

이 계경, 김근목, 황금찬
연세대학교 대학원 전기공학과

A study on the design of SAW Comb filter

J. K. Lee, K. M. Kim, K. C. Whang
Department of Electrical Engineering, Yonsei University

ABSTRACT

In this paper, the SAW Comb filter which consists of 1 apodized IDT, 2 uniform IDTs, and the grating reflector is studied.

The apodized IDT is designed by utilizing the Chebyshev window function, and the output IDTs are arrayed with 0.5μsec time delay to obtain the Comb characteristics.

And also the frequency response below the first peak is sufficiently suppressed by the grating reflector which is constituted 180 electrodes.

In experiment the SAW Comb filter is fabricated by depositing Al on the surface of YZ-LiNbO₃ substrate.

As the experimental result, the frequency characteristics of the SAW Comb filter are consistent with theoretical values in admitted errors.

I. 서론

1970년대 중반부터 탄성 표면파(SAW) 소자는 TV의 수신단(TV receiver), FM radio tuner, Video game 등에 대한 응용이 활발히 진행되었는데, 이는 IDT(Interdigital Transducer)의 기하학적 구조에 따라 SAW 필터의 주파수 특성이 결정되므로, 일단 IDT의 구조가 결정되면 종래에 사용하던 LC 필터와는 달리 L과 C를 따로 조정하는 동조(tuning)작업이 불필요하므로 특성이 안정되고, 제조 공정 시간을 단축시킬 수 있고, 제품이 소형화되며, 전력 소모도 적어진다는 장점이 있기 때문이다. 이러한 이유로 외국에서는 대역 통과 필터에 관한 연구를 비롯하여, IF 필터 등의 연구가 발표된바가 있으며, 특히 최근에 원-터치(one-touch) 동조 시스템의 발달과 함께 종래의 국부 발진기(Local Oscillator)로서는 자동적으로 채널의 변화를 제어할 수 없으므로 VHF 및 UHF의 전 대역을 처리할 수 있고, IC와 비교될 만큼 소형인 SAW를 이용한 필터의 설계에 관한 연구가 진행되고 있으나, 국내에서는 아직 연구가 미비한 상태이다.

본 논문에서는 입력 IDT의 설계 방법으로 대역폭을 결정하기 위하여 Chebyshev 윈도우 함수를 사용하여 대역 통과 필터를 설계하고자 하며, Comb 특성용 나마네기 위해 출력 IDT는 0.5 sec의 시간지연을 주어 SAW

Comb 필터를 설계하고자 한다. 또한 초기 주파수를 결정하기 위하여 반사기를 설치하여 반사기를 설치하지 않은 Comb 필터와 비교 고찰하고자 한다.

이와 같은 방법으로 설계된 마스크(Mask)를 사용하여, 전기기계 결합계수가 높은 YZ-LiNbO₃ 위에 포토 리토그래피(Photolithography)방법으로 중심 주파수 70MHz, 주파수 간격을 2MHz인 Comb 필터를 제작한 후, 그 특성을 측정함으로써 TV 채널 선국 시스템에 대한 응용 가능성을 보이고자 한다.

II. Comb 필터의 이론 및 설계

II-1. Comb 필터의 이론

주파수 영역에서 그림(1)과 같은 Comb 특성을 얻기 위하여 식(1)과 같이 시간영역에서 시간지연 특 같은 임펄스 응답을 구한다.

$$V_o(t) = \sum_{n=1}^M I_n \delta(t-nD) + \sum_{n=1}^M I_n \delta(t-nD-\tau) \dots (1)$$

식(1)을 푸리에 변환하여 주파수 응답을 구하면 식(2)로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 V_o(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} V(t) \cdot \exp(-j2\pi ft) dt \\
 &= \sum_{m=0}^{M-1} I_m (\exp(-j2\pi f m D) + \exp(-j2\pi f(mD+L))) \\
 &= (1 + \exp(j2\pi f L)) \cdot \sum_{m=0}^{M-1} I_m \exp(-j2\pi f m D)
 \end{aligned}
 \quad \text{------(2)}$$

식(2)에서 출력 신호의 크기 $|V_o(f)|$ 는 식(3)으로 표현된다.

$$|V_o(f)| = 2 |\cos(\pi f L)| \quad \text{---(3)}$$

식(3)은 출력 신호 $|V_o(f)|$ 가 $f = n / L$ 일때 최대이고, $f = (n+1/2) / L$ 일때 최소가 되는 Comb 특성을 나타낼 수 있다 (n 은 정수).

