

## 수정여파기에 관한 연구

•



## 목 차

1. 서 론	211
2. 등가 회로와 기본방정식	212
3. 수정여파기 회로구성	215
4. 설계순	220
5. 협대역형 수정여파기의 설계	222
6. SSB 통신용 455 KHz 수정여파기의 시작품 설계	236
7. 외국제품의 특성조사	239
8. 수정여파기의 측정 및 조정	246
9. 결 론	254

통신기정      박    명    진

통신기좌      윤    창    근

전송기사      김    성    배

전송기사보    강    덕    근

전송기사보    최    근    무

전송기원      조    인    섭

## 1. 서 론

수정여파기는 1933년 Bell 연구소의 W.P. Mason에 의해 발명된 것으로서 통상의 Coil과 Condenser로된 L.C 여파기로는 거의 실현 곤란한 정도의 급준(Sharp)한 차단특성을 가지며 통과대역 손실이 지극히 적을뿐 아니라 더욱이 높은 안정성을 가진 여파기를 얻을수있다는 특징을 가지고 있다. 이같은 특징은 수정공진자 자체가 지닌 높은 Q와 고안정성에 의해 얻어지고 있다. 일본에 있어서의 수정여파기 실용화는 제2차대전 이후라고 한다. 수정여파기는 위에서 말한바와 같이 우수한 점도 갖었지만 한편 결점도 있어서 적용한계에 제한을 받고 있다.

### 가. 우수성

(1) 수정공진자는 Q가높기 때문에 여파기의 삽입손실(Insertion Loss)이 적고 급준한 여파특성을 갖는다.

특 성		Q	공진주파수 온도계수 $\left  \frac{\Delta f}{f} \right  \times 10^{-6} / ^\circ C$
공	진 계		
전 기	Coil·Condenser	20 ~ 1,500	50 ~ 100
기 계	수 정	20,000 ~ 200,000	0.5 ~ 20
	금 속	2,000 ~ 20,000	2 ~ 30
	P Z T	70 ~ 2,000	5 ~ 50

표 : 여파기 구성소자의 단일공진제로 하는 특성비교

(2) 수정공진자의 주파수온도계수의 값이 적으므로 경년변화에 의한 주파수 변동이 적고 좋은 안정성을 갖는다.

(3) 소형 경량으로 제작할수 있다.

#### 나. 결 점

(1) 수정공진자의 여파기로서의 효과적인 적용범위는 수정공진자의 Impedance, 공진주파수, Q 및 용량비 등에 따라 많은 설계상의 제한을 받는다.

(2) 수정공진자의 진동자태에서 기계진동을 사용하고 있기 때문에 생기는 제거하기 힘든 불요진동 즉 부공진에 의해 미치는 나쁜 영향을 받는 경우가 있다.

(3) 기계적으로 약하기 때문에 그 취급 특히 진동충격에 대해 충분히 유의하여야 한다.

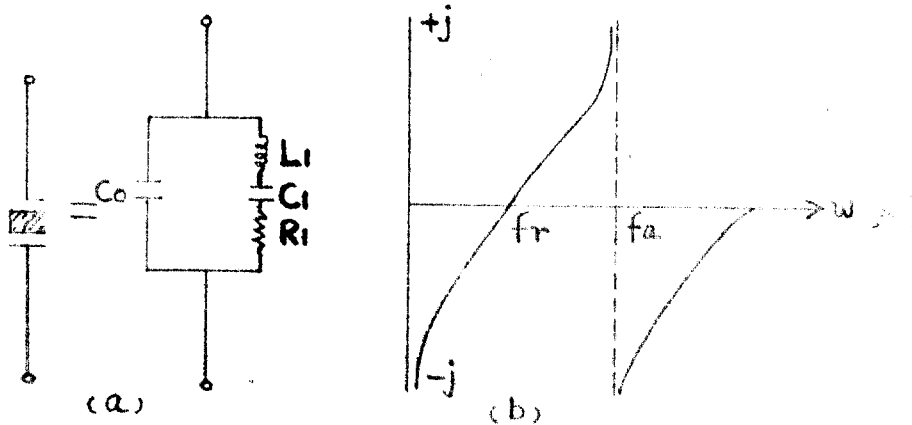
(4) 현재로서는 전기소자의 대용품로서는 고가이기 때문에 가격적으로 그 적용에는 한계가 있다. 그러나 이문제는 인공수정의 양산화 체계가 확립되어 결점을 해소 시킬수있는 문제이다.

이에따라 당 연구소에서는 1972년부터 1차적단계로 SSB통신기에 사용되는 455KHz 수정여파기의 회로구성, 설계이론, 외국제품의 특성조사 및 시작품제작에 본연구의 목적을 두었다.

## 2. 등가회로 와 기본방정식

### 가. 2 단자 공진자

2 개의 전극을 가진 수정공진자는 그의 공진주파수 부근에서 근사적으로 [ 그림 1 ] (a) 와 같은 등가회로로 표시된다.



[ 그림 1 ] 수정공진자의 등가회로 및 Reactance 특성

여기서  $C_0$ ,  $L_1$ ,  $C_1$ ,  $R_1$  은 등가정수라 하며  $C_0$  는 전극간의 정전용량과 Holder-Lead 선의 표류용량을 합한 것이다. 등가 Inductance  $L_1$  및 등가 Capacitance  $C_1$  은 수정편의 탄성 및 압전정수, 절단방향, 크기, 전극의 배치 및 형상에 따라 결정되는 것으로서 단순한 형상의 진동양식에 대해서만 구하여지고 있다.

이것들  $C_0$ ,  $L_1$ ,  $C_1$  은 충분한 재현성이 있지만 등가정수  $R_1$  은 Mounting, 표면처리, 전극막의 재료 및 기압, 온도, 습도 등 외부조건에 따라 변하는 값으로서 비교적 재현성이 희박하다. 공진자의  $Q$  는 극히높아서 보통  $2 \sim 20 \times 10^4$ , 특수한 것으로는  $500 \times 10^4$  의 것도 얻어진다. 일반적으로 수정공진자는 손실이 적어 대부분의 경우 순 Reactance 회로로 봐도 좋다. 공진주파수 부근에서

그 Reactance 특성은 [ 그림 1 ] 의 (b) 와 같이 된다. 여기서 공진주파수를  $f_r$ , 반공진 주파수를  $f_a$  라 하면

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_1 C_1}}$$

$$f_a = f_r \sqrt{1 + \frac{C_1}{C_0}}$$

위에서  $C_0/C_1$  은 용량비 (r) 라고 하며 수정공진자의 진동자태에 따라 정해지는 고유의 값이고 진동자의 크기에는 무관하며, 보통 r는 100 보다 큰 값이다. 또 반공진주파수는 근사적으로

$$f_a = f_r \left(1 + \frac{1}{2r}\right) \text{ 이다.}$$

따라서, 용량비 (r) 은

$$r \approx f_r / 2 (f_a - f_b) \text{ 이다.}$$

이와같이 용량비는 공진주파수와 반공진주파수의 폭을 결정하여 주는 양이다.  $f_a$  와  $f_b$  의 차가 크다는것은 수정공진자의 전기 Energy 와 기계 Energy 의 상호 교환이 자유롭다는것을 의미한다.

이 용량비는 위에서 말하겠지만 설계상 충분히 고려하지 않으면 안된다. 즉, 용량비가 최소치로 된다는것은 대역통과(저지)여파기의 통과(저지)대역폭이 최대가 된다는것을 의미한다. 따라서 용량비의 값이 아주 작은 공진자를 사용할때 Band Pass Filter의 통과대역폭은 아주 큰것이 된다. 따라서 용량비에 의해 제한되는 대역폭(저지폭)이상의 넓은 여파기는 만들수가 없다.

아래의 표는 수정공진자의 소자의 진동자태에 대한 사용주파수 범위와 용량비의 대략치를 나타낸것이다. 여기서 +5°X-Cut 종진동의 경우 용량비가 적기 때문에 사용주파수 범위내에서 대역폭



을 가장 넓게 설계할수있다.

진 동 자 태	주 파 수 범 위	용 량 비
+ 5° X-Cut 板 合 굴곡	0.2 ~ 10 KC	230
+ 5° X-Cut 板 굴곡 진 동	4 ~ 10 "	230
+ 5° X-Cut 板 종 진 동	40 ~ 200 "	130
C T 板 윤곽 진 동	150 ~ 500 "	350
A T 板 두께 진 동	0.5 ~ 15 MC	190
B T 板 "	3 ~ 25 "	470
n 차 두께 진 동	기본파 × n (기수)	기본파 × n <sup>2</sup> (기수)

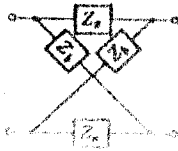
"표" 진동자태와 주파수와와의 관계

### 3. 수정여파기 회로구성

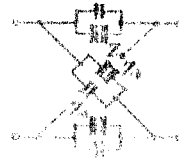
가. 수정여파기의 기본회로구성

$$\text{수정여파기} \left\{ \begin{array}{l} \text{협대역형} \left\{ \begin{array}{l} \text{Lattice circuit (형식 I)} \\ \text{Ladder Circuit (형식 II)} \end{array} \right. \\ \text{광대역형} \left\{ \begin{array}{l} \text{Lattice Circuit (형식 III)} \\ \text{Ladder Circuit (형식 IV)} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

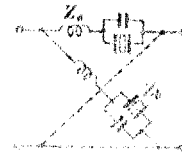
일반적으로 형식 I, III은 Lattice 회로이며 기본적인 특성은 대칭형 이고 II, IV는 Ladder 회로이며 기본적인 특성은 비대칭형 이다  
수정여파기의 최대 비대역폭은 수정공진자의 용량비 r에 의해 이론



기본적 Lattice 회로



협대역 수정여파기  
(형식 I)



광대역 수정여파기  
(형식 III)



(a) 협대역(형식 II)



(b) 광대역(형식 IV)

## [그림 2] 기본적 수정여파기 회로

적으로 다음식과 같이 결정된다. 용량비  $r$  (Montional Capacity/Load Capacity).

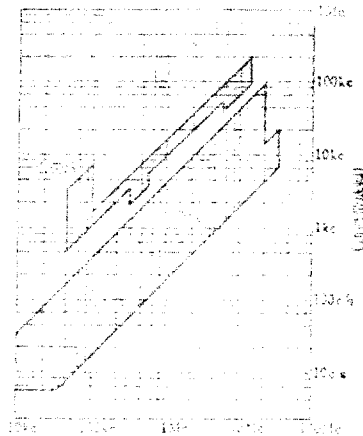
형식 I : 최대비대역폭  $\Delta_{\max} \leq 1/r$

형식 II : " "  $< 1/2r$

형식 III : " "  $\leq 3/2\sqrt{r}$

그러나 실제의 실현 가능범위는 수정공진자의 등가정수치에 대하여 그외의 회로 구성소자인 Transformer 및 Coil의 실현 가능범위에 따라 제한을 받는다. 예를들면 수정공진자의 Impedance가 다른 회로부품에 비해 대단히 큰 값을 가지므로 형식 I의 협대역형에서는 그외 최대 비대역폭을 갖는것을 설계하면 회로 Impedance가 대단히 큰값이 되어 Matching Transformer의 제조상 그외 실현성이 없는 경우가 때때로 있다. 또 형식 III의 광대역형에서 그외 대역

폭이 비교적 좁은것을 설계할 경우에는 회로 Impedance 가 적은 값이 되어 Matching Transformer 의 실현성이 없어진다. 또 신장 Coil 의 Q 값에 따라 삽입손실이 큰값이되어 요구하는 특성을 얻기 곤란하다. 이와같은 이유로서 보통 제조되고 있는것은 아래의 [그림 3] 과 같은 범위내의 것이며 앞으로의 연구개발에 의해 범위의 확대가 요구되고 있다.

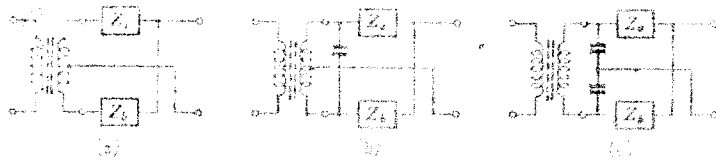


[그림 3] 수정여파기 제작범위

#### 나. 수정여파기의 실제 회로구성

##### (1) 협대역형 수정여파기

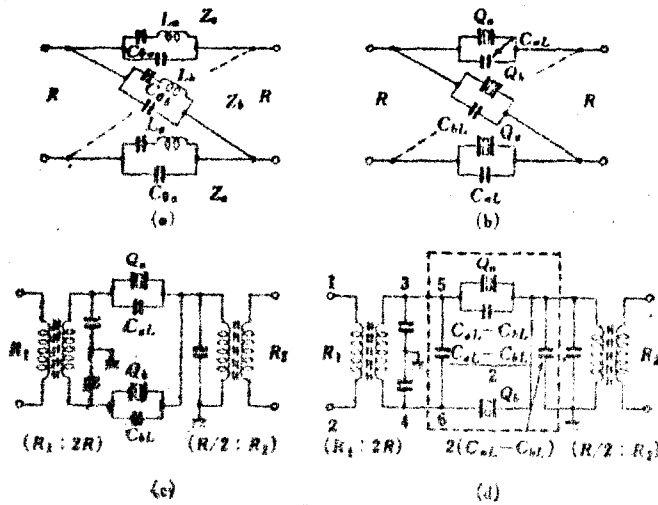
협대역형은 대부분 불평형 Type 등가변환회로가 쓰여지고 있는데, 기본이 되는 1구간에 대하여 살펴보면 아래의 같은 [그림 4]의 회로구성이 된다. 여기서  $Z_a$ ,  $Z_b$ 는 수정공진자와 Condenser 만으로 구성되는 2단자망이다. 설계상 수정여파기의 통과대역내의 특성은 순저항으로 종단할 경우를 기준으로 하므로 변성기를



[ 그림 4 ] 협대역 수정여파기 회로구성

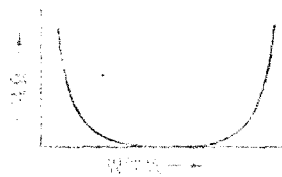
삽입하여도 순저항종단으로 간주할수 있다. 비교적 주파수가 낮은 경우에는 Leakage Inductance가 적어 이상변성기로 간주할수있는 변성기를 실현할수 있다. 그러나 주파수가 높아지면 이미 Transformer를 삽입한다는것은 순저항으로 보기힘드므로 이때는 동조 변성기가 쓰여진다. [ 그림 4 ]의 (a)는 일반적으로 낮은 주파수대이고 (b), (c)는 높은 주파수대에서 쓰여지는 회로구성도 이다. 이러한것은 2 단자 Impedance  $Z_a$ ,  $Z_b$ 와 변성기 2 차측 Impedance로된 Bridge 회로로 생각되며 감쇠극은 그의 평형이 완전히 잡힌 경우이다. 따라서 변성기의 2 차측이 완전히 불평형이 되면 감쇠극의 감쇠량이 저하될뿐아니라 여파기의 대칭성이 나빠진다.

[ 그림 4 ]의 (c)와같이 Condenser에 의하여 중점을 잡은 동조변성기를 사용하면 변성기 2 차측의 분포용량등에 의한 불평형의 문제점이 없어지고 그외에 Leakage Impedance가 보상되므로 변성기 설계제조상에서 특히 고주파용으로 유효하다. 설계이론상 기본적인 Lattice 회로 부터 실제구성회로(야망회로)까지의 등가 변환회로의 예를 [ 그림 5 ]에 표시하였다. (a)는 Lattice 기본회로이고 (b)는 그의 구성회로이며 (c)는 Lattice회로로부터

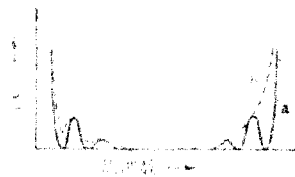


[ 그림 5 ] Lattice 회로에서 야망 회로 까지의 등가변환 회로

“야망” 회로 등가변환 시킨 것이며 (d)는 변성기 단자 3, 4로부터 좌측을 본 Impedance는 중심 주파수에 있어서 단자 1, 2에서 순저항  $R_1$ 을 종단한 경우  $4R$ 이 아니면 아니된다. 따라서 5, 6 단자로부터 좌측을 본 Impedance는 당연 용량성이 된다. 영상 parameter법에 의하여 설계된 협대역 수정여파기의 통과대역내 전



[ 그림 6 ]  
통과대역내의 전송특성



[ 그림 7 ]  
n 구간점속시 통과대역내의  
전송특성

송특성은 기본구간에 대한 [그림 6]과 같은 평탄특성을 갖는다. 그러나 이것을  $n$ 개 종속접속 하면 [그림 7]과 같은 파상특성이 되고 종속수가 증가하면 할수록 그의 전송 Distortion은 심하여 진다. 이 회로에서 상측통과대역단 근처의 특성은 변성기와 수정 발진자에 병렬로 삽입되는 Condenser 등의 병렬소자에 의한 손실에 따르며 또 하측통과 대역단 근처의 특성은 수정발진자 등의 직렬소자의 손실에 따라 크게 영향을 받는다. 따라서 실제로는(b)와 같은 점선과 같은 특성으로 되는 수가 있다. 변성기 등의 병렬소자의 영향은 직렬소자의 수정공진자에 비하여 크고 상측통과대역의 특성은 파상특성의 포락특성에 가까운 특성이 되고 통과대역내의 특성은 비대칭으로 된다. 따라서 일반적으로 다단종속을 행할 경우는 [그림 7]과 같이 되고 하측통과 대역단의 파상특성을 보상하기 위하여 저항을 직렬로 삽입하든가 저항감쇠기를 [그림 8]과 같이 한다. 이것은 또 접속점의 Impedance 불정합 또는 상호작용 손실에 의한 전송 Distortion의 영향을 적게 하는데 있어서도 유효하다.

## 4. 설 계 순

### 가. 회로형식 결정

먼저 소망하는 여파특성을 얻기에 적합한 회로형식 및 구성회로의 결정을 행한다. 요구되는 Data, 즉 소망하는 여파특성의 비대역폭 및 대칭형, 비대칭형에 따라 회로형식 (I), (II), (III)

(IV)에서 가장 적합한 것을 선택한다. 만일 그것이 회로형식 (I) (III)의 Lattice 회로이면 소망하는 차단특성에 따라 그의 영상 Parameter ( $Z_a, Z_b$ )를 어떤 2 단자망으로 구성할 것인가를 결정한다. 이와같은 경우 실제의 구성회로의 등가회로에 있어서 회로 Impedance에 대한 각 구성부품의 제작 가능범위 및 제약조건을 정한다. 이와 더불어 소요감쇠량은 근본으로 기본구간을 몇개 종속할 것인가를 결정한다.

나. 감쇠량 및 차단주파수 등의 설계기준의 결정, 각종설계 Chart 혹은 Data에 의해 감쇠량 및 차단주파수를 부여하여 소자정수치 산출의 기준을 정한다.

다. 동작전송량에 대한 검토와 보완을 행한다. (2)의 과정에서 설계기준을 동작전송량에 기초를 두어 검토하여 그의 보완을 행한다.

라. 위의 과정에서 정해진 설계기준에 기초를 두어 기준화된 Impedance 즉 회로 Impedance를  $1 \Omega$ 으로 하였을 때의 각소자 정수치를 산출하여 실제의 회로구성 및 각구성 부품의 실현조건을 참조하면서 가장 적합한 회로 Impedance R를 정한다.

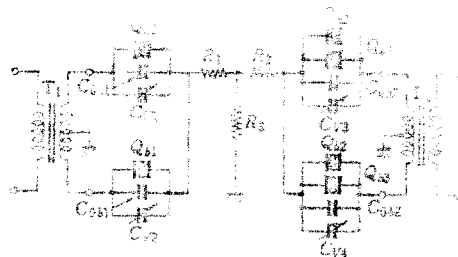


그림 (8)

마. 최종으로 회 Impedance R 값을 대입하여 각소자 정수치를 산출하여 제작한다.

## 5. 협대역형 수정여파기의 설계

### 가. 설계 및 해석

여기서는 대칭특성의 것에 대하여 설계를 행한다.  
이 형식으로는 Lattice 회로의 직렬완  $Z_a$ , 격자완  $Z_b$ 의 구성 및 조합에 의하여 이루어진다.  $Z_a$ 와  $Z_b$ 의 영상전달정수는 각각 다르나 영상 Impedance는 서로 같다. 여기서 통과대역내의 전송특성은 다음의 식으로 나타낸다.

$$\alpha^{(n)} \leq \frac{1}{2} \log \left[ 1 + \frac{1}{4} \left( |Z_o| - \frac{1}{|Z_o|} \right)^2 \right] = \log_e \left\{ \frac{1}{2} \left( |Z_o| + \frac{1}{|Z_o|} \right)^2 \right\} \dots \textcircled{1}$$

통과대역내의 동작전송량은 영상전달정수가 다른 회로 (또는 같은 영상전달정수를 가진 회로)를  $n$  단 종속 하여도 ①식에서 규제된 포락선내에서는 안정된다. 또 감쇠역의 감쇠량은

$$\alpha^{(n)} = \sum_{i=1}^n \alpha_i + \log_e^2 \left\{ |Z_o| + \frac{1}{|Z_o|} \right\} - \log_e^2 \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

$$\Delta \alpha_n = \log_e \left\{ |Z_o| + \frac{1}{|Z_o|} \right\}$$

이고 보정항  $\Delta \alpha_n$ 은 모두 같은 값이 된다. 각각 그의 회로의

영상감쇠량  $\sum_{i=1}^n \alpha_i$ 를 보정항  $\Delta \alpha$ 로 부터 구한다.

### 나. 설계

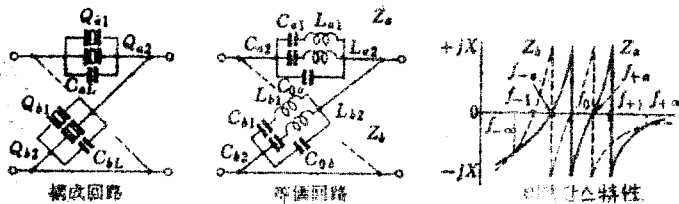
$Z_a$ ,  $Z_b$ 가 각각 수정공진자 2개로 구성되는 (그림 9)와 같



은 수정여파기의 실재를 행한다. 그림에서 (a)는 구성회로 (b)는 Reactance 특성을 표시한다. 이 경우  $Z_a$ ,  $Z_b$ , 은

$$Z_a = \frac{1}{j\omega C_{a1}} \cdot \frac{(\omega^2 - \omega_{-a}^2)(\omega^2 - \omega_{+a}^2)}{(\omega^2 - \omega_0^2)(\omega^2 - \omega_{+1}^2)} = \frac{1}{j\omega C_{a1}} \cdot \frac{\Omega^2 - \Omega_{+a}^2}{\Omega(\Omega - 1)} \dots\dots\dots (3)$$

$$Z_b = \frac{1}{j\omega C_{b1}} \cdot \frac{(\omega^2 - \omega_0^2)(\omega^2 - \omega_{-1}^2)}{(\omega^2 - \omega_{-a}^2)(\omega^2 - \omega_{+a}^2)} = \frac{1}{j\omega C_{b1}} \cdot \frac{\Omega(\Omega + 1)}{\Omega^2 - \Omega_{+a}^2}$$



[ 그림 9 ]

회로의 특성 Impedance는

$$Z_0 = \frac{\omega_0}{\omega} \sqrt{\frac{1 + \Omega}{1 - \Omega}} \doteq \sqrt{\frac{1 + \Omega}{1 - \Omega}} \dots\dots\dots (5)$$

여기서  $\Omega$ 는 주파수 변환식에 의해

$$\Omega = \frac{2\omega^2 - \omega_{+1}^2 - \omega_{-1}^2}{\omega_{+1}^2 - \omega_{-1}^2} \dots\dots\dots (6)$$

로 표시된다.

다음 영상전송량은

$$\tan h \frac{\theta}{2} = m_1 \frac{\Omega^2 - \Omega_\infty^2 + a}{\Omega \sqrt{\Omega_\infty^2 - 1}} \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{여기서 } m_1 = \sqrt{\frac{\text{Cob}}{\text{Coa}}} = \frac{\Omega_\infty \sqrt{\Omega_\infty^2 - 1}}{\Omega_\infty^2 - \Omega^2 + a} \text{로 된다.}$$

Coa와 Cob가 같게되는 조건을 위식에 대입하면

$$\Omega_{+a}^2 = \Omega_\infty^2 - \Omega_\infty \sqrt{\Omega_\infty^2 - 1} < 1 \dots\dots\dots (8)$$

가 구하여진다. 영상전달정수는

$$\theta = \tan h^{-1} \frac{\Omega^2 - \Omega_\infty^2 + a}{\Omega \sqrt{\Omega_\infty^2 - 1}} \dots\dots (9) \text{로되고 각소자 정수치는 다음의}$$

[ 표 1 ]로 부터 다음과 같이 구하여진다.

$$\text{Coa} = \text{Cob} = \frac{1}{W_0} \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{La}_1 = \frac{W_0 (W_{+a}^2 - W_0^2 - a)}{(W_{+a}^2 - W_0^2) (W_{+1}^2 - W_{+a}^2)} \dots\dots\dots (11)$$

$$\text{La}_2 = \frac{W_0 (W_{+a}^2 - W_{-a}^2 - a)}{(W_0^2 - W_{-a}^2) (W_{+1}^2 - W_{-a}^2)} \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{Lb}_1 = \frac{W_0 (W_0^2 - W_{-1}^2)}{(W_0^2 - W_{-a}^2) (W_{+a}^2 - W_0^2)} \dots\dots\dots (13)$$

$$L_{b2} = \frac{\omega_0(\omega_0^2 - \omega_{-1}^2)}{(\omega_{-a}^2 - \omega_{-1}^2)(\omega_{-a}^2 - \omega_a^2)} \quad \text{---} \quad (14)$$

$$C_{a1} = \frac{1}{\omega_{+a}^2 L_{a1}} \quad \text{---} \quad (15)$$

$$C_{a2} = \frac{1}{\omega_{-a}^2 L_{a2}} \quad \text{---} \quad (16)$$

$$C_{b1} = \frac{1}{\omega_0^2 L_{b1}} \quad \text{---} \quad (17)$$

$$C_{b2} = \frac{1}{\omega_{-1}^2 L_{b2}} \quad \text{---} \quad (18)$$

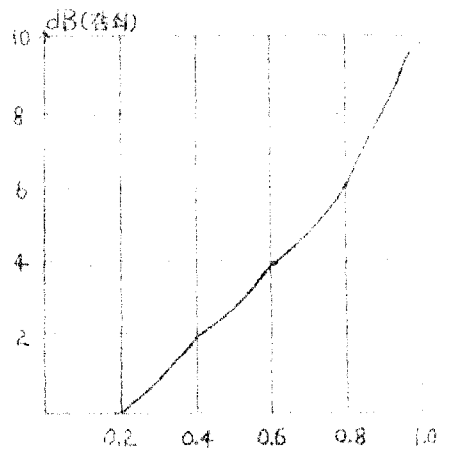
회로	전극 임피던스	회로 임피던스	성분
		$Z = H \frac{(\omega_2^2 - \omega_1^2)}{j\omega(\omega^2 - \omega_0^2)}$	$L_1 = H \frac{1}{\omega_2^2 - \omega_1^2}$ $C_1 = \frac{1}{H} \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{\omega_1^2 \omega_2^2}$ $C_2 = \frac{1}{H}$
		$Z = H \frac{(\omega_2^2 - \omega_1^2)(\omega_1^2 - \omega_3^2)}{j\omega(\omega^2 + \omega_1^2)(\omega_2^2 - \omega_3^2)}$	$L_1 = H \frac{\omega_1^2 \omega_2^2}{(\omega_2^2 - \omega_1^2)(\omega_1^2 - \omega_3^2)}$ $C_1 = \frac{1}{\omega_1^2 L_1}$ $L_2 = H \frac{\omega_2^2 \omega_3^2}{(\omega_2^2 - \omega_1^2)(\omega_1^2 - \omega_3^2)}$ $C_2 = \frac{1}{\omega_2^2 L_2}$ $C_3 = \frac{1}{H}$
		$Z = H \frac{(\omega_2^2 - \omega_1^2)(\omega^2 - \omega_3^2)}{j\omega(\omega^2 - \omega_0^2)}$	$L_1 = H \frac{\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2}{(\omega_2^2 - \omega_1^2)(\omega_1^2 - \omega_3^2)}$ $C_1 = \frac{\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2}{L_1(\omega_1^2 \omega_2^2)}$ $L_2 = H \frac{C_1 + \omega_3^2}{H(\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2)}$
		$Z = H \frac{(\omega^2 - \omega_1^2)(\omega^2 - \omega_3^2)}{j\omega(\omega^2 - \omega_0^2)(\omega^2 - \omega_4^2)}$	$C_1 = \frac{1}{H(\omega_1^2 + \omega_3^2 - \omega_4^2) + (\omega_1^2 - \omega_3^2)}$ $L_1 = H$ $L_2 = \frac{\omega_1^2 - \omega_3^2}{C_1(\omega_1^2 + \omega_3^2 - \omega_4^2) + (\omega_1^2 - \omega_3^2)}$ $C_3 = \frac{1}{\omega_3^2 L_2}$ $L_3 = \frac{\omega_4^2 - \omega_1^2}{C_3(\omega_1^2 + \omega_3^2 - \omega_4^2) + (\omega_1^2 - \omega_3^2)}$ $\frac{\omega_1^2 \omega_3^2 + \omega_4^2 \omega_1^2}{\omega_1^2 + \omega_3^2 - \omega_4^2} = \omega_4^2 - \omega_1^2$ $\frac{\omega_1^2 \omega_3^2 + \omega_4^2 \omega_3^2}{\omega_1^2 + \omega_3^2 - \omega_4^2} = \omega_4^2 - \omega_3^2$
		$Z = H \frac{\omega_1 \omega_2^2 - \omega_3^2}{j\omega(\omega^2 - \omega_0^2)}$	$L_1 = H \frac{\omega_1^2}{(\omega_2^2 - \omega_1^2)(\omega_2^2 - \omega_3^2)}$ $C_1 = \frac{1}{\omega_1^2 L_1}$ $L_2 = H \frac{\omega_2^2}{\omega_1 \omega_2^2}$ $C_2 = \frac{1}{H}$

[ 표 1 ] 2 단자 Impedance 소자치 구하는 공식

n 단 종속접속할 경우 통과대역내의 동작전송량의 일반식은

$$b(n) = \frac{1}{2} \log_e \left[ 1 + \frac{\Omega^2}{1 - \Omega^2} \sin^2 \left\{ 2n \tan^{-1} \frac{\Omega^2 - \Omega_a^2}{\Omega \sqrt{\Omega^2 - 1}} \right\} \right] \text{ NeP} \dots \textcircled{19}$$

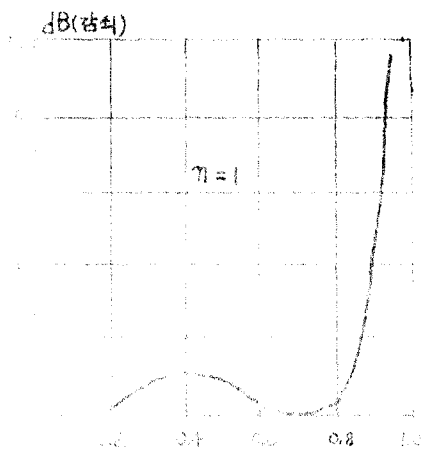
로된다



[ 그림 10 ] 통과대역내 포락특성

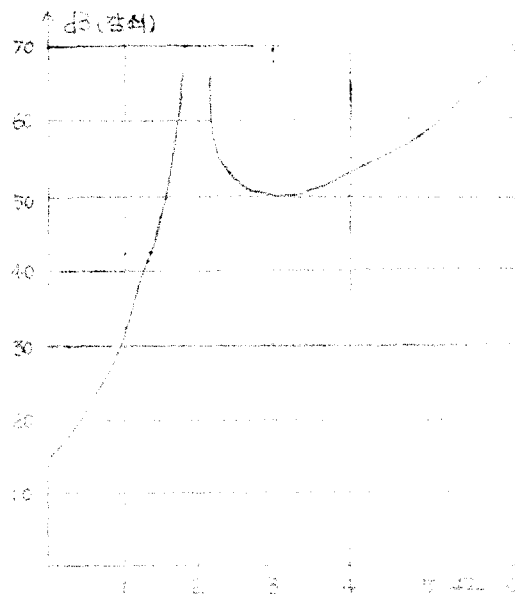
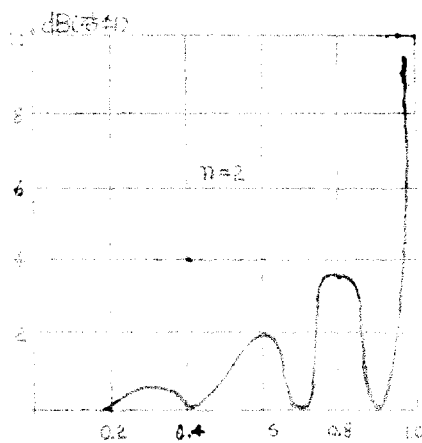
또 포락특성은 [ 그림 10 ] 과 같다.

$\Omega_\infty = 2$  일때의 통과대역내의 동작전송 특성은 [ 그림 11 ] 에 표시한다.



[ 그림 11 ] 통과대역 내의

동작전송특성



[ 그림 11 ]

[ 그림 12 ]

(dB)	$\tanh^2 \frac{\theta}{2}$	$\coth^2 \frac{\theta}{2}$	(dB)	$\tanh^2 \frac{\theta}{2}$	$\coth^2 \frac{\theta}{2}$
1	0.003311	302.0369	24.5	0.787638	1.26962
1.5	0.007412	134.9254	25	0.798342	1.25259
2.	0.013110	76.2761	26	0.813011	1.22204
2.5	0.020452	48.8952	27	0.836200	1.19588
3	0.029340	34.0828	28	0.852778	1.17263
3.5	0.039339	25.5202	29	0.867543	1.15267
4	0.051089	19.5734	30	0.881157	1.13487
4.5	0.064191	15.5784	31	0.893365	1.11936
5	0.078562	12.7287	32	0.904381	1.10577
5.5	0.094120	10.6247	33	0.914318	1.19371
6	0.110177	9.07623	34	0.923251	1.08312
6.5	0.127792	7.82478	35	0.931282	1.07378
7	0.146313	6.83461	36	0.938534	1.06549
7.5	0.165640	6.03716	37	0.945036	1.05815
8.	0.185674	5.38575	38	0.950859	1.05167
8.5	0.205589	4.86406	39	0.956112	1.04590
9	0.226718	4.41074	40	0.960792	1.04080
9.5	0.248273	4.02782	41	0.964972	1.03622
10	0.270140	3.70177	42	0.968728	1.03228
10.5	0.291481	3.43075	43	0.972077	1.03872
11	0.313723	3.18752	44	0.975057	1.02558
11.5	0.336040	2.97583	45	0.977745	1.02276
12	0.358345	2.79059	46	0.980159	1.02024
12.5	0.380577	2.62758	47	0.982284	1.01802

( dB )	$\tanh^2 \frac{\theta}{2}$	$\coth^2 \frac{\theta}{2}$	( dB )	$\tanh^2 \frac{\theta}{2}$	$\coth^2 \frac{\theta}{2}$
13	0.401892	2.48822	48	0.984202	1.01015
13.5	0.423775	2.35974	49	0.985373	1.01454
14	0.445396	2.24519	50	0.987419	1.01274
14.5	0.466939	2.14161	51	0.988776	1.01135
15	0.486924	2.05370	52	0.990005	1.01009
15.5	0.507485	1.97050	53	0.991060	1.00902
16	0.527613	1.39532	54	0.998016	1.00854
16.5	0.547274	1.32724	55	0.992892	1.0015
17	0.566451	1.76537	56	0.992809	1.0022
17.5	0.584490	1.71089	57	0.994848	1.00588
18	0.602641	1.65935	58	0.994946	1.00507
18.5	0.620266	1.61221	59	0.995505	1.0041
19	0.637330	1.56904	60	0.996604	1.0001
19.5	0.653284	1.53073	65	0.997741	1.00226
20	0.669271	1.49416	70	0.998740	1.0026
20.5	0.684673	1.46055	75	0.999300	1.00070
21	0.699531	1.42952	80	0.999600	1.00040
21.5	0.713822	1.40091	85	0.999780	1.00022
22	0.727114	1.37529	90	0.999880	1.00012
22.5	0.740339	1.35073	95	0.999920	1.00008
23	0.753042	1.32794	100	0.999960	1.00004
23.5	0.765205	1.30684			
24	0.776865	1.28722			

[ 표 2 ] 영상감쇠량의 계산표



영상 감쇠량  $\alpha$  은 다음과 같이 된다.

$$\alpha = 2 \tanh^{-1} \frac{\Omega^2 - \Omega_a^2}{\Omega \sqrt{\Omega^2 - 1}} \quad \text{----- ②①}$$

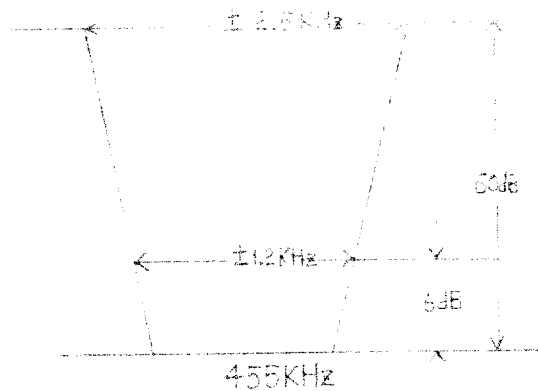
[ 그림 12 ] 는  $\Omega_\infty = 2$  ,  $n = 1$  일때의 감쇠역의 동작감쇠량을 표시한 것이다.

## 6. S.S.B. 통신용 455 KHz 수정여파기의 시작품설계

중심 주파수 :  $f_0 = 455 \text{ KHz}$

차단 주파수 :  $f_{\pm 1} = 455 \text{ KHz} + 1.2 \text{ KHz}$

감쇠극 주파수 :  $f_{\pm \infty} = 455 \text{ KHz} + 2.5 \text{ KHz}$



[ 그림 13 ]

[ 그림 13 ] 과 같은 규격을 만족하는 설계를 행한다. [ 그림 9 ] 의 회로형식을 사용하여 다음의 설계기준을 정한다.

$$\Omega_{+a} = \frac{2\omega^2 - \omega_{+a}^2}{\omega_{+a}^2 - \omega_{-a}^2} = 2.092$$

$$(\omega = 457.5 \text{ KHz})$$

$$\Omega_{-} = \frac{2\omega^2 - \omega_{+1}^2}{\omega_{+1}^2 - \omega_{-1}^2} = 1.621$$

$$(\omega = 452.5 \text{ KHz})$$

$$\Omega_{+a}^2 = \Omega_{\infty}^2 - \Omega_{\infty} \sqrt{\Omega_{\infty}^2 - 1} < 1 = 0.729$$

$$\Omega_{-a}^2 = \Omega_{\infty}^2 - \Omega_{\infty} \sqrt{\Omega_{\infty}^2 - 1} = 2.167$$

가 구하여진다.

주파수 변환식으로 부터  $\omega^2 = \omega_0^2 + \gamma^2 \Omega$

에서  $f_a^2 = f_0^2 + \gamma^2 \Omega$  에 각치를 대입하면  $f_a = 455.874 \text{ KHz}$ ,

$$f_b = 454.123 \text{ KHz}$$

[표 1]의 관계식을 이용해서  $R = 1 \Omega$ 에 대한 각소자 정수치를

구하면 식 10 ~ 14로 부터

$$C_{oa} = C_{ob} = \frac{1}{\omega_0} = 0.3646 \times 10^{-6}$$

$$L_{a1} = 0.4875 \times 10^{-3}$$

$$L_{a2} = 0.7655 \times 10^{-4}$$

$$L_{b1} = 1.2447 \times 10^{-4}$$

$$L_{b2} = 1.4230 \times 10^{-4}$$

여기서  $R = 20 \text{ K}\Omega$  으로하여 위의 소자치는 다음과 같이 된다.

$$C_{0a} = C_{0b} = 18.23 \text{ PF}$$

$$L_{a1} = 9.750 \text{ H}$$

$$L_{a2} = 1.531 \text{ H}$$

$$L_{b1} = 2.489 \text{ H}$$

$$L_{b2} = 2.846 \text{ H}$$

수정공진자의 주파수는 구성회로의 Reactance 회로의 주파수 배열에 따라

$$Q_{a1} : f_{a1} = 455.874 \text{ Hz}$$

$$Q_{a2} : f_{a2} = 454.123 \text{ Hz}$$

$$Q_{b1} : f_{b1} = 455.000 \text{ Hz}$$

$$Q_{b2} : f_{b2} = 453.800 \text{ Hz 이다.}$$

수정공진자의 전극간 용량  $C_{a1q}, C_{a2q}, C_{b1q}, C_{b2q}$  의 용량비  $\gamma = 130$  으로 하면

$$C_{a1q} = \frac{\gamma}{\omega_{+a}^2 L_{a1}} = 1.62 \text{ PF}$$

$$C_{a2q} = \frac{\gamma}{\omega_{-a}^2 L_{a2}} = 10.43 \text{ PF}$$

$$C_{b1q} = \frac{\gamma}{\omega_0^2 L_{b1}} = 6.39 \text{ PF}$$

$$C_{b2q} = \frac{\gamma}{\omega_{-1}^2 L_{b2}} = 5.17 \text{ PF}$$

따라서 외부로부터 수정공진자에 병렬로삽입하는 용량  $C_{aL}, C_{bL}$ 은 각각 다음과 같다.

$$C_{aL} = 6.18 \text{ PF}$$

$$C_{bL} = 6.68 \text{ PF}$$

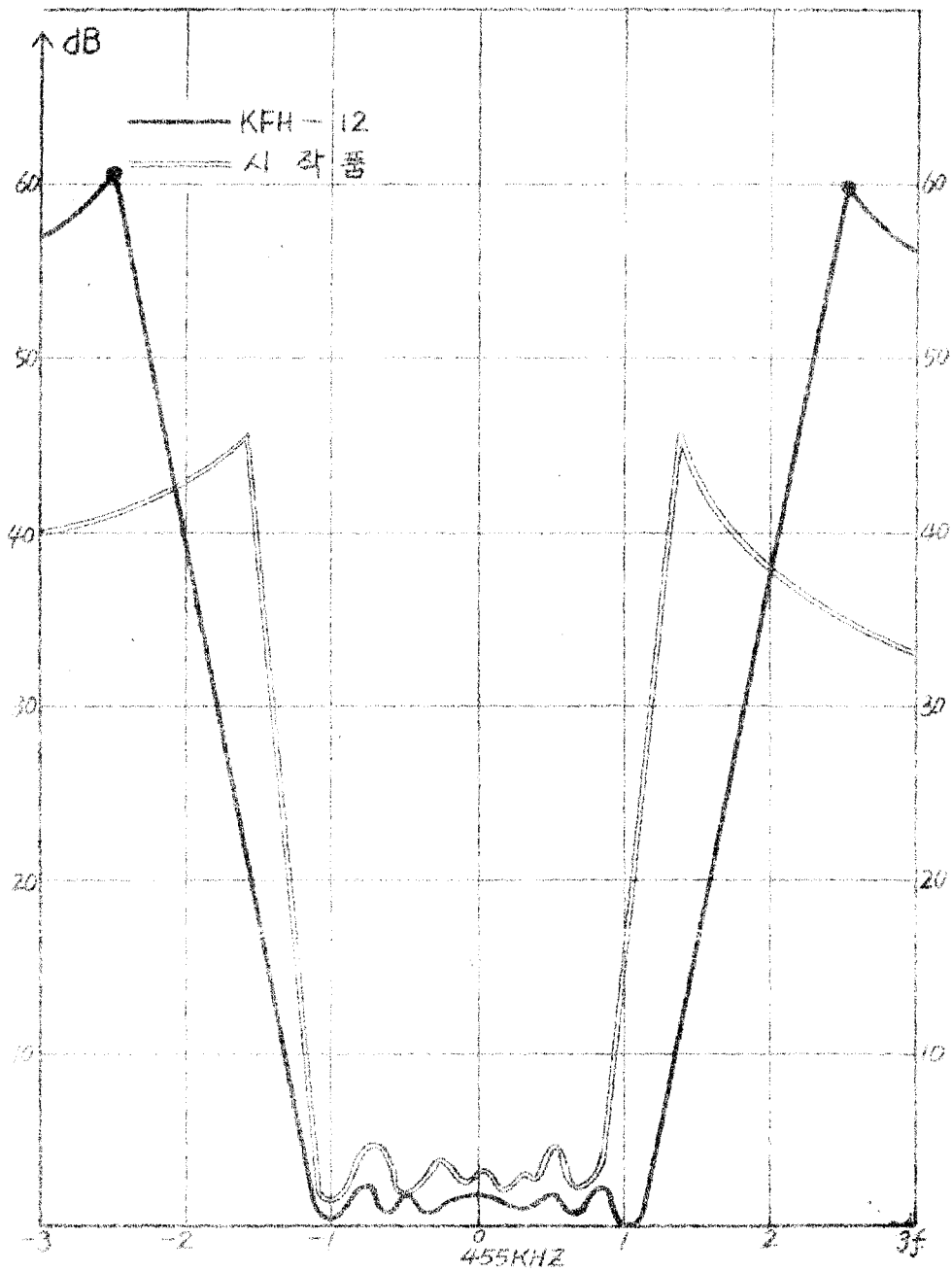
아래의 표는 위의 설계에 의하여 제작한 시작품의 특성과 일본 제품 KFH-12 와의 특성을 비교한 것이다.

주 파 수	KFH - 12 감 쇠 량	시작품 1 호 감 쇠 량	주 파 수	KFH - 12 감 쇠 량	시작품 1 호 감 쇠 량
450.000Hz	55.3 dB	40.5 dB	455.020Hz	7.3 dB	6.8 dB
" 200 "	54.9 "	40.5 "	" 040 "	7.3 "	6.3 "
" 400 "	54.4 "	40.6 "	" 060 "	7.2 "	5.0 "
" 600 "	53.9 "	40.6 "	" 080 "	7.2 "	4.9 "
" 800 "	53.4 "	40.7 "	" 100 "	7.1 "	5.1 "
451.000 "	52.8 "	40.8 "	" 120 "	7.1 "	5.3 "
" 200 "	52.2 "	40.8 "	" 140 "	7.0 "	5.6 "
" 400 "	51.6 "	40.9 "	" 160 "	7.0 "	5.9 "
" 600 "	51.2 "	41.0 "	" 180 "	6.9 "	6.1 "
" 800 "	50.2 "	41.2 "	" 200 "	6.8 "	6.2 "
452.000 "	50.7 "	41.3 "	" 220 "	6.7 "	6.4 "
" 200 "	51.2 "	41.4 "	" 240 "	6.7 "	6.7 "
" 400 "	51.8 "	41.5 "	" 260 "	6.6 "	7.0 "
" 600 "	52.3 "	41.7 "	" 280 "	6.5 "	7.3 "

주 파 수	KFH-12 감 쇠 량	시작품 1 호 감 쇠 량	주 파 수	KFH-12 감 쇠 량	시작품 1 호 감 쇠 량
452.800 Hz	52.9 dB	42.0 dB	455.300Hz	6.4 dB	7.6 dB
453.000 "	53.5 "	42.5 "	" 320 "	6.3 "	7.9 "
" 050 "	54.2 "	43.1 "	" 340 "	6.2 "	8.3 "
" 100 "	54.8 "	43.6 "	" 360 "	6.2 "	8.6 "
" 150 "	55.4 "	44.2 "	" 380 "	6.2 "	9.0 "
" 200 "	56.1 "	44.6 "	" 400 "	6.3 "	9.3 "
" 250 "	56.7 "	45.1 "	" 420 "	6.3 "	9.6 "
" 300 "	57.3 "	45.5 "	" 440 "	6.4 "	9.9 "
" 350 "	57.9 "	46.8 "	" 460 "	6.4 "	10.0 "
" 400 "	58.5 "	46.0 "	" 480 "	6.5 "	10.5 "
" 450 "	59.1 "	45.1 "	" 500 "	6.5 "	11.3 "
" 500 "	60.6 "	44.2 "	" 520 "	6.6 "	12.2 "
" 550 "	61.5 "	34.6 "	" 540 "	6.6 "	13.4 "
" 600 "	46.3 "	26.1 "	" 560 "	6.7 "	14.5 "
" 650 "	31.2 "	15.6 "	" 580 "	6.7 "	15.6 "
" 700 "	16.1 "	7.3 "	" 600 "	6.8 "	17.7 "
" 750 "	6.5 "	4.3 "	" 620 "	6.8 "	18.9 "
" 800 "	7.8 "	5.9 "	" 640 "	6.9 "	20.0 "
" 850 "	8.1 "	7.6 "	" 660 "	7.0 "	21.1 "
" 900 "	9.2 "	8.1 "	" 680 "	7.1 "	22.2 "
" 950 "	8.1 "	4.5 "	" 700 "	7.1 "	23.2 "

주 파 수	KFH - 12 감 쇠 량	시작품 1 호 감 쇠 량	주 파 수	KFH - 12 감 쇠 량	시작품 1 호 감 쇠 량
454.000 Hz	7.4 dB	5.2 dB	455.720 Hz	7.0 dB	24.3 dB
" 020 "	6.8 "	6.3 "	" 740 "	6.9 "	25.5 "
" 040 "	6.9 "	6.8 "	" 760 "	6.9 "	26.7 "
" 060 "	7.1 "	7.3 "	" 780 "	6.8 "	28.0 "
" 080 "	7.3 "	7.5 "	" 800 "	6.7 "	29.1 "
" 100 "	7.4 "	6.8 "	" 820 "	6.6 "	30.1 "
" 120 "	7.6 "	6.3 "	" 840 "	6.5 "	31.1 "
" 140 "	7.8 "	5.1 "	" 860 "	6.4 "	32.2 "
" 160 "	8.9 "	5.5 "	" 880 "	6.3 "	33.2 "
" 180 "	8.1 "	6.1 "	" 900 "	6.2 "	34.1 "
" 200 "	8.3 "	6.7 "	" 920 "	6.1 "	35.1 "
" 220 "	8.5 "	7.1 "	" 940 "	6.0 "	36.1 "
" 240 "	8.7 "	7.6 "	" 960 "	6.2 "	36.9 "
" 260 "	8.8 "	8.3 "	" 980 "	6.3 "	37.9 "
" 280 "	8.8 "	8.7 "	456 000 "	6.5 "	38.8 "
" 300 "	8.7 "	9.1 "	" 050 "	7.0 "	39.8 "
" 320 "	8.5 "	9.4 "	" 100 "	7.6 "	40.7 "
" 340 "	8.3 "	9.6 "	" 150 "	8.0 "	41.2 "
" 360 "	7.1 "	9.7 "	" 200 "	7.1 "	42.4 "
" 380 "	7.9 "	9.8 "	" 250 "	5.9 "	43.3 "
" 400 "	7.7 "	9.9 "	" 300 "	5.1 "	44.0 "
" 420 "	7.5 "	10.0 "	" 350 "	10.3 "	44.5 "
" 440 "	7.4 "	9.8 "	" 400 "	17.2 "	44.9 "
" 460 "	7.2 "	9.6 "	" 450 "	28.6 "	45.3 "
" 480 "	7.1 "	9.0 "	" 500 "	39.4 "	45.6 "
" 500 "	6.9 "	9.2 "	" 550 "	46.6 "	45.9 "
" 520 "	6.7 "	9.4 "	" 600 "	58.2 "	46.0 "

주 파 수	KFH-12 감 쇠 량	시작품 1호 감 쇠 량	주 파 수	KFH-12 감 쇠 량	시작품 1호 감 쇠 량
454.540 Hz	6.6 dB	9.5 dB	456.650 Hz	62.6 dB	46.0 dB
" 560 "	6.5 "	9.7 "	" 700 "	62.0 "	45.2 "
" 580 "	6.6 "	9.9 "	" 750 "	61.6 "	44.4 "
" 600 "	6.6 "	10.0 "	" 800 "	61.1 "	43.6 "
" 620 "	6.7 "	10.0 "	" 850 "	60.7 "	42.8 "
" 640 "	6.7 "	10.5 "	" 900 "	60.3 "	42.0 "
" 660 "	6.7 "	10.7 "	" 950 "	59.7 "	41.2 "
" 680 "	6.8 "	10.9 "	457.000 "	59.2 "	40.4 "
" 700 "	6.8 "	11.0 "	" 200 "	58.8 "	40.0 "
" 720 "	6.9 "	10.9 "	" 400 "	58.4 "	39.1 "
" 740 "	6.9 "	10.7 "	" 600 "	58.1 "	38.2 "
" 760 "	7.0 "	10.5 "	" 800 "	57.7 "	37.6 "
" 780 "	7.0 "	10.4 "	458.000 "	57.3 "	37.0 "
" 800 "	7.0 "	10.2 "	" 200 "	57.0 "	36.3 "
" 820 "	7.1 "	9.9 "	" 400 "	56.6 "	35.6 "
" 840 "	7.1 "	9.7 "	" 600 "	56.1 "	35.1 "
" 860 "	7.1 "	9.5 "	" 800 "	55.6 "	34.8 "
" 880 "	7.2 "	9.2 "	459.000 "	55.5 "	34.5 "
" 900 "	7.2 "	8.9 "	" 200 "	54.9 "	34.2 "
" 920 "	7.2 "	8.5 "	" 400 "	54.6 "	33.9 "
" 940 "	7.3 "	8.1 "	" 600 "	54.4 "	33.6 "
" 960 "	7.3 "	7.8 "	" 800 "	54.2 "	33.2 "
" 980 "	7.3 "	7.5 "	460.000 "	54.1 "	33.0 "
455.000 "	7.3 "	7.1 "			





## 결 과

일본 Kinsekisha Laboratory LTD. 제품인 KFH-12 455KHz Crystal Filter 와 당연구소 시작품과의 특성을 비교하여본 결과 통과대역내의 동작감쇠량 특성은 KFH-12는 60dB 인데 비하여 당연구소 시작품은 46dB 이었고 통과대역내의 대역폭은 KFH-12는 6dB 점에서  $\pm 1.2\text{KHz}$  Ripple 2dB 인데 비하여 당연구소 시작품은 6dB 점에서  $\pm 0.9\text{KHz}$ , Ripple 6dB 이었다.

시작품 설계시 통과대역내의 대역폭이 6dB 점에서  $\pm 1.2\text{KHz}$ , 감쇠량 60dB 수정공진자 용량비 350 으로 설계 하였으나 수정여파기 구성소자인 수정공진자의 용량비가 130 에서 400 으로 증가하여 현저히 대역폭이 감소 되었고 점접촉형 수정공진자의 제작기술상의 난점 및 Matching Transformer 의 부정합 등으로 인하여 동작감쇠량이 감소 되었다 앞으로 수정여파기 회로소자인 수정공진자와 Matching Transformer 가 개선되면 좋은 여파특성을 갖는 수정여파기가 생산될 것이다.

## 7. 외국제품의 특성 조사

Kinsekisha Laboratory LTD 제품인 KFH-12 통신용 수정여파기의 특성 및 회로구성을 보면 다음과 같다.

형 명 Model	통 과 역 특 성 ( Pass Band )			
	중심주파수 Center frequency	대역폭 Bandwidth	Ripple	삽입손실 Insertion Loss
KFH-12	455KHz	6dB $\pm 1.2\text{KHz}$	2dB	6dB

감쇠역특성 Attenuation			Impedance	온도범위 Temperature Range	외형치수 Dimensions mm
감쇠대역폭 Bandwidth	감쇠량 Attenuation	Spurious	入力 出力 input output		(L)(w)(H)
$\pm 1.5\text{KHz}$	20 dB	60 dB	5 K $\Omega$ 5 K $\Omega$	-10~50	80×30×30

감쇠역특성

감쇠대역폭	감쇠량	감쇠대역폭	감쇠량
$\pm 1.2\text{KHz}$	6 dB	$\pm 1.9\text{KHz}$	46 dB
$\pm 1.5\text{KHz}$	20 dB	$\pm 2.1\text{KHz}$	66 dB
$\pm 1.7\text{KHz}$	26 dB		

가. 회로구성

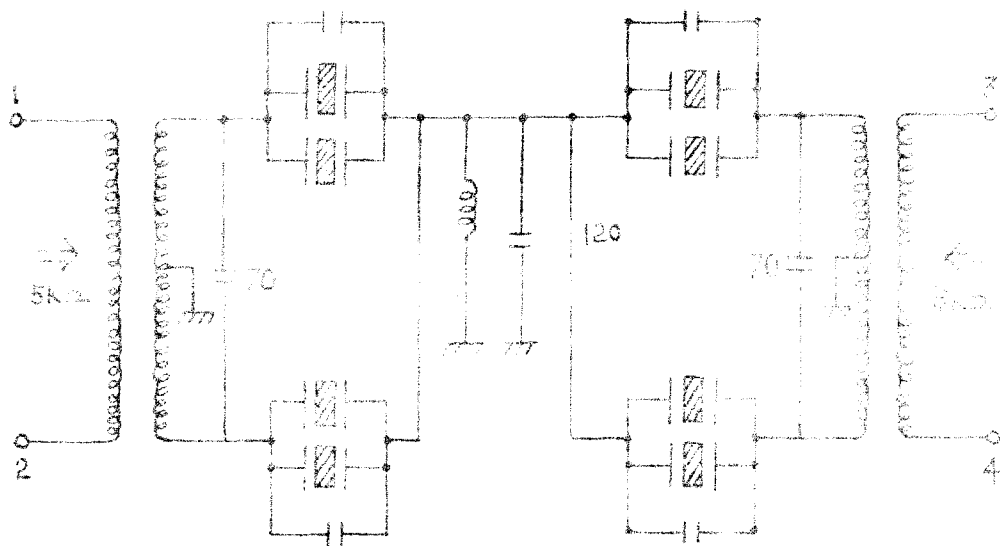
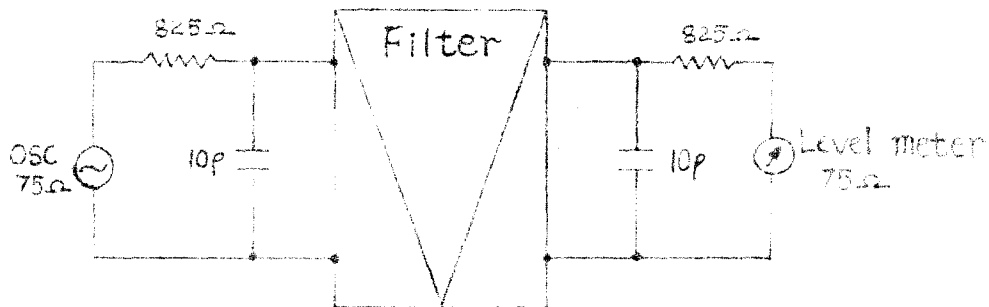


FIG-12 수정여파기 회로도

## 나. 전압 감쇠량 측정

### (1) 측정회로도



### (2) 측정기명

1) 5103 A Frequency Synthesizer

2) 1700 A Oscilloscope

### (3) 측정방법

그림과 같이 접속하고 신호입력전압을 일정하게 1.5V 유지시키고 신호주파수를 450 KHz 부터 460 KHz 까지 변화시켜 여파기의 출력전압을 읽는다.

주 파 수	출력전압	주 파 수	출력전압
450.000 Hz	0.343 V	455.020 Hz	3.7 V
" 200 "	0.360 "	" 040 "	3.7 "
" 400 "	0.380 "	" 060 "	3.8 "
" 600 "	0.398 "	" 080 "	3.85 "
" 800 "	0.415 "	" 100 "	4.0 "

주 파 수	출력전압	주 파 수	출력전압
451.000 Hz	0.428 V	455.120 Hz	4.1 V
" 200 "	0.450 "	" .140 "	4.3 "
" 400 "	0.463 "	" .160 "	4.5 "
" 600 "	0.468 "	" .180 "	4.6 "
" 800 "	0.469 "	" .200 "	5.05 "
452.000 "	0.465 "	" .220 "	5.4 "
" 200 "	0.455 "	" .240 "	5.8 "
" 400 "	0.428 "	" .260 "	6.15 "
" 600 "	0.390 "	" .280 "	6.45 "
" 800 "	0.350 "	" .300 "	6.75 "
453.000 "	0.300 "	" .320 "	6.8 "
" 050 "	0.233 "	" .340 "	6.8 "
" 100 "	0.270 "	" .360 "	6.8 "
" 150 "	0.258 "	" .380 "	6.5 "
" 200 "	0.241 "	" .400 "	6.35 "
" 250 "	0.225 "	" .420 "	6.0 "
" 300 "	0.208 "	" .440 "	5.7 "
" 350 "	0.182 "	" .460 "	5.4 "
" 400 "	0.159 "	" .480 "	5.1 "
" 450 "	0.120 "	" .500 "	4.8 "
" 500 "	0.068 "	" .520 "	4.6 "
" 550 "	0.019 "	" .540 "	4.45 "
" 600 "	0.170 "	" .560 "	4.25 "
" 650 "	0.478 "	" .580 "	4.15 "
" 700 "	1.33 "	" .600 "	4.0 "
" 750 "	6.5 "	" .620 "	3.95 "
" 800 "	5.7 "	" .640 "	3.8 "

주 파 수	출력전압	주 파 수	출력전압
453.850 Hz	4.0 V	455.660 Hz	3.8 V
" 900 "	4.2 "	" 680 "	3.8 "
" 950 "	5.7 "	" 700 "	3.8 "
455.000 "	8.0 "	" 720 "	3.8 "
" 020 "	8.05 "	" 740 "	3.96 "
" 040 "	7.5 "	" 760 "	4.1 "
" 060 "	6.8 "	" 780 "	4.3 "
" 080 "	6.1 "	" 800 "	4.6 "
" 100 "	5.55 "	" 820 "	4.9 "
" 120 "	5.0 "	" 840 "	5.4 "
" 140 "	4.7 "	" 860 "	6.0 "
" 160 "	4.4 "	" 880 "	6.75 "
" 180 "	4.2 "	" 900 "	7.55 "
" 200 "	4.0 "	" 920 "	8.2 "
" 220 "	3.9 "	" 940 "	8.4 "
" 240 "	3.85 "	" 960 "	8.2 "
" 260 "	3.8 "	" 980 "	7.6 "
" 280 "	3.8 "	" 000 "	6.95 "
" 300 "	3.8 "	" 050 "	5.25 "
" 320 "	3.9 "	" 100 "	4.2 "
" 340 "	4.0 "	" 150 "	3.8 "
" 360 "	4.2 "	" 200 "	4.25 "
" 380 "	4.4 "	" 250 "	9.15 "
" 400 "	4.65 "	" 300 "	3.9 "
" 420 "	5.0 "	" 350 "	1.25 "
" 440 "	5.4 "	" 400 "	0.63 "
" 460 "	5.85 "	" 450 "	0.4 "

주 파 수	출력 전압	주 파 수	출력 전압
454.480 Hz	6.4 V	456.500 Hz	0.3 V
" 500 "	7.0 "	" 550 "	0.255 "
" 520 "	7.5 "	" 600 "	0.237 "
" 540 "	7.9 "	" 650 "	0.237 "
" 560 "	8.0 "	" 700 "	0.237 "
" 580 "	8.0 "	" 750 "	0.243 "
" 600 "	7.7 "	" 800 "	0.257 "
" 620 "	7.3 "	" 850 "	0.270 "
" 640 "	6.9 "	" 900 "	0.283 "
" 660 "	6.5 "	" 950 "	0.30 "
" 680 "	6.15 "	457.000 "	0.312 "
" 700 "	5.8 "	" 200 "	0.37 "
" 720 "	5.5 "	" 400 "	0.42 "
" 740 "	5.15 "	" 600 "	0.455 "
" 760 "	4.95 "	" 800 "	0.48 "
" 780 "	4.7 "	458.000 "	0.48 "
" 800 "	4.5 "	" 200 "	0.478 "
" 820 "	4.3 "	" 400 "	0.456 "
" 840 "	4.2 "	" 600 "	0.438 "
" 860 "	4.05 "	" 800 "	0.415 "
" 880 "	3.95 "	459.000 "	0.397 "
" 900 "	3.85 "	" 200 "	0.375 "
" 920 "	3.8 "	" 400 "	0.35 "
" 940 "	3.75 "	" 800 "	0.34 "
" 960 "	3.7 "	" 000 "	0.32 "
" 980 "	3.7 "	460.00 "	0.31 "
455.000 "	3.7 "		

## 8. 수정여파기의 측정 및 조정

### 가. 동작감쇠량 측정

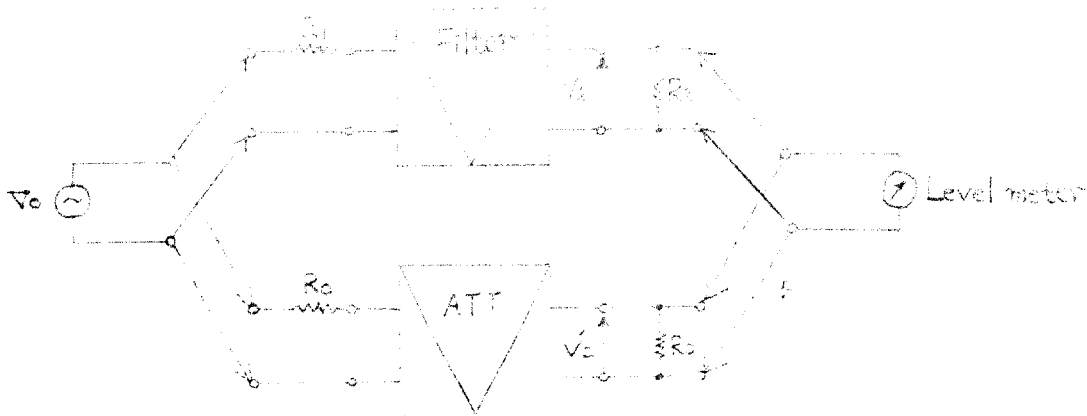


그림 동작감쇠량 측정 회로

4 단자망 수정여파기의 동작감쇠량의 가장 일반적인 측정은 저항 감쇠기의 감쇠량의 비교에 의해 행하여진다. 그림과 같이 수정여파기에 전원저항  $R_1$ , 부하저항  $R_2$ 를 접속하여 특성 Impedance  $R_0$ 를 가변저항감쇠기 (ATT)에 같은 방법으로 병렬로 접속해서 출력측의 전압  $V_2$ ,  $V'_2$ 를 비교한다.

수정여파기 쪽은

$$P_0 = \frac{|V_0|^2}{4R_1}, \quad P_2 = \frac{|V_2|^2}{R_2}$$

이것으로 부터

$$A = 10 \log \frac{R_2}{R_1} + 10 \log_{10} \left| \frac{V_0}{2V_2} \right|^2$$

한편 저항감쇠기 쪽은 완전정합 되어 있으니까

$$A' = 10 \log_{10} \left| \frac{V_0}{2V_2} \right|^2$$

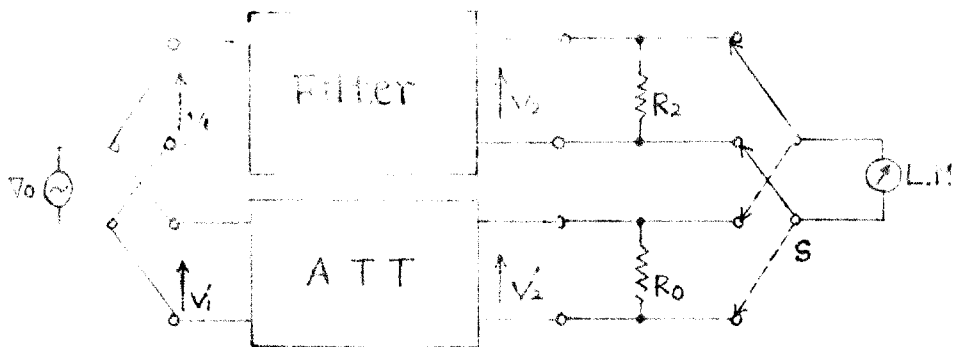
여기에서 가변 저항 감쇠기의 감쇠량을 조절하고 Switch S를 수정  
여파기측에서 저항감쇠기 측으로 전환하였을때 Level 측정기의 지  
시가 같게되게 하면

$$|V_2| = |V'_2| \quad \text{되기 때문에}$$

$$A = 10 \log_{10} \frac{R_2}{R_1} + A' \quad \text{이다.}$$

$A'$  는 저항감쇠기의 감쇠량이고 dB로 표시되어 있으므로 수정여파  
기의 동작감쇠량은 저항감쇠기의 눈금에  $10 \log_{10} \frac{R_1}{R_2}$  (dB)만 더하  
면 구해진다.

11. 전압감쇠량 측정





수정여파기의 전압감쇠량은 위의 그림과 같이 입력단의 전압  $V_1$ 과 출력단의 전압  $V_2$ 의 비로서 정의한다.

$$A \text{ (dB)} = 20 \log_{10} \left| \frac{V_1}{V_2} \right|$$

이와 같이 정의된 전압감쇠량 측정의 일반적인 방법은 저항감쇠기와 비교이다. 그림과 같이 수정여파기 출력을 부하저항  $R_2$ 로 종단하고 특성 Impedance  $R_0$ 를 저항감쇠기 출력에 종단해서 입력측을 병렬로 접속해서 출력측의 전압  $V_2, V'_2$ 를 비교한다.

$V_0 = V_1 = V'_1$  이니까 수정여파기 쪽은

$$A = 20 \log \left| \frac{V_0}{V_2} \right|$$

한편 저항감쇠기쪽은

$$A = 20 \log \left| \frac{V_0}{V'_2} \right|$$

여기에서 가변저항감쇠기의 감쇠량을 조절하고 Switch를 전환하여 Level 측정기의 지시가 같게 되게하면  $|V_1| = |V'_2|$ 로 되니까  $A = A'$ 이다.

수정여파기의 전압감쇠량을 가변감쇠기의 눈금으로 부터 직접 구할수 있다.

다. 전류 감쇠량 측정

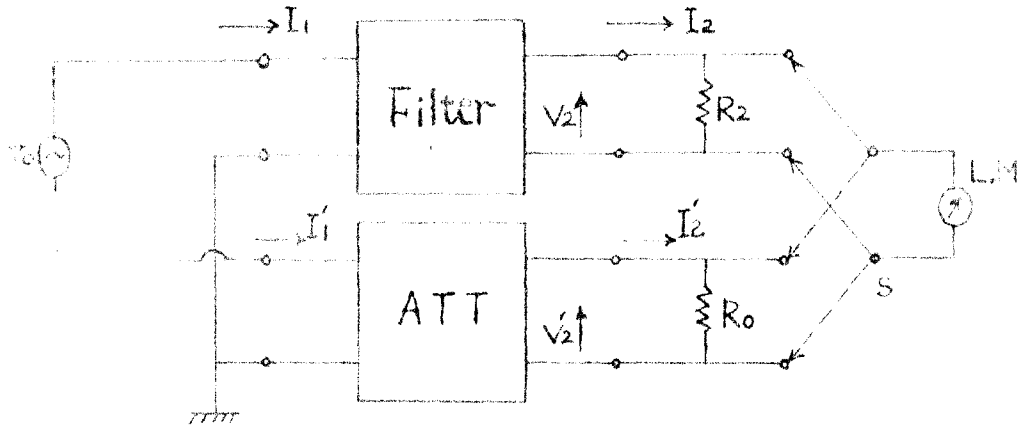


그림 전류 감쇠량 측정 회로

수정여파기의 전류 감쇠량 측정은 위의 그림과 같이 입력단의 전류  $I_1$  과 출력단의 전류  $I_2$  의 비로서 정의된다.

$$\text{즉, } A(\text{dB}) = 20 \log_{10} \left| \frac{I_1}{I_2} \right|$$

이와같이 정의된 전류감쇠량의 일반적인 측정의 방법은 저항감쇠기와 비교로 행한다.

그림과 같이 수정여파기와 가변저항감쇠기의 입력단을 직렬로 접속한다. 그러하면은  $I_1 = I_1'$  로 된다.

수정여파기 쪽은

$$A = 20 \log_{10} \left| \frac{I_1}{I_2} \right| + 20 \log_{10} R_2$$

저항감쇠기 쪽은

$$A = 20 \log_{10} \frac{I_2}{V_2} + 20 \log_{10} R_0$$

여기에서 가변저항감쇠기의 감쇠량을 조절하여 Switch S를 전환했을 때 Level Meter의 지시가 같게 되게끔 하면은  $|V_2| = |V'_2|$ 가 된다.

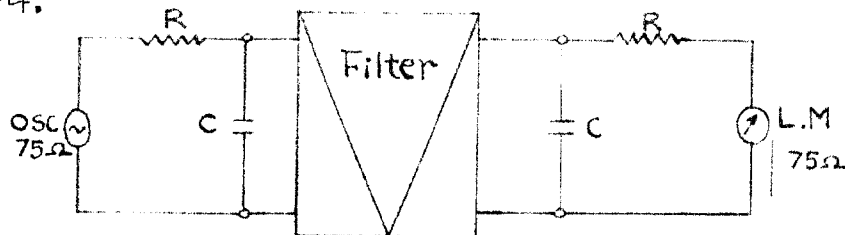
$$A = A' + 20 \log_{10} \frac{R_2}{R_0}$$

로 된다.  $A'$ 은 저항감쇠기의 눈금을 직접 읽을 수 있으므로 위의 식에 의해  $A$ 를 구할 수 있다.

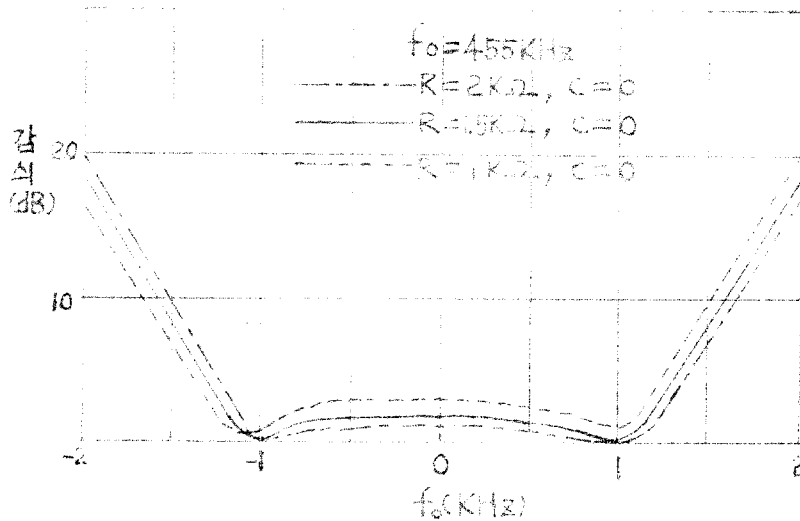
라. 측정상의 문제점 및 조정

협대역형에서는 통과대역내의 주파수에 대하여서는 Impedance가 급격히 변화하고 동작감쇠량 측정과 같은 회로형식 및 전압감쇠량 측정과 같은 경우 종단저항을 변화 시킴에 따라 중심주파수가 변화한다.

특히 고주파용으로는 수정공진자의 Impedance가 낮으므로 측정회로의 표유용량등의 Reactance분에 의하여 통과대역내의 특성에서는 대단한 영향을 준다.

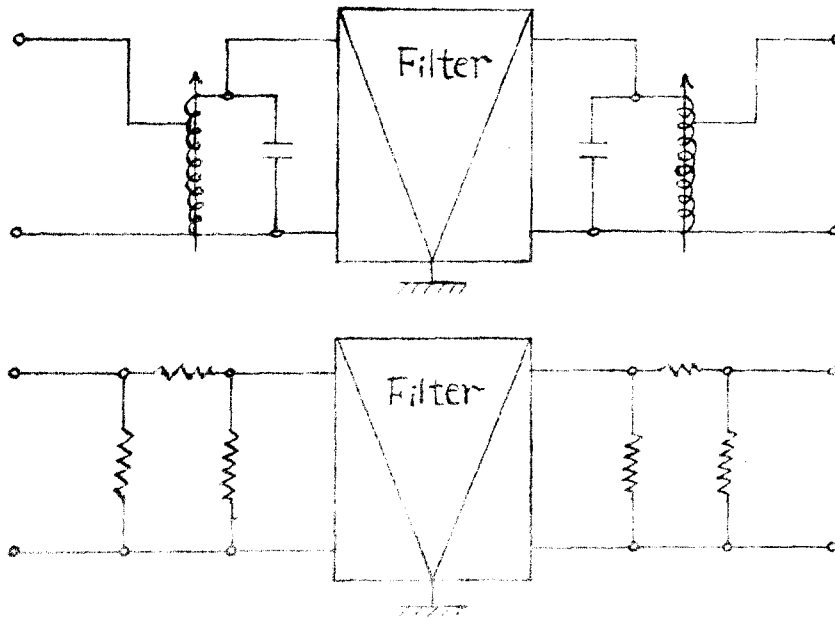
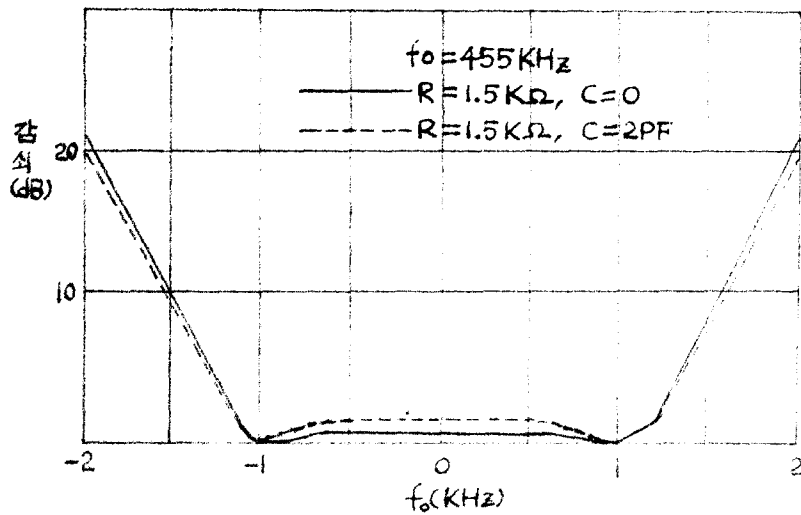


수정여파기를 위의 그림과 같이 접속하고 종단 Impedance  $R \cdot C$ 를 변화시켜보면 아래와 같은 특성이 된다.

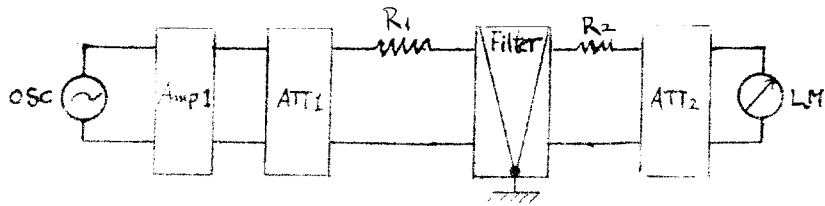


위의 그림에서 종단저항은 기정치 ( $R = 1.5 \text{ K}\Omega$ ) 보다 적게하면 중심주파수가 낮은 방향으로 이동하는 특성이 되며 상한 차단주파수 부근의 Impedance 부정합이 생겨 감쇠량이 증가한다. 반대로 기정치보다 크게하면 중심 주파수가 높은곳으로 이동하는 특성이 되고 하한 차단주파수 부근의 감쇠량이 증가한다.

또 측정 회로에서 용량  $C = 0$ ,  $C = 2 \text{ PF}$ 의 경우의 특성을 아래에 표시한다. 따라서 실제의 사용회로도에는 수정여파기 전후에 Impedance Matching과 표유용량 보상에 의한 조정 가능한 동조회로를 삽입하여 아래와 같은 회로를 사용한다.



혹은 동조회로를 여파기 속에 내장하고 그의 Impedance를 처음  
 부터 Inductive로 하여서 외부용량에 따라 조정하는 방법도 있다  
 또 Transistor 회로에서는 Impedance 변동이 심하므로 이 경우에는  
 저항감쇠기를 사용하고 그의 영향을 감소 시키지 않으면 안된다.



주파수가 높고 Input, Output Impedance 가 높은 경우 혹은 감쇠역 감쇠량이 높은 경우는 동작감쇠량 측정회로 또는 전압감쇠량 측정회로에서는 전환기 혹은 증폭기의 입력 Impedance 의 점부터는 측정이 곤란하다.

이러한 경우는 아래와 같은 회로를 사용한다.

다음은 수정여파기의 조정에 대하여 기술한다. 원칙적으로는 협대역, 광대역 등의 회로형식을 구분하고 구성회로의 각 회로완의 주파수대 Reactance 특성을 설계기준하여 조정하면 된다.

기본적인 Lattice 회로의 것은 직렬공진점을 수정의 직렬공진주파수에서 정하여지므로 반공진점의 조정만이 행하여진다. 즉 용량  $C_{aL}$ ,  $C_{bL}$  을 변화시킴에 따라 상측 차단주파수 및 중심주파수에 의한 반공진점의 조정을 행한다. 이것을 수식적으로 표현하자는

$$[Z_0] \omega = \omega_0 = \frac{1}{\omega_0 \sqrt{C_{oa} \cdot C_{ob}}}$$

로 된다.

동파대역폭  $\Delta f = f_{+1} - f_{-1}$  로 하면 회로 Impedance R 은

$$R = \frac{\omega_1^2 - \omega_0^2 L_a}{\omega_0} \div 2\pi \Delta f L_a$$

이고  $\Delta f$  를 변화시켜서 Impedance 조정을 행하는 것을 알수있다.

또 직렬와 격자완의 부하용량  $C_{oa}$ ,  $C_{ob}$  와의 관계는

$$\frac{C_{ob}}{C_{oa}} = \frac{1}{m_1^2} = \frac{\Omega^2 - 1}{\Omega^2 \infty}$$

$$C_{ob} > C_{oa}$$

$$\frac{\Delta C}{C_{ob}} = \frac{C_{ob} - C_{oa}}{C_{ob}} = \frac{1}{\Omega_{oa}^2}$$

이 고 감쇠극은 2 단자 Impedance  $Z_a, Z_b$  의 병렬용량  $C_{oa}, C_{ob}$  의 차  $\Delta C$  에 의하여 조정할 수 있다.

그러나  $\Omega = 2$  에서  $\Delta C / C_{ob} = 25\%$ ,  $\Omega = 5$  에서  $\Delta C / C_{ob} = 4\%$   $\Omega = 10$  에서  $\Delta C / C_{ob} = 1\%$ 로 되므로 감쇠극이 통과 대역 부터 멀리 있으면 있을수록  $\Delta C$ 의치는 엄밀성을 요구하게 된다.

즉 감쇠역 감쇠량이 높으면 높을수록 조그만 불평형에 있어서도 큰 감쇠량의 저하를 가져온다.

## 결 론

S.S.B 통신용 455 KHz 수정여파기 1 개를 시작용으로 설계하여 제작하여본 결과 제작상 및 측정상의 많은 문제점이 있었다.

즉 전자의 제작상의 문제로는 통과대역 내의 대역폭은 용량비 ( $\gamma$ ) 에 반비례하므로 가능한 한 용량비가 적은것을 사용하는 것이 유리한데 비하여 용량비는 거의 수정편의 절단방위에 의하여 결정된다.

그런데 수정공진자의 주파수대범위 (수정여파기 용으로 실용가능 범위) 는 수정편 절단 방위에 의하여 결정되므로 중파대용 수정공진자를 제작하기 위하여서는 결과적으로 CT - Cut 수정편을 사용해야만 한다는 결론을 얻었다. 여기서 CT - Cut 수정편은 윤곽골 진동 (Face Shear Mode) 을 하므로 전극을 선지지형으로 사용하여야 한다.

여기서 선지지형 수정공진자 제작공정에서 수정편의 절점(Node) 즉 기하학적 중심점에 Silver Paste를 소부(燒付)하는 공정에서 외국의 생산공정보다 수정편의 면적에 대한 은점부착면적(銀点附着面積)이 거저 등가저항이 많이 증대되었고 수정편의 가열시 수정편은 전기적으로 양호한 절연체임과 동시에 양호한 열절연체 즉 열전도율이 낮으므로 온도의 급변 또는 부분적 가열이 행하여 졌을때 수정 내부의 급격한 온도차를 발생하여 부분적 팽창으로 파손되는 경우가 많았고 주파수 조정면에서도 수정발진주파수는 수정편의 면적에만 반비례하므로 주파수 조정에 많은 주의와 기술이 필요하나 수정공진자 외부로 부터의 충격, 진동, 습기, 기압의 변동 및 수정편 진동에 방해를 주는 원인등에 의하여 많은 특성의 변동을 주었다.

위와 같은 이유로 수정공진자의 주파수 편차를 0.01% (약 40Hz)로 하여 제작하여본 결과 통과대역 내의 대역폭과 감쇠량의 많은 저하를 가져왔고 또 회로의 접지상태 배치도 등의 불충분으로 인하여 표유용량이 증가하여 통과 대역내의 대칭성, 대역폭 및 감쇠량에 큰 변동을 주었다.

다음 측정상의 문제로는 측정에 관한 충분한 자료가 수집되지 않았고 측정에 필요한 측정기가 불충분하여 동작위상량 측정, 동조 및 동조손실 측정, 군지연시간 측정, 외울 측정, 환경시험, 및 경년변화 측정은 행하지 못하였음.

앞으로 더욱더 많은 자료수집과 통신용 수정여파기 국산화 계획을 위한 많은 연구와 제작기술에 한층 더 노력을 하여야 할 것이다.



## 참 고 문 헌

1. 통신용 Filter

尺登義文 著

2. Mechanical Filter } 회로설계  
Crystal Filter }

田川康夫

共著

堀野玉郎

3. 수정공진자의 이론과 실제

オ-ム 社

4. Quartz Crystal Theory . Fabrication and Performance  
Measurements .

Army Technical Manual . TM - 11 - 2540