

# Reddy Window 함수를 이용한 SAW Bandpass 필터의 제작

정영우\*, 허두오, 이해민, 이해룡, 안형근, 한득영  
 건국대학교 전기공학과

## Fabrication of a SAW Bandpass Filter using Reddy Window Function

Young-Woo Jeong\*, Doo-Oh Hur, Hae-Min Lee, Hae-Ryong Lee, Hyungkeun Ahn, Deuk-Young Han  
 Dept. of Electrical Eng. Kon-kuk Univ.

### Abstract

In this paper a new window function is used to design a SAW band pass filter. As an example, we selected a 99.9 MHz 20-percent bandwidth 20-dB insertion loss filter and fabricated a device on 128° X-rotated LiNbO<sub>3</sub>. The theoretical predictions of a design sample are compared with the experimental data and are shown to be in good agreement over the operating range.

### I. 서론

표면 탄성파(SAW) 필터는 소형, 경량, 저가이며 높은 제형성이 있다. 또한 VHF, UHF 영역에서 다른 소자들보다 우수한 성능을 보여 TV용 IF 필터, Pager용 협대역 필터, Cellular phone용 필터, 레이더용 convolver, 리모콘용 공진기, PCS용 필터 등으로 널리 사용되고 있다. SAW 필터의 장점[1]은 1~2 GHz에 이르는 중심 주파수, 안정성, 정확한 주파수 제어, 좁은 대역폭, 큰 값의 Shape factor, 높은 sidelobe rejection 등이 있다.

이 실험에 사용하기 위하여 설계한 진형적인 양방향성 SAW 필터의 표면 전극을 그림 1에 보인다. 소자는 입력 interdigital transducer (IDT), 출력 IDT, multistrip coupler (MSC), 흡음재로 구성하였다. 입력 IDT는 전기적인 신호를 음향신호로 변환하며, MSC는 음파의 경로를 바꾸어 주고 출력 IDT는 다시 음향신호를 전기적인 신호로 변환한다. 1965년 White와 Voltmer에 의해 제안된 IDT는 압전체에서 전기적인 신호와 음향적인 신호를 효율적으로 변환해 주며, 양방향성 SAW 필터에 쓰였을 때는 Kallman이 제안한 Transversal 필터로 볼 수 있다. 따라서 SAW 필터 설계시 Fourier 변환쌍과 디지털 필터 설계법이 직접적으로 사용될 수 있다. 이때 SAW 필터를 Finite impulse response (FIR) 필터로 볼 수 있으므로 truncation을 보상하기 위한 Window 함수를 사용하는데 본 논문에서는 A. R. Reddy가 제안한 새로운 Window 함수[2]를 사용하여 설계하였다.

### II. Reddy Window 함수

디지털 필터 이론에 따라 필터의 주파수 응답  $H(f)$ 는 임펄스

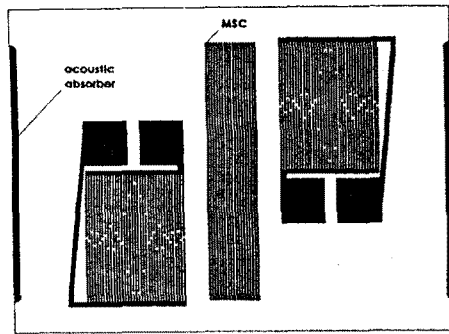


그림 1. 제작한 SAW 필터의 구조

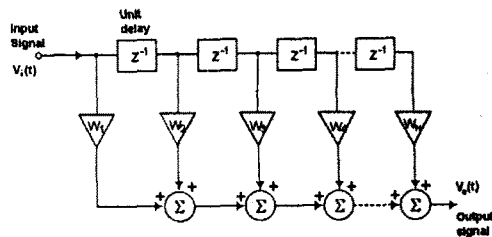


그림 2. transversal 필터의 원리

응답  $h(t)$ 의 Fourier 변환으로 얻어진다. SAW IDT 전극간의 간격 하나하나씩은 각 sampling으로 볼 수 있으며 IDT 패턴에 apodization한 것이 원하는 주파수 응답에 대한 임펄스 응답의 형태와 같을 때 SAW 필터의 주파수 응답은  $H(f)$ 가 된다. SAW IDT가 이산적(discrete)인 시스템이므로 이것의 Fourier 변환도 Discrete Fourier Transform (DFT)이 된다.

$$h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f) e^{+j2\pi ft} df \quad (1)$$

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (2)$$

중심주파수가  $f_0$ 이고 대역폭이 B인 주파수응답에 대한 임펄스 응답은

$$h(t) = \frac{\sin \pi f t}{\pi t} \quad (3)$$

이다. 이 시간 영역의 함수를 무한한 IDT로 구현할 수 없기 때문에 일정시간 이후에 잘라내야 한다. 이때 이 임펄스 응답에 Window 함수를 곱해준다. 단순히 사각형 형태의 Window를 사용할 경우 삭제에 의한 영향으로 통과대역에 Gibb's oