_1z + A_2}{z^2 - B_1z - B_2}$

여기에서  $T$ 는 sampling interval 을 表示하면  $T = \frac{2\pi}{\omega_s}$  ( $\omega_s$ : sampling rate in radians per second).

Sampled-data system을 傳達函數로 實現하기 위해 다음 Fig 4와 같은 函數들이 要求 등다.



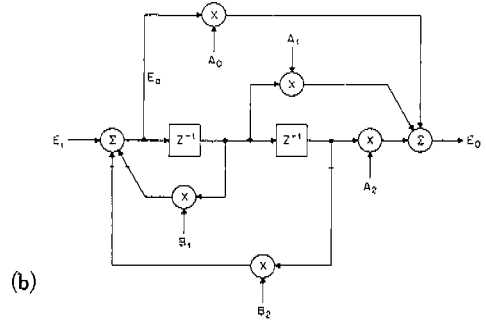
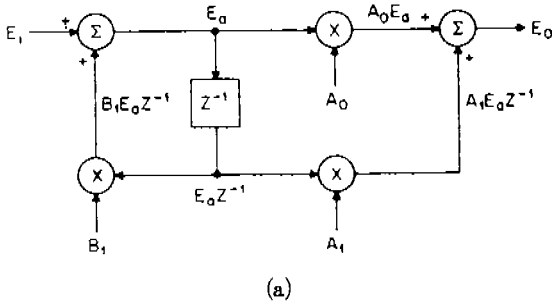
〈Fig 4〉 Digital Building Blocks



〈Fig 5〉 Unit Delay의 Schematic Representation

- (a) In the Time domain
- (b) In the S-domain
- (c) in the Z-domain

**(C) 一次 또는 二次 Digital Filter Example**



(Fig 6) (a) First Order Digital Filter  
(b) Second Order Digital Filter

**Example 4) Mos Switched-Capacitor Filters**

1970年代 後半에 들어 서면서 VLSI의 登場과 함께 Filter Realization에 있어서도 Resistor는 實際로 使用하기에 많은 不便을 招來했다. 그래서 最近에는 Resistor를 使用치 않는 Mos Intergrated Circuit Technology의 개발이 한창 進行中에 있다. 여기에서 筆者는 簡單한 Second -Order Low-Pass Filter Example를 설명 하고저 한다.

Fig 1. (a)는 Passive R.L.C Ladder Filter를 表示하고 있으며 (b)는 L.C Ladder Filter의 Analog Simulation의 Block Diagram을 설명 하고 있다.  
(c)는 Ladder Simulation의 Switched Capacitor Realization을 나타낸다.  
(d)는 (c) 回路의 Discrete Time Model을 表示한다.

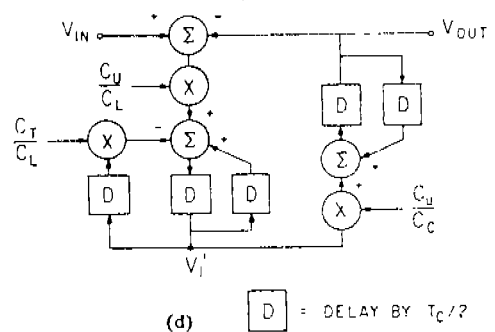
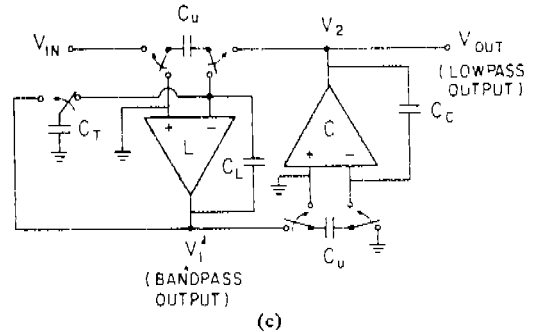
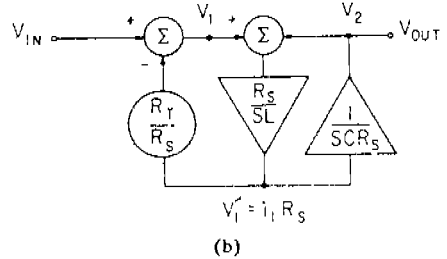
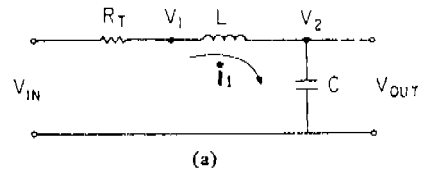


그림 (a)를 方程式으로 表示하면 (1)과 같다.

$$\begin{aligned}
 V_1 &= V_{in} - R_T i_1 \\
 i_1 &= \frac{1}{sL} (V_1 - V_2) \\
 V_2 &= \frac{1}{sC} i_1 \\
 V_{out} &= V_2 \\
 V_1 &= V_{in} - \frac{R_T}{R_S} V_1' \quad V_1' = i_1 R_S \\
 V_1' &= \frac{R_S}{sL} (V_1 - V_2)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

(Fig 1)

$$V_2 = \frac{1}{sR_s C} V_1$$

$$V_{out} = V_2$$

그림 (c)를 주어진 Table에 의해서  $\mathcal{L}$ 과  $C$ 로  
表示하면 (2)식과 같고

$$\frac{C_T}{C_L} = \left(\frac{\omega_{co}}{f_c}\right) \frac{1}{\mathcal{L}}$$

$$\frac{C_L}{C_U} = \mathcal{L} \left(\frac{R_T}{R_S}\right) \left(\frac{f_c}{\omega_{co}}\right)$$

$$\frac{C_C}{C_U} = \mathcal{C} \left(\frac{R_S}{R_T}\right) \left(\frac{f_c}{\omega_{co}}\right)$$

(2)

TABLE  
Land C Values for Normalized Low-Pass Filters  
( $R_1 = 1 \Omega$   $\omega_{co} = 1 \text{ rad/s}$ )

	Butterworth (0.1-dB Passband Ripple)	Bessel
C	1.4142F	1.3911F
$\mathcal{L}$	0.7071H	0.8191H
		0.4539H

$$\frac{R_T}{R_S} = \left(\frac{\mathcal{C}}{\mathcal{L}}\right)^{1/2}$$

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$$

$$\frac{V_1(\omega_0)}{V_{in}(\omega_0)} = \frac{R_S}{R_T} \quad \frac{V_2(\omega_0)}{V_{in}(\omega_0)} = \left(\frac{\mathcal{L}}{\mathcal{C}}\right)^{1/2}$$

$C_U$ : Unit Capacitor

$f_c$ : 스위치의 Clock Rate

$\omega_{co}$ : 요구되는 遮斷 周波數

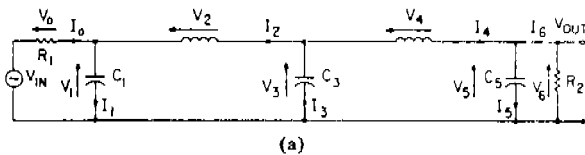
그림 (d)의 Z-Transform에서의 Discrete  
Time Network의 傳達函數를 表示하면 (3)과  
같다.

$$H(z) =$$

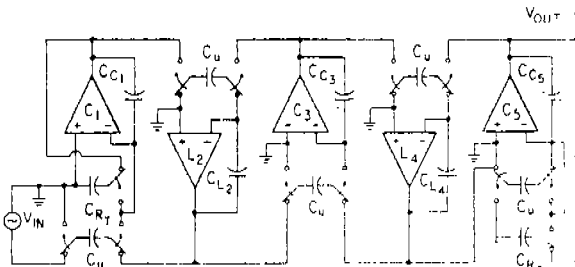
$$\frac{C_U^2 / C_L C_C}{z^2 - z(2 - C_T / C_L - C_U^2 / C_C C_L) + (1 - C_T / C_L)} \quad (3)$$

(a) Doubly terminated R. L. C  
fifth order all-pole low-  
pass ladder filter.

(b) Switched-capacitor version  
of fifth order all-pole low-  
pass filter.



(a)



(b) <F (Fig 2)>

Fig 2는 R.L.C. Passive 回路에서 직접으  
로 Switched Capacitor 回路로 變換  
시키는 例이다.

## V. 結 論

지금까지 筆者는 濾波器의 分類와 濾波器의  
接近方法, 濾波器回路의 設計例를 簡單히 紹介  
하였다.

그러나 오늘날 歐美에서 開發에 熱中하는 濾  
波器回路의 設計分野는 Elliptic Filter의 Op-  
timum Design (最適設計)에 그 重點을 두고 있  
음을 알 수 있다.

이 函數는 Butterworth나 Chebyshev의 函  
數보다 複雜하고 Element의 數도 많은 短點이  
있으나 그 利得應答特性에 있어서는 越等히 좋  
은 長點이 있는 것이다.

筆者는 이 Elliptic Filter Realization의  
Dynamic Range Optimum Design에 있어서 從

<41p에 계속>

### 3. 結 言

國產 重電機器의 品質向上을 위해서는 製造業체가 品質管理를 徹底히 할 것이 要求되며 그러기 위해서는 當然히 檢査 試驗設備를 갖추어야 할 것이다.

그런데 一部 中小企業체는 그 零細性 때문에 試驗設備를 完備하지 못한 곳이 있어서 品質管理에 隘路點이 되고 있다.

한편 大企業체는 大部分의 檢査 試驗設備를 갖고 있으나 型式開發 試驗을 위한 設備는 一部 갖추지 못하고 있어 이것 亦是 機器開發에 隘路가 되고 있다.

重電機器의 國內市場은 比較的 狹小한 便이어서 業체가 모두 이런 設備를 가져야 한다는 것은 어떻게 보면 非經濟的인 面도 있으므로 公認試驗機關이 이를 完備하여 製造業체가 活用하는 方案도 바람직하다.

今年 6月末 當所試驗設備가 完工되어 7月

初부터 業務가 開始되는 바 當所에의 出捐機關인 韓電이나 製造業체들이 各種 試驗과 電力設備의 信賴度 向上을 위한 研究 및 機器開發을 위한 研究等を 위해 이 試驗研究設備를 많이 利用하여 稼動率을 높여서 이 設備가 古鐵로 死藏되는 일이 없도록 할 것을 바라며 當所로서도 이를 위해 끊임없이 努力하고 아울러 試驗研究 能力을 높이도록 힘써야 할 것이며 이 設備의 稼動이 그동안 多少 沈滯되었던 重電機器 國產化에 劃期的 契機가 될 것으로 믿어 疑心치 않는다.

한편 이번 建設에 反映되지 못한 重要設備들, 例컨데 避雷器 試驗에 必要한 衝擊電流 發生器 (Impulse Current Generator), 鑛山用等 防爆機器試驗에 必要한 防爆試驗設備 및 原子力 發電所와 船舶用 機器試驗에 追加되어야 할 振動試驗設備等은 앞으로 當所가 計劃을 세워 設備를 追加해야 할 것으로 믿으며 國際的인 公認 試驗研究機關이 되어야 할 것으로 생각된다.

(24p에서 계속)

來의 古典的方法보다 單純하며 効率的인 새로운 接近方法을 Elliptic函數의 特殊性을 考慮하여 試圖하였다.

더욱이 高度의 電子技術 開發을 要求하는 現時點에서는 重要하지 않을 수 없다고 생각한다. 그래서 이 새로운 接近方法을 Passive濾波回路設計와 Active 濾波回路設計의 研究를 試圖하여 그 實績을 認定 받았으나 遺憾스럽게도 Digital과 Mos Switched Capacitor 部分은 研究途中 歸國하였다. 더욱더 研究와 實驗을 試圖하여 Elliptic Filter 回路의 設計時 새로운 接近方法을 擴張해서 研究해야 할 重要한 價値가 있음을 闡明하고 싶다.

本人은 이 紙面을 통해 關心있는 産業체 諸位께서 이 分野를 開拓하고 完成하기 爲한 本人의 깊은 意圖를 通察하시어 깊은 配慮가 있었으면 한다.

#### 參 考 文 獻

- 1) H. K. Kim and D. Y. Kim: A new approach to the active realization of elliptic filters, IEEE international symposium on circuits and systems, 1981. 5
- 2) Arthur B. Williams: Electronic filter design handbook, McGraw-Hill CO, 1981
- 3) A. S. Sedra and P. O. Brackett: Filter theory and design: Active and Passive, Matrix publishers, INC., 1978
- 4) P. R. Gray and D. A. Hodges: Analog Mos Integrated Circuits, IEEE press 1981. 6
- 5) D. E. Johnson: Introduction to filter theory, Prentice-Hall, INC., 1976
- 6) L. P. Huelsman and D. E. Allen: Introduction to the theory and design of active filters, McGraw-Hill, CO., 1980
- 7) M. S. Ghauri and K. R. Laker: Modern filter design Active RC and Switched Capacitor, Prentice-Hall, INC., 1981