

# 수정 여파기에 관한 연구



1. 서	론	.....	229
2. 수정여파기	설계	.....	230
2 - 1	설계개요	.....	230
2 - 2	동작 Parameter 법에 의한 설계 제작 및 측정	.....	232
3. 설계제조에	관한 기술적인 문제점	.....	249
4. 결	론	.....	254

통 신 기 정

성 이 운

전 송 기 사

김 성 배

전 송 기 사 보

최 근 무

전 송 기 원

조 인 십

## 1. 서 론

달소에서는 수정여파기의 국내생산을 위한 계획으로 수정여파기에 대한 연구를 1972년도 부터 금일에 일으키까지 계속 되는 사업으로 작년에는 각종 무선통신기기에 많이 사용되고 있는  $455\text{KHz}$  수정여파기에 대하여 영상 Parameter법을 기준으로한 설계법에 의하여 설계하여 시작품 2호까지 제작하여 Kinsekisha Laboratory 제품인 Model KFH-12와 특성 비교를 하여본 결과 감쇠역 감쇠량과 통과역 전송량이 만족할 만한 특성을 얻지 못하였다.

그 원인을 분석하여본 결과 첫째로 회로부품 Coil, Condenser의 재료 및 온습도에 의한 특성 열화, 둘째로 설계상의 문제로써 영상 parameter법에 의한 설계로는 영상 Impedance에서 완전 정합한 충단이 되지 않으며 회로소자의 손실보상이 불가능하며 최초 설계시 필요한 특성을 주어 그의 조건을 만족하는 회로망을 설계 할수 없는 단점을 갖으며 회로 구성이 간결하고 계산이 용이하다는 이점은 있다.

반면 동작 Parameter법에 의한 설계는 고도의 특성이 요구되는 여파기에서 많이 사용되며 위의 단점들은 보상 가능하나 복잡한 계산을 요한다.

수정여파기로써 요구되는 조건을 만족 하는 특성을 얻기위해 금년도 부터 동작 Parameter법에 의한 설계자료, 설계공식 도입, 및 특성 열화의 원인 분석에 치중하여 연구한 결과를 작성 보고한다.

## 2. 수정여파기 설계

### 2-1 설계 개요

수정여파기 (Crystal Filter) 은 고주파 고선택도를 목적으로 할 경우 특히 비대역폭 1% 또는 그 이하의 협대역에서 유효하다.

수정여파기를 특성상으로 분류하면 L.C Filter 와 같이 대역통과, 대역저지, 고역통과, 저역통과, 및 '가우센', 수정 Filter 로 분류된다.

다시 대역통과 Filter는 대칭특성 및 비대칭특성 등에 의해 분류된다.

여기서 기술하는 설계방법은 종래의 Filter이론을 기초로 하여 영상 Parameter법에 의한 설계, 동작 Parameter법에 의한 설계 및 등가변환에 의한 설계 방법에 대하여 기술한다.

일반으로 이러한 수정여파기는 기본적인 Lattice 회로를 기준하여 손실 없는 영상 Parameter법을 기초로 하여 취급한다.

또 일반으로 전원 Impedance, 부하 Impedance는 실저항으로 취급하며 영상 Impedance의 규약에 따라 동작감쇠량을 음미하여 설계를 행한다.

다시 말하면 수정여파기의 영상 Impedance는 주파수에 대하여 급격히 변하나 감쇠역의 동작감쇠량은 너무 문제시 할 필요는 없다.

그러나 통과대역 내에서는 큰전송 Ripple이 생기므로 충분히 검토 하여야만 한다.

영상 parameter법은 서로 독립된 전송계수 (영상 전달정수와 영상 Impedance) 을 갖고며 비슷한 회로 구성으로된 영상전달정수

를 갖는 4 단자 회로망, 혹은 다른 영상 전달정수를 갖는 4 단자 회로망을 같은 영상 Impedance로 축속하여 소요의 특성을 얻는 방법이다.

동작 Parameter 법으로 회로를 설계할 경우 회로망에서 소망되는 전송특성에 최량의 근사치를 한  $S$  (동작전달계수)를 결정하고 다음 Reactance 정리를 기초로 하여 이것을 전개하여 회로망을 구성한다.

따라서 동작 Parameter 법에 의한 회로망 설계에서는 동작전달계수  $S$ 를 여하히 구할 것인가 하는 근사문제와 이의  $S$ 로부터 회로망을 구성하여 실현성에 대한 문제가 있다.

이 방법은 영상 Parameter 법에 비해 대단히 복잡한 계산을 필요로 한다. 이 방법으로는 어떤 조건 예를들면 같은 회로 소자수로써 고성능의 특성을 얻을 수 있지만 반면 회로 Node의 Coil, Condenser 상호치 및 회로망의 소자치를 적체만 제어할 수가 없다.

영상 Parameter 법에 의해서는 모든 특성이 얻어지게끔 판수를 조정할 수는 없지만 회로 소자를 크게 또 용이하게 제어할 수가 있다.

수정공진자는 등가적으로 한개의 Coil과 2개의 Condenser로된 전기적 등가회로로 치환된다.

여기서 용량비  $r = C_0/C_1$ 의 관계 및 수정공진자에서 부공진 역압의 판계상 등가 Inductance  $L_1$ 의 치가 주파수에 따라 일의적으로 정해지지 않으며 수정공진자 및 수정여파기 설계상 불편한 소자치의 관계가 있으며 동작 Parameter 법에 의한 설계는 대단

의 곤란하다.

이것을 다시 영상 Parameter 법에 의하면 용이하고 매우 유효한 설계 및 구조를 행할 수 있다.

따라서 수정여파기의 설계는 시대조류에 역행 하는것 같지만 회로형식을 주고 그의 동작감쇠량을 해석하여 영상 Parameter 법에 의한 설계를 행하고 있다.

회로 형식상 설계는 일반적으로 기본적인 Lattice Circuit로 행하여지고 있지만 이 회로는 소자치가 요구 하는 허용치가 엄격하고 수정여파기 이외에는 거의 사용되고 있지 않다.

한편 광대역 수정여파기의 경우는 종래의 Lattice 회로에서는 비대역폭이 50~60%으로 하는것이 실현하여 얻어지지 않기 때문에 고안정성이 요구되는 여파기에서는 Ladder 회로 (계자형회로)에 의한 설계 방법이 실용화 되고 있다.

## 2-2 동작 Parameter 법에 의한 설계.

### (1) 기본 관계식

여기서는 동작 특성을 기초로한 즉 동작 Parameter에 의한 설계법을 기술한다. 우선 대칭계자 회로의 구성에 필요한 Parameter 간의 기본 관계식을 열거한다.

a. 동작 전달계수  $S(\lambda)$  와 특성 판수  $\varphi(\lambda)$ .

$$\left. \begin{aligned} S(\lambda) &= H \frac{g(\lambda)}{f(\lambda)} \\ \varphi(\lambda) &= H \frac{h(\lambda)}{f(\lambda)} \\ S(\lambda) \cdot S(\tilde{\lambda}) &= 1 + \varphi(\lambda) \varphi(\tilde{\lambda}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$



여기서  $g(\lambda)$ 은 회로의 자연자태를 표시하며,  $\lambda$ 평면의 좌반면 밖의 근을 갖지않는 Hurwitz의 다항식, 즉 집중 정수회로가 물리적으로 실현 가능한 안정한 회로 이기위한 조건으로서 근의 실수 부분이 전부 Negative가 되는 성질을 갖는 다항식을 Hurwitz의 다항식 이라고 부른다.

Hurwitz 다항식에 관해서는 많은 중요한 성질을 갖고 있으며 또 회로망 이론의 각 방면에서 널리 사용되고 있다.

$f(\lambda)$ 은  $g(\lambda)$ 의 차수와 동차이든가 그것 이하로써  $f(\lambda)$ 의 영점이 무한대까지 감쇠를 준다.

$h(\lambda)$ 은  $g(\lambda)$ 와 동차이며  $h(\lambda)$ 의 영점은 무한대 부정함감쇠를 준다.

$H$ 은 통과역의 부정함감쇠에 의해서 규정된 감쇠로써  $\infty > H > 0$  기호~은 공역 복소수 이다. 그래서 대칭 회로에 있어서,  $g(\lambda)$ 은 기관수로 되고

$$S(\lambda) \cdot S(\tilde{\lambda}) = 1 - g^2(\lambda) \quad \dots\dots\dots (2)$$

에 의해서

$f(\lambda)$ 가 기관수라면,  $h(\lambda)$ 은 우관수

$f(\lambda)$ 가 우관수라면,  $h(\lambda)$ 은 기관수

로 되지 않으면 안된다.

b. 종속 Parameter와 Impedance(Admittance) Parameter와의 관계

$$\left. \begin{aligned} Z_{11} &= Z_{22} = \frac{A}{C} = \frac{D}{C} \\ Z_{21} &= Z_{12} = -\frac{1}{C} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\left. \begin{aligned} y_{11} = y_{22} &= D/B = A/B \\ y_{12} = y_{21} &= 1/B \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

c. 각 Arm Impedance 와 제 Parameter 와의 관계 .

$$\left. \begin{aligned} z_a &= \frac{B}{A+1} = \frac{1}{y_{12} + y_{22}} = z_{11} - z_{12} \\ z_b &= \frac{B}{A-1} = \frac{1}{y_{11} - y_{12}} = z_{11} + z_{12} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

$$\left. \begin{aligned} S(\lambda) &= \frac{(1+z_a)(1+z_b)}{z_b - z_a} \\ \phi(\lambda) &= \frac{z_b z_a - 1}{(z_b - z_a)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

d. 동작제 Parameter 와 Impedanceparameter 와의 관계 .

f(λ) 가 기판수의 경우

$$g(\lambda) \cdot g(\tilde{\lambda}) = h^2(\lambda) - H^{-2} f^2(\lambda) = g_e^2(\lambda) - u_n^2(\lambda) \dots\dots\dots (7)$$

$$\left. \begin{aligned} z_{11} = z_{22} &= \frac{u_n(\lambda)}{g_e(\lambda) - h(\lambda)} \\ z_{11} = z_{21} &= \frac{H^{-1} f(\lambda)}{g_2(\lambda) - h(\lambda)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

f(λ) 가 우판수의 경우

$$g(\lambda) \cdot g(\tilde{\lambda}) = H^{-2} f^2(\lambda) - h^2(\lambda)$$

内  
二  
朱

$$= g_o^2(\lambda) - u_m^2(\lambda) \dots\dots\dots (9)$$

$$\left. \begin{aligned} z_{11} = z_{22} &= \frac{g_o(\lambda)}{u_n(\lambda) - h(\lambda)} \\ z_{12} = z_{21} &= \frac{H^{-1} f(\lambda)}{u_n(\lambda) - h(\lambda)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

단  $g_o(\lambda), u(\lambda)$ 은 각각  $g(\lambda), f(\lambda)$ 은 우관수부, 기관수부 이다.

## (2) 설계식의 도입방법.

이 상에서 Arm Impedance  $z_a, z_b$ 은 식(5), (8), (10)에 의해서 구 할수 있지만 그대로는 계략 형으로만 표시할 수 없고 수치계산이 필요하다. 여기에서는 간단한 설계식과 그의 도입방법에 대하여 기술한다. 식(7) (9)에 있어서  $f(\lambda)$  또는  $h(\lambda)$ 의 기관수, 우관수,에 따라서

$$g(\lambda) \tilde{g}(\lambda) = \begin{cases} h^2(\lambda) - H^{-2} f^2(\lambda) : f(\lambda) \text{ 기관수} \\ H^{-2} f^2(\lambda) - h^2(\lambda) : f(\lambda) \text{ 우관수} \end{cases}$$

로 되지만  $f(\lambda)$ 의 기수, 우수,에 관계없이  $g(\lambda)$ 을 구하는 것은  $h^2(\lambda) - H^{-2} f^2(\lambda) = 0$ 의 근을 구하면 되고 한편 그의 근은  $\lambda$ 의 허수축에 대하여 대칭에 위치해서  $h(\lambda) + H^{-1} f(\lambda)$ , 또는  $h(\lambda) - H^{-1} f(\lambda)$ 의 근을 구하면 된다.

$$g(\lambda) = g_1(\lambda) \tilde{g}_2(\lambda) = h(\lambda) + H^{-1} f(\lambda) \dots\dots(11)$$

로 된다. 여기서  $g_1(\lambda), g_2(\lambda)$ 은 Hurwitz의 다항식이고  $g_1(\lambda)$ 은  $g(\lambda) = 0$ 의 근중에서  $\lambda$ 의 좌반평면에서 만들어진

다항식,  $g_2(\lambda)$  은 우반평면의 근에서 만들어진 다항식이다. 또  $g_1(\lambda), g_2(\lambda)$  을 다음과 같이 표시한다.

$$\left. \begin{aligned} g_1(\lambda) &= g_1(\lambda) + u_1(\lambda) \\ g_2(\lambda) &= g_2(\lambda) + u_2(\lambda) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (12)$$

단  $g_1(\lambda), g_2(\lambda)$  은 각각  $g_1(\lambda), g_2(\lambda)$  의 우관수부,  $u_1(\lambda), u_2(\lambda)$  은 기관수부를 의미한다.

이것을 기초로 하여 격자회로의 각 Arm Impedance  $Z_a, Z_b$  를 구한다.

(a)  $f(\lambda)$  가 기관수의 경우

$$\left. \begin{aligned} u_n[g(\lambda)] &= u_n[g_1(\lambda), \tilde{g}_2(\lambda)] = H^{-1} f(\lambda) \\ g_e[g(\lambda)] &= g_e[g_1(\lambda), \tilde{g}_2(\lambda)] = h(\lambda) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (13)$$

따라서 특성관수  $\phi(\lambda)$  은 다음과 같다.

$$\phi(\lambda) = H = \frac{h(\lambda)}{f(\lambda)} = \frac{g_1[g_1(\lambda), g_2(\lambda)]}{u_n[g_1(\lambda), g_2(\lambda)]} \dots\dots\dots (14)$$

또 동작전달계수  $S(\lambda), \tilde{S}(\lambda)$  은

$$S(\lambda), \tilde{S}(\lambda) = 1 - \phi^2(\lambda) = - \frac{g_1(\lambda)g_2(\lambda), \tilde{g}_1(\lambda)\tilde{g}_2(\lambda)}{u_n[g_1(\lambda), \tilde{g}_2(\lambda)]} \dots\dots\dots (15)$$

따라서,

$$S(\lambda) = \frac{\{1 + g_1(\lambda)/u_1(\lambda)\} \{1 + g_2(\lambda)/u_2(\lambda)\}}{g_2(\lambda)/u_2(\lambda) - g_1(\lambda)/u_1(\lambda)} \dots\dots\dots (16)$$

에 의해 구한 Arm Impedance  $Z_a, Z_b$  은 식(14)(16)을 식(6)과

비교하면 다음과 같이 된다.

$$\left. \begin{aligned} z_a(\lambda) &= \frac{g_1(\lambda)}{u_1(\lambda)} \\ z_b(\lambda) &= \frac{g_2(\lambda)}{u_2(\lambda)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (17)$$

(b)  $f(\lambda)$  가 우수의 경우

$$\left. \begin{aligned} g_e[g(\lambda)] &= g_e[g_1(\lambda), \tilde{g}_2(\lambda)] = H^{-1} f(\lambda) \\ u_n[g(\lambda)] &= u_n[g_1(\lambda), \tilde{g}_2(\lambda)] = h(\lambda) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (18)$$

따라서

$$\phi(\lambda) = H \frac{h(\lambda)}{f(\lambda)} = \frac{g_2(\lambda)/u_2(\lambda) \cdot u_1(\lambda)/g_1(\lambda) - 1}{g_e(\lambda)/u_2(\lambda) - u_1(\lambda)/g_1(\lambda)} \dots\dots\dots (19)$$

한편  $s(\lambda), \tilde{s}(\lambda)$  을 구하면

$$s(\lambda) \cdot \tilde{s}(\lambda) = 1 - \phi^2(\lambda) = \frac{g_1(\lambda)\tilde{g}_1(\lambda) \cdot g_2(\lambda)\tilde{g}_2(\lambda)}{\{g_e[g_1(\lambda), \tilde{g}_2(\lambda)]\}^2} \dots\dots\dots (20)$$

따라서 동작전달계수  $s(\lambda)$  은

$$s(\lambda) = \frac{\{1 + u_1(\lambda)/g_1(\lambda)\} \{1 + g_2(\lambda)/u_2(\lambda)\}}{g_2(\lambda)/u_2(\lambda) - u_1(\lambda)/g_1(\lambda)} \dots\dots\dots (21)$$

식(19), (21)을 식(6)과 비교하여 Arm Impedance  $z_a, z_b$  을 구하면 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} z_a(\lambda) &= \frac{U_1(\lambda)}{G_1(\lambda)} \\ z_b(\lambda) &= \frac{G_2(\lambda)}{U_2(\lambda)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (22)$$

단  $G_n, U_n$  은 각각 우관수부, 기관수부를 의미한다. 위식 (17)(21)에 의해서 각회로 소자치를 결정한다.

또 조금 더 구체적으로  $g_1(\lambda)$ ,  $g_2(\lambda)$ 의 구하는 방법에 대하여 기술하고 또  $h(\lambda) + H^{-1} f(\lambda)$ 를 다음과 같이 인수분해해서 구한다.

$$h(\lambda) + H^{-1} f(\lambda) = \left\{ \sum_{i=1}^n (\lambda + \alpha_i) \sum_{i=1}^m (\lambda^2 + b_i \lambda + c_i) \right\} \\ \times \left\{ \sum_{i=1}^{n'} (\lambda + \alpha'_i) \sum_{i=1}^{m'} (\lambda^2 + b'_i \lambda + c'_i) \right\} \quad (23)$$

$$\text{또 } \alpha_i, b_i, c_i > 0, b_i^2 - c_i/4 < 0 \\ \alpha'_i, b'_i < 0, b'^2_i - c'_i/4 < 0$$

일반으로 통상의 여파기에 있어서는

$$\begin{aligned} f(\lambda) \text{가 기관수의 경우: } n=n', m=m' = 0 \text{ 또는 } 1 \\ f(\lambda) \text{가 우관수의 경우: } n=n' \begin{cases} = 1 \text{ 부터 } m-m' = 0 \text{ 또는 } -1 \\ = -1 \text{ 부터 } m-m' = 0 \text{ 또는 } -1 \end{cases} \end{aligned}$$

여기서

$$g_1(\lambda) = \sum_{i=1}^n (\lambda + \alpha_i) \sum_{i=1}^m (\lambda^2 + b_i \lambda + c_i) = G_0[g_1(\lambda)] + U_n[g_1(\lambda)]$$

$$\left. \begin{aligned} g_2(\lambda) &= \sum_{i=1}^{n_1} (\lambda + |\alpha_i|) \sum_{i=1}^{m'} (\lambda^2 + |b_i| + \alpha_i) \\ &= g_o[g_2(\lambda)] + u_n[g_2(\lambda)] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (24)$$

로된다.  $f(\lambda)$ 의 기판수 또는 우판수 인가에 의해서 식(23), 또는 식(24)에 의해 회로소자가 결정된다.

다음 특성판수  $\phi(\lambda)$ 를 나타내는 방법에 대하여 기술한다. 통상  $L, C$  여파기의 특성은 Tchebycheff 특성과 Wagner의 대다수이고 그의 2개 이외의 근사판수는 사용하지 않는다. 그런  $\phi(\lambda)$ 의 결정은 차단주파수 통과역에서 최소부정합 감쇠량 및 감쇠극의 위치와 그의 차수를 주어서,  $h(\lambda)$ 의 영점을 구하는 경우가 많다. 즉  $h(\lambda)$ 의 영점은 일의적으로 결정된다. 수정여파기에 있어서 대다수의 경우 특히 주의하지 않으면 안되는 것은 수정공진자를 적용해서 물리적으로 가능하며 더욱 요망되는 회로 구성을 선정하여 그것을 만족하는  $\phi(\lambda)$ 를 어느 정도로 택할 것인가가 여파기의 특성을 결정짓는 요소이다.

다음에 수정여파기의 특성에서 완전한 Tchebycheff 또는 Wagner 특성 만으로써 만족되지 않는 경우가 많다. 따라서 수정여파기 설계에 있어서 회로 구조를 고려하여  $h(\lambda)$ ,  $f(\lambda)$  및 계수  $H$ 을 어느정도 독립으로 주어서 자유도를 갖게하는 경우이지만 설계상 및 그것을 실현하는데 있어서 좋은 경우이다.

한편  $\phi(\lambda)$ 를 주는 방법으로서는 먼저 규격에서 회로 구조를 상정하고  $\phi(\lambda)$ 의 차수와 판수형을 주고 다음에 주어진 주파수에서 규격을 만족하도록 미정계수를 결정하는 문제에 귀착된다.

이하 수정여파기로서 많이 사용되고 있는 격자형 대역통과 여파

기에 관해서 기술하고 앞으로 45.5KHz 수정여파기에 대하여 설계를 행한다.

### (가) 특성판수 $\phi(\lambda)$

수정여파기의 이상적 격자회로 구성은 다음 조건을 만족한다.

(i) 격자회로 내부는 수정공진자와 Condenser 만으로 구성될 수 있다. 즉  $\phi(\lambda)$  은 격자회로 각 Arm 의 소자치 결정에 필요하다.

(ii) 수정공진자의 사용 개수를, zero 및 무한대 주파수를 제외한 영역에서 어떤 감쇠극의 수를 같게 할 수 있다.

(iii) 수정공진자의 제조상의 동이성을 고려하고, 규격에 대해 여유를 갖게 설계하고 될수 있는한 대칭 감쇠 특성에 가까운 구성이 요망된다.

상기의 조건을 만족하기 위해서는 격자형 회로의 내역통과 여파기에 있어서 회로 차수 N 은 우수에서 영주파수로 되고 극의 위수는 기수가 되지 않으면 안된다.

따라서  $\phi(\lambda)$  의 극 및 영점을 허 및 실 주파수 축상에 주지 않으면 일반적 판수 표시는 다음 식으로 주어진다. 물론 지연 특성이 문제가된 경우는 일반복소면에서 축(Pole)을 설치하지 않으면 안되지만 여기서는 생략한다.

$$\phi(\lambda) = H \cdot \frac{\sum_{i=1}^P (\lambda^2 + w_i^2) \sum_{j=1}^Q (\lambda^2 - j^2)}{\sum_{K=1}^{no} (\lambda^2 + g_k^2) \sum_{i=1}^S (\lambda^2 - i_{r\theta}^2)} \dots\dots\dots (25)$$



$$N = 2 ( P + Q )$$

$$N - \{ n_0 + 2 ( R + S ) \} = n_\infty$$

일반으로는  $q_k (k=1 \sim R)$ ,  $g_\ell (\ell=1 \sim S)$ ,  $n_0$  가 주어지고,  $H$ ,  $w_i (i=1 \sim P)$ ,  $\alpha_j (j=1 \sim Q)$  를 구하는 문제에 귀착된다. 그러나 먼저의 (iii) 의 조건을 고려해서  $w_i (i=1 \sim P)$  로 주어진 방법에 편리하다. 따라서 차단주파수에서  $H$  및  $\alpha_j (j=1 \sim Q)$  를 결정하여 취급하는 방법이 편리하다.

다시 계산을 용이하게 하려면  $\alpha_j$  를 크게 1 개로 하고  $g_\ell$  은 설계치 않는다.

한편  $w_i (i=1 \sim P)$  은 대역의 중심에서 집적해서  $H$  (및  $\alpha$ ) 을 구하는 문제에 귀착시킨다. 따라서  $\mathcal{G}(\lambda)$  을

$$\left. \begin{aligned} H & , \frac{(\lambda^2 + w_0^2)^N}{\lambda^{n_0} \sum_{K=1}^R (\lambda^2 + q_K^2)} , \frac{N}{2} \text{가 우수} \\ H & , \frac{(\lambda^2 + w_0^2)^{N-1} (\lambda^2 - \alpha^2)}{\lambda^{n_0} \sum_{K=1}^R (\lambda^2 + g_K^2)} , \frac{N}{2} \text{가 기수} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (26)$$

여기서 차단각 주파수  $w_{+1}, w_{-1}$  을 식 (26) 에 대입해서  $H, \alpha$  을 구하면 된다.

대칭감쇠 특성의 협대역통과 여파기로 하지 않고  $w_{+1}, w_{-1} \simeq w_0^2$  의 관계를 갖어서  $w_{+1}$  또는  $w_{-1}$  의 어느 것을 이용해서든지 장이 없는 경우가 많다. 그의 경우 미지수는 1 개로 족해서  $\alpha$  은 주어져도 좋다. 일반에서  $\alpha \simeq w_0$  이 되는 것으로 부터

$w_{+1}$  또는  $w_{-1}$ 에서의 미정 계수  $H$ 의 결정 문제로 해서 감쇠 특성은 규격에 따라서  $N$ 의 증감을 계산하는 방법이 간단해서 좋다. 규격에 의해서 감쇠극을 4개 이상 설계하지 않으면 안될 때는 본 여파기의 종속 접속에 의해서 보증감쇠량을 확보하는 것이 실제적이다. 그래서 식(26)에서  $w_{+1}$ ,  $w_{-1}$ 에서의 감쇠량을  $\Delta A$  (dB)라 하면  $(N/2)$ 가 기수의 경우

$$\Delta A = 10 \log [1 + \phi(\lambda) \cdot \phi(-\lambda)]_{\lambda = jw_{\pm 1}} \dots \dots \dots (27)$$

$$\alpha^2 = \frac{K_0 w_{-1}^2 - w_{+1}^2}{1 - K_0}$$

$$H = \frac{\prod_{k=1}^{N/2} \left| \frac{w_{+1}^2 - w_k^2}{w_{+1}^2 + \alpha^2} \right|}{(w_{+1}^2 - w_0^2)^{N-1} (w_{+1}^2 + \alpha^2)} \cdot \sqrt{\frac{\Delta A}{10 \log 10}}$$

또는

$$K_0 = \left( \frac{w_{+1}}{w_{-1}} \right)^{N/2} \left| \frac{\sum_{k=1}^{N/2} \frac{(w_{+1}^2 - w_k^2)}{(w_{+1}^2 - w_k^2)} }{\sum_{k=1}^{N/2} \frac{(w_{-1}^2 - w_k^2)}{(w_{+1}^2 - w_k^2)}} \right| \cdot \left| \frac{w_{-1}^2 - w_0^2}{w_{+1}^2 - w_0^2} \right|$$

$$1 < K_0 < \left( \frac{w_{+1}}{w_{-1}} \right)^2$$

대칭 감쇠 특성과  $w_{+1}, w_{-1} \simeq w_0^2$ 의 관계를 잃게 되면 상기의 부등식을 만족하지 않아서 그의 경우  $2K$  또는  $w_0$ 을 이동시킨다.

이상의 계산에 의해서

$$(\lambda^2 + w_0^2)^{N-1} (\lambda^2 - \alpha^2) + H^{-1} \lambda^{N/2} \sum_{k=1}^{N/2} (\lambda^2 + w_k^2)$$

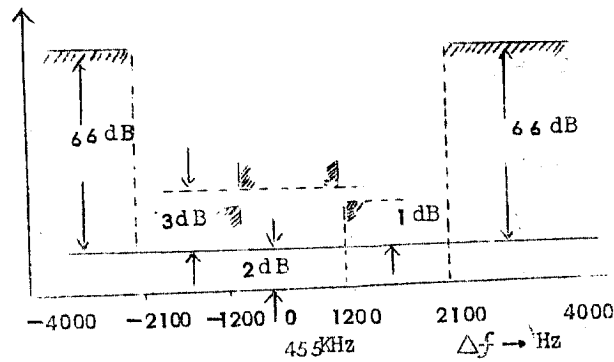
$$= \left\{ (\lambda + \alpha_1) \sum_{r=1}^{N-1/2} (\lambda^2 + b_r \lambda + c_r) \right\} \left\{ (\lambda - \alpha_2) \sum_{r=1}^{N-1/2} (\lambda^2 - b_r \lambda + c'_r) \right\}$$

을 인수분해 하면 된다. 위의 회로 소자치를 구하는 조작은 먼저 기술한 바와 같다.

단  $(\alpha_1, \alpha_2, b_r, b'_r, c_r, c'_r)$  등은 정수이다.

(3), 455KHz 수정여파기 설계.

[그림 1]과 같은 요구 규격을 만족하는 설계를 행한다.



[ 그림 1 ]

여파기 요구 규격

입력 Impedance : 5K  $\Omega$

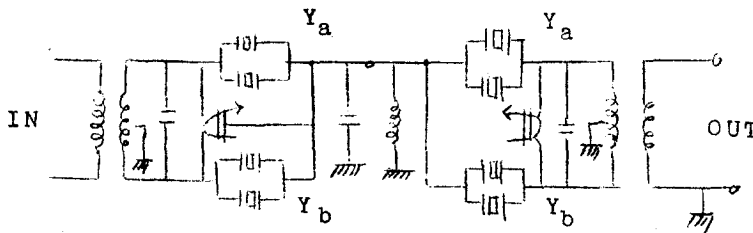
출력 Impedance : 5K  $\Omega$

사용 온도범위 : 상 온

규격으로부터 수정공진자는 4개 (회로차수  $N=10$ ) 를 기본 구간으로한 2 단 중속접속하여 수정공진자 8 개를 사용하였다.

회로 구조는 각 Arm에 수정공진자 2 개를 갖춘 기본적 Lattice circuit로 부터 등가 변환시킨 "야망" 회로 구성을 목표로 하고 소자의 실현 용이성을 생각하여 대칭감쇠 특성으로 한다.

실제 수정여파기 회로 구조는 아래의 그림 2 와 같이 구성하였다.