따라서, 연속된 최대치와 최소치 사이의 주파수 간격 Δf 는 식(4)와 같다.

$$\Delta f = 1 / L \quad \text{------(4)}$$

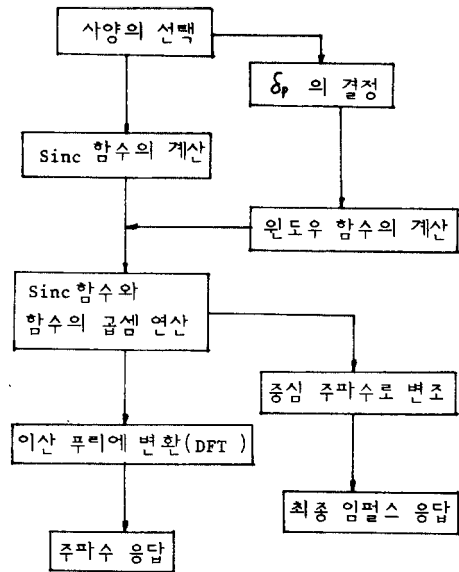


그림 2. 설계 흐름도

II-2. Comb 필터의 설계

채널에 사용되는 극부 발전 주파수는 각 나라마다 다르지만 채널당 6MHz 대역을 유지해야 하므로 f 를 6MHz로 결정하면 쉽게 설계할 수 있으나 미국 시스템의 채널간 4와 5사이, 그리고 일본 시스템의 채널 7과 8 사이의 주파수 간격은 각각 10MHz, 4MHz 이므로, 동시에 이러한 채널을 결정할 수 있는 시스템이 따로 필요하다. 이 과정은 상당히 번거로우므로 시스템을 간략히 하고, 모든 극부 발전 주파수가 SAW Comb 필터의 최고치에 일치하도록 f 를 2MHz로 설계하였다.

또한 방송 주파수 채널단의 영역이 일정한 대역을 가지고 있으므로, 그 대역을 만족시키기 위하여 대역 통과 필터를 설계할 필요가 있다. 따라서 그림(2)의 설계 흐름도에 의하여 컴퓨터 시뮬레이션하였으며, 여기에서 사용된 윈도우 함수는 Chebyshev 다항식을 역 DFT 함수로써 구하며, 매개변수는 리플 δ_p , 필터의 길이 N , 천이 폭 Δf 이다. 본 논문에서는 필터를 소형화하도록 N 을 결정하고, 천이 대역폭(transition bandwidth) Δf 를 줌으로써 δ_p 를 식(5)로부터 구하였다.

$$\delta_p = \frac{1}{\cosh[(N-1) \cosh^{-1} \left\{ \frac{1}{\cos(\pi \Delta f)} \right\}] - 1}
 \quad \text{----- (5)}$$

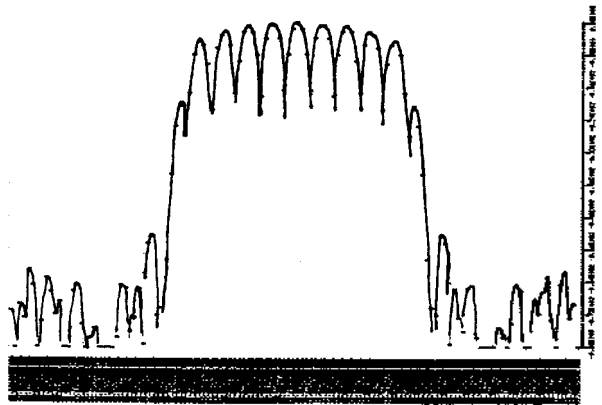


그림 3. 컴퓨터 시뮬레이션된 SAW Comb 필터의 주파수 응답

본 논문에서는 원치 않는 주파수 대역을 억제하기 위하여 반사기(reflector)를 설치 하였다.

반사기는 반복되는 M 개의 전극을 설치하는 구조로서, 이는 전송선 모델을 사용하여 그림(4)와 같은 등가회로 모델로서 해석할 수 있다.

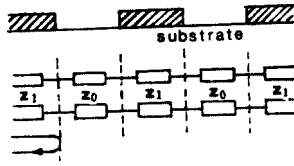


그림 4. 반사기의 전송선 모델

반사기에서 전극의 폭은 최대의 반사를 일으키기 위하여 $\lambda/4$ 로 하며, 전극의 폭과 전극과 전극간의 간격은 1:1로 함으로써 IDT에서 여기된 반성 표면파에 반사가 최대로 되게 한다. 이는 전극이 없는 부분의 특성임피던스 Z_0 와 전극이 있는 부분의 특성임피던스 Z_1 과의 관계로 부터 다음과 같이 설명되는데, 하나의 전극에서 입사파가 반사될 경우에 반사계수 r 는 식(6)과 같으며,

$$r = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0} \quad \text{---(6)}$$

여기에서, Z_0 : 전극이 없는 부분의 특성 임피던스
 Z_1 : 전극이 있는 부분의 특성 임피던스
 이 때, 입력 측에서 본 임피던스 Z_{in} 은, 식(7)와 같다.

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_1 + j Z_0 \tan \beta l}{Z_0 + j Z_1 \tan \beta l} \quad \text{--- (7)}$$

여기에서, β : SAW 의 전파상수
 l : 전극의 폭

식(7)에서 $l = 2\pi/\lambda$, $l = \lambda/4$ 이므로, $\tan \beta l = \tan(\pi/2)$ 가 되어 $Z_{in} = Z_0^2 / Z_1$ 이 된다. 따라서 그림(4)와 같이 M 개의 전극이 반복되어 나열되었을 때, 공진 주파수 f 근처에서 입사파의 반사는 식(8)과 같이 표시된 $|R|$ 에 비례한다.

$$|R| = \frac{|(Z_1 / Z_0)^{2M} - 1|}{(Z_1 / Z_0)^{2M} + 1} \quad \text{---(8)}$$

여기에서, M : 반사기의 전극수.

따라서 공진 주파수에 따르는 반사계수 $|R|$ 은 반사기에 서 전극의 수 M 을 결정함으로써 얻어진다.

본 논문에서는 M 을 180개로 하여 반사계수 $|R|$ 을 99.95%가 되도록 설계하였다. 이를테하여 설계된 반사기는 원치 않는 주파수를 전반사함으로써 출력 IDT에서는 그 부분의 주파수만 억제되어 그림(5-c)와 같은 주파수 특성을 갖게된다. 따라서 SAW 필터의 기본이론에 의하여 각각의 주파수 특성 (a), (b), (c)을 곱하면 전체

주파수 응답은 (d)와 같이 된다.

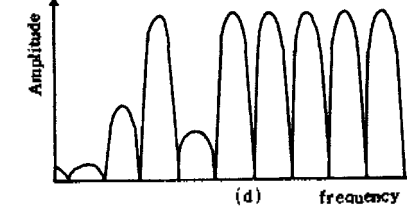
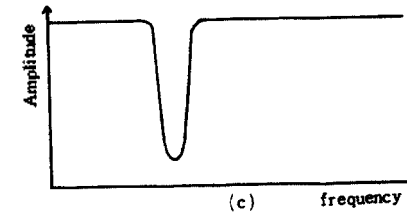
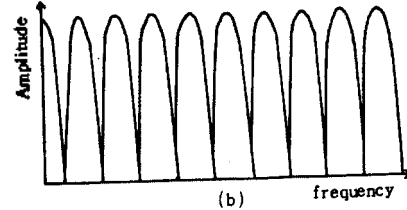
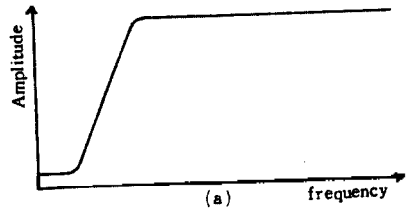
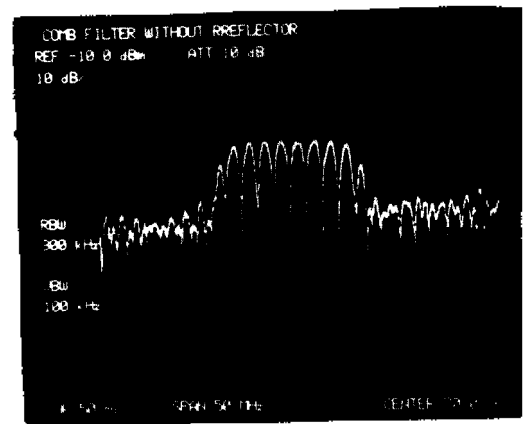


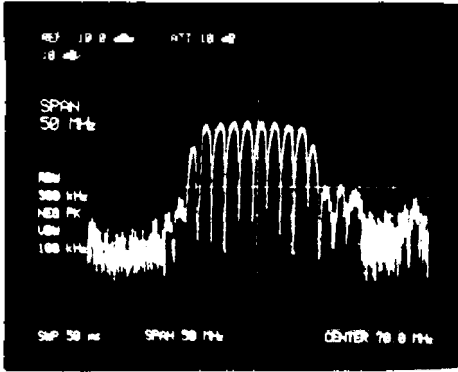
그림 5. 대역억제된 주파수 응답

- (a) 대역통과특성
- (b) Comb 특성
- (c) 반사기 특성
- (d) 전체 주파수 응답

III - 실험 및 결과 고찰



(a)



(b) 반사기가 있는 경우

그림 6. Comb 필터의 주파수 응답

그림(7)은 Comb 필터의 임펄스 응답을 얻기 위해 임펄스에 근사한 40nsec의 펄스파형이며, 이 펄스를 인가하여 얻은 임펄스 응답은 그림(8)과 같다. 그림(8)에서 임펄스 응답이 두개로 나타나는 것은 출력 IDT 설계시 0.5μsec의 시간지연을 주었기 때문이다.

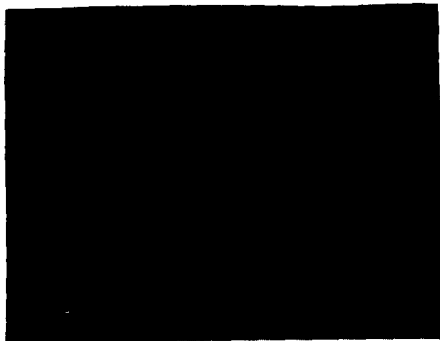


그림 7. 40nsec의 입력 펄스파형

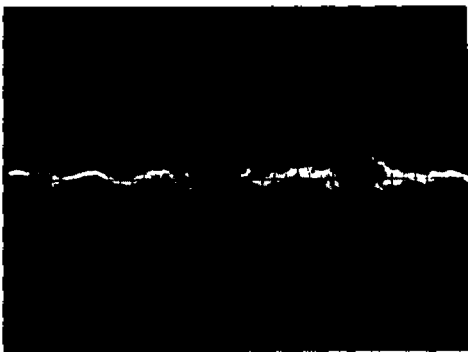


그림 8. 임펄스 응답 (0.5μsec/div.)

IV. 결론

Chebyshev 인도는 함수를 이용하여 광대역 특성을 구하고, 조가치를 정확히 지정하기 위하여 반사기를 이용하여 조가치 이전의 주파수를 최대한 억제하였다. 설계된 마스크로 YZ-LiNbO₃ 압전 기판위에 포토리토그래피 방법으로 탄성 표면파 Comb 필터를 제작하여 나타난 출력특성으로 부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

측정된 주파수 정확도는 0.05MHz, Comb 특성의 최고치와 최저치의 비는 25 - 40dB, 주파수 대역 제거 부문의 깊이는 25dB로서 이론치의 허용오차보다 좋은 특성을 얻었다.

그러나, 반사기를 사용하였을 경우 주파수가 저주파 쪽으로 0.77MHz 이동한 것은 SAW 속도의 차이에서 비롯된 것이라고 생각된다.

탄성 표면파 Comb 필터를 적용하면, 극부 얇은 주파수를 직접 통제하므로 원-터치(one-touch)방식이며, 특성이 안정된다는 장점이 있으므로, NTSC, PAL, SECAM 등 어떤 시스템에도 응용될 수 있다.

REFERENCE

1. R.H.Trancrell, "Analytic design of surface wave bandpass filter," IEEE Trans. on Sonics & Ultrasonics, Vol.SU-21 Jan. 1974 p.12
2. L.R.Rabiner & B.Gold, "Theory and application of digital signal processing," Prentice-Hall
3. E.K.Sitting, G.A.Couquin, "Filter and dispersive delay lines using repetitively mismatched ultrasonics transmission line," Trans. on Sonics and Ultrasonics, SU-15, p.111-119, 1968
4. G.L.Matthai, "Acoustic surface-wave transversal filter," IEEE Ultrasonics Sympo., 1979
5. S.Matsuura, et al., "TV tuning systems with SAW Comb filter," IEEE Trans. on MTT-29, 1981

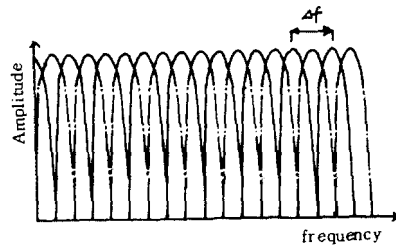


그림 1. Comb의 주파수 특성