[ 그림 2 ]

설계법에 의해 제 Parameter 은 다음과 같이 정한다.

$$f_0 = 45.5 \text{ KHz} \quad (\text{중심주파수})$$

$$f_{\pm 1} = 45.5 \pm 1.5 \text{ KHz} \quad (\text{차단주파수})$$

$$f_{\pm \infty 1} = 45.5 \pm 2.5 \text{ KHz} \quad (\text{감쇠역주파수})$$

$$f_{\pm \infty 2} = 45.5 \pm 3.5 \text{ KHz} \quad (\text{감쇠극주파수})$$

중심주파수  $f_0$  에서 기준화 하면

$$W_1 = f_1 / f_0 = 1.00329$$

$$W_{-1} = f_{-1} / f_0 = 9.96703 \times 10^{-1}$$

$$q_1 = f_{\infty 1} / f_0 = 1.00549$$

$$q_{-1} = f_{-\infty} / f_0 = 9.94505 \times 10^{-1}$$

$$q_{+2} = f_{\infty 2} / f_0 = 1.00769$$

$$q_{-2} = f_{-\infty 2} / f_0 = 9.92307 \times 10^{-1}$$

특성관수  $g(\lambda)$  은 다음과 같이 표시된다.

$$g(\lambda) = H \frac{(\lambda^2 + 1)(\lambda^2 - 1)}{\lambda(\lambda^2 + q_1^2)(\lambda^2 + q_2^2)(\lambda^2 + q_{-1}^2)(\lambda^2 + q_{-2}^2)}$$

여기서  $W_{+1}$  에서 3dB 를 갖도록 H 를 구한다.

수정공진자의 Q 가 대단히 크다면 손실은 영향을 받지 않는다.

$Q = 20,000$  으로해서  $W_{+1}$  에서 감쇠를 0.1dB 로 해서 계수 H 를 구하면

$$\Delta A = 2.9 = 10 \log_{10} (|1 + g(\lambda)|^2), \lambda = jW_{+1}$$

협대역형 대칭 특성이므로  $\lambda = jW_1$  이므로 H 은 다음과 같다.

$$H = \sqrt{\frac{2.9/10}{10^{-1}}} \cdot \frac{W_1(W_1^2 - q_{-1}^2)(W_1^2 - q_{-2}^2)(q_1 - W_1^2)(q_2^2 - W_1^2)}{(W_1^2 - 1)^4 (W_1^2 + 1)}$$

$$= 4.878002 \times 10^2$$

$$H^{-1} = 2.05002 \times 10^{-3}$$

각 Arm (직렬, 병렬) 의 특성을 규정짓는  $g(\lambda)$  은 다음과 같다.

$$g(\lambda) = h + H^{-1}f(\lambda) = g_1(\lambda), g_2(\lambda)$$

최소 차수를 10차 ( $N=10$ ) 로 하여 h 를  $\lambda$  에 대하여 인수분해

하여  $g_1(\lambda), g_2(\lambda)$  를 구한 다음 각 Arm Admittance  $Y_a$

( $\lambda$ ),  $Y_b(\lambda)$  를 구하여 각 소자 정수치를 산출하여 소자정수치로

부터 수정공진자로 치환된 값을 구하면 다음과 같다.

$$f_{r1} = 453.611 \text{ Hz} \quad f_{r2} = 455,000 \text{ Hz}$$

$$f_{r1} = 454.135 \text{ " } \quad f_{r2} = 455,876 \text{ " }$$

위와같은 소자치를 기준으로 수정공진자 8개를 제작하여 [그림 2]와 같은 회로 구성으로 수정여파기 1개를 제작하였다.

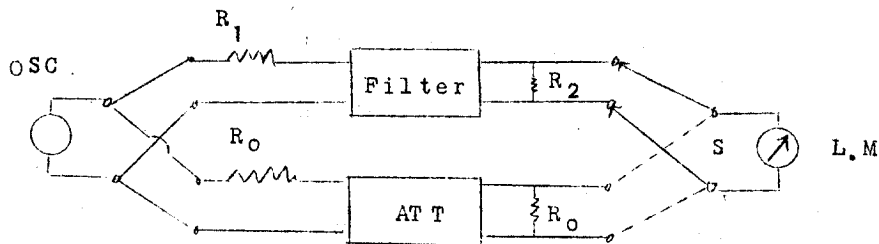
#### (4), 특성 측정

[그림 3]과 같이 여파기에 전원저항  $R_1$  과 부하저항  $R_2$  를 접속하고 특성 Impedance  $R_0$  로 가변저항 감쇠기에 같은 방법으로 접속하여 출력측의 전압을 비교를 행한다. 여기서 가변저항 감쇠기의 감쇠량을 조정하여 Switch S를 여파기측과 저항감쇠기측으로 교대로 전환시키면서 Level 측정기의 지시가 같게 행한다. 이때의 여파기의 동작 감쇠량은 다음과 같이 표시된다.

$$A = 10 \log_{10} \frac{R_2}{R_1} + A'$$

$A'$  은 저항감쇠기의 감쇠량이고 dB로 표시되고 여파기의 동작 동작 감쇠량은 저항감쇠기의 감쇠량을 읽어서  $10 \log_{10} \frac{R_2}{R_1}$  (dB) 을 가한 값이다.

시 작품의 동작감쇠량 특성은 다음과 같다.



[ 그림 3 ]

주파수 (Hz)	동작감쇠량 (dB)	주파수 (Hz)	동작 감쇠량 (dB)
450,000	50.3	455,000	2.6
450,500	50.3	" ,100	2.7
451,000	50.3	" ,200	2.9
" ,500	50.3	" ,300	3.2
452,000	50.4	" ,400	3.1
" ,500	51.1	" ,500	2.9
453,000	52.3	" ,600	2.4
" ,100	52.3	" ,700	2.1
" ,200	51.9	" ,800	2.2
454,300	49.3	455,900	2.8
" ,400	41.8	456,000	3.0
" ,500	31.6	" ,100	3.1
" ,600	20.5	" ,200	3.4
" ,700	7.1	" ,300	4.6
" ,800	3.6	" ,400	15.4
" 900	2.8	" ,500	27.0
454,000	2.3	" ,600	37.4
" ,100	2.5	" ,700	46.1
" ,200	2.4	" ,800	41.5
" ,300	2.1	" ,900	52.2
" ,400	2.4	457,000	52.4
" ,500	3.6	" ,500	52.4
" ,600	3.8	458,000	52.2

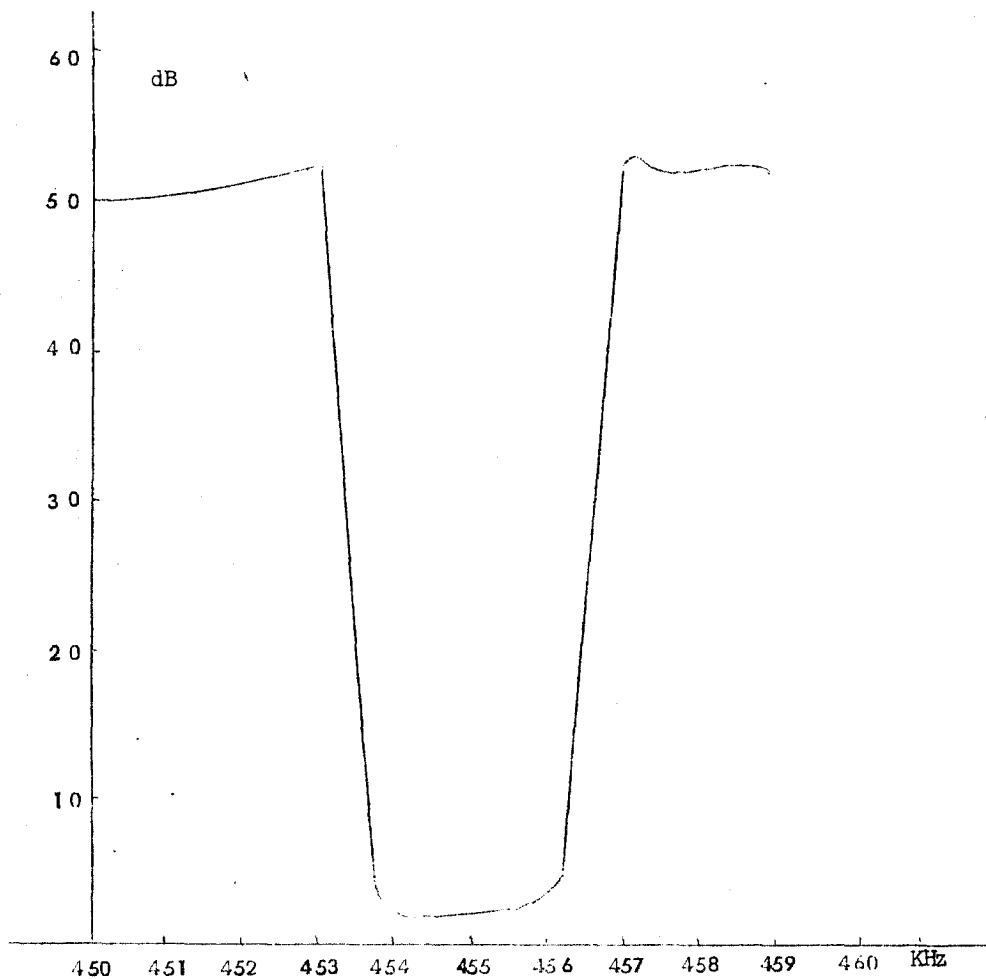
주파수 (Hz)	동작감쇠량 (dB)	주파수 (Hz)	동작감쇠량 (dB)
" , 700	3.5	" , 500	50.1
" , 800	3.1	459,000	49.9
" , 900	2.8	" , 500	49.8
		460,000	49.7

이 상에서 얻은 결과와 전파관리법에 규정되어 있는 S.S.B 수  
신장치 조건과 외국제품의 특성 비교하여 보면 다음과 같다.

外  
五  
朱

Model	통과역 특성					감쇠역 특성			비고
	중심주파수	대역폭		Ripple	삽입손실	감쇠량	대역폭	Supurious	
KHF-12 및 전파 관리법	455 KHz	6dB	$\pm 1.2\text{KHz}$ $\pm 1.5\text{KHz}$	2 dB	6 dB	20 dB	$\pm 1.5\text{KHz}$	60 dB	
						26 dB	$\pm 1.7\text{KHz}$		
						46 dB	$\pm 1.9\text{KHz}$		
						66 dB	$\pm 2.1\text{KHz}$		
시작품	455 KHz	6dB	$\pm 1.3\text{KHz}$	3.6dB	6dB	20 dB	$\pm 1.4\text{KHz}$	50 dB	
						26 dB	$\pm 1.5\text{KHz}$		
						46 dB	$\pm 1.6\text{KHz}$		
						52 dB	$\pm 1.8\text{KHz}$		





[ 그림 4 ]

### 3. 수정여파기 설계 및 제조에 관한 기술적 문제점

여파기는 Coil 및 Condenser 등을 회로 소자로 이용할 경우  
그의 Impedance에 대한 주파수 특성을 충분히 음미하여 여파기

를 설계하여야 한다.

그 중에서 Coil 및 Condenser 가 갖는 Reactance 를 결정하여 Inductance 및 용량은 사용 주파수대 전역에 걸쳐 일정한 값을 갖는 것이 요망된다.

또한 Coil 및 Condenser 의 손실 계수는 이상적으로 Zero 가 요망 되지만 실제로는 재료가 갖는 고유의 성질로 부터 많은 값의 손실을 갖는다.

또 회로부품 상호간에, 회로부품과 배선간에 회망하지 않는 유도성 및 용량성의 전자결합이 존재하여 여파기 특성을 열화시킨다. 따라서 이상의 문제는 여파기 설계 및 제조에 있어서 충분히 고려하여야만 한다.

Coil 의 Inductance 은 자심 중에 있는 권선내의 Eddy Current 에 의해서 생기며 반자장에 대하여 감소된다.

이의 경향은 주파수의 증대에 비례하여 커진다. 이러한 이유로써 비저항이 작은 금속 자심은 여파기용으로 부적당하다.

일반으로온 압분자심이나 ferrite Core 가 그의 목적에 따라 사용된다.

그의 종류에 대하여는 사용 주파수대에 제한을 받는다.

ferrite Core 은 손법공진현상과 자기 공명현상에 대하여 크게 주파수대에서 급격한 Impedance 가 저하하는 성질있다.

공심 Coil 의 경우는 Inductance 를 일정하게 유지 시키려면 허니컴, 권선방법이 좋고 권선이 진동에 변하지 않도록 고정시키는 것이 요망된다.

여파기용 Condenser 에서도 유전율이 큰 강유 전체는 통상사용

하지 않는다.

현재 Mica Condenser, 유기 film Condenser가 널리 사용되고 또 고주파에 있어서는 세라믹 제통의 Condenser을, 저주파대에 있어서는 대용량의 Paper Condenser 또는 유기 film Condenser도 사용되고 있다.

회로 부품의 손실계수가 크면은 여파기의 통과역 특성과 저지역 특성을 열화시키며 각종 안정도를 나쁘게 하는 요인이 된다.

Coil에 있어서는 Condenser의 손실계수 보다 약 10배 크므로 여파기의 특성 열화의 주원인이 되어 극력적게 하는것이 요망된다.

Coil의 손실 계수는 자심자로 권선재료 구조 및 크기에 의해서 지배된다. 여파기 용으로서  $Q$  (손실 계수의 역수)의 치은 100 ~ 1000이다.

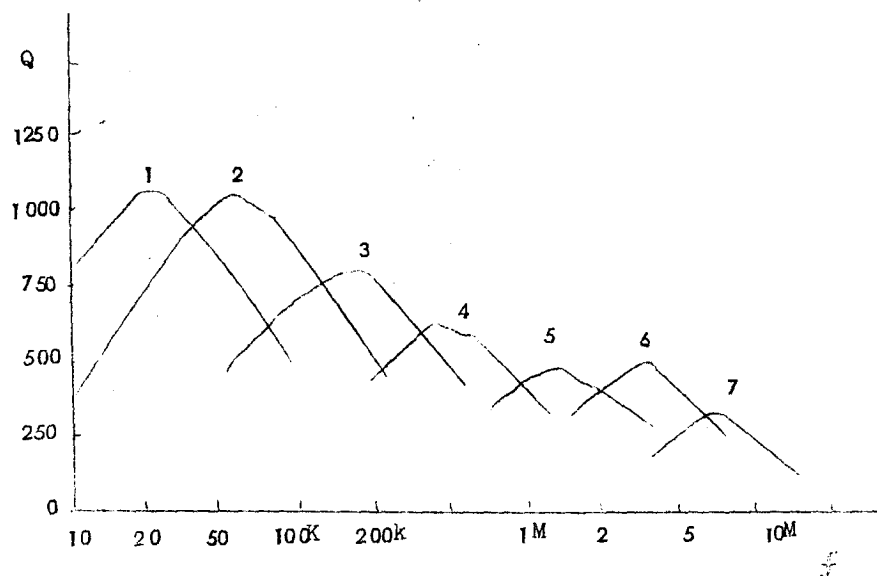
재질과 크기에 따른  $Q$ 의값을 [그림 5]에 표시하였다.

여파기용 Coil의 설계에 있어서는 이상의 자료를 준비할 필요가 있다.

Condenser의  $Q$ 은 통상 1000이상으로 엄격한 규격을 요구하는 경우에만 문제가 되고 일반적으로는 문제시 할 필요가 없다.

Coil의 권선상호간, 권선과 대지간에 분포 용량이 존재한다. 그의 분포 용량은 Coil의 특성중 고주파에 있어서 Inductance의 평탄성과 손실계수를 열화시킨다. 그의 표유 Impedance은 근사적으로 권선에 병렬로 삽입된 용량과 같이 생각하여도 좋다. 엄밀한 취급을 요하는 경우는 대지에 대하여 4 단자망으로 생각하면 된다.

공진주파수 이상에서는 Coil의 특성은 단순하지 않다. 이 때는



[ 그림 5 ]

번 호	크 기	재 질
1	30 $\phi$ ×19	Mn-Zn
2, 3	23 $\phi$ ×13	"
4	17 $\phi$ ×13	"
5	18 $\phi$ ×14	Ni-Zn
6, 7	20 $\phi$ ×16	Ni-Zn

분포선로 ( 분포정수 회로 ) 의 특성을 갖는다 . Reactance 은 용량  
성과 유도성의 특성이 교번적으로 된다 . 특히 광대역 특성을  
고려할 경우 주의가 필요하다 . 분포용량을 감소시키려면

(1) Coil 의 크기를 적게 한다 .

(2) 권선의 피막을 열게 한다.

(3) 특수 권선 방법을 사용한다.

(4) 보빙은자심과 근접시키고 재료는 유전율이 낮은 것을 사용한다.

(5) 권선을 섬세한 것을 사용한다.

위의 조건을 만족시키려면 Coil의 손실 계수가 증대되는 경우가 많으므로 양자의 타협점을 찾아 선택하여야 한다.

Condenser에 있어서는 표유 Impedance은 직렬로 삽입된 Inductance와 거의 같다. 이것들은 lead 및 Condenser 전극이 갖는 자기 Inductance에 기인되며 고주파 특성을 변화시키는 것은 Coil에 있어서 분포용량과 같다. 그의 대책으로써 Coil의 경우와 반대로

(1) lead 선을 짧게 한다.

(2) lead 선의 인출방법은 2개의 lead 선을 같은 방향이되게 근접시켜 배치한다.

회로 부품간을 연결한 배선에서도 분포용량과 표유 Inductance가 존재하여 충분히 격리시키고 차폐시킨다.

또 여파기 회로의 일부가 접지된 경우 접지 방법에 따라서 불평형 전류가 흘러 입력 출력간의 누파가 발생하여 여파기의 특성에서 감쇠역의 특성을 열화시킨다.

이것은 감쇠량이 큰 여파기에 있어서는 현저히 나타난다. 이것을 방지하기 위하여 다음과 같은 방법이 있다.

(1) 여파기의 접지를 1개소에 집중시킨다.

(2) 변성기를 삽입한 여파기를 대지로부터 격리시키고 변성기의

외부회로 권선 축을 접지 시킨다.

(3) 여파기용 저지선률을 삽입한다.

#### 4. 결 론

각종 통신기기에 사용되는 45.5KHz 수정 여파기를 동작 Parameter법에 의한 설계로 시작품을 제작하여 특성을 작년도 제품과 비교하여본 결과 감쇠역 감쇠량은 52dB 로써 작년도 45dB에 비해 6dB 개선되었고 통과역 전송량중 ripple 3.6dB 로써 약 2dB 개선 되었음

앞으로 감쇠역 감쇠량 66dB 이상 통과역 전송량중 ripple 2dB 이내가 되도록 더욱 연구 개발하겠음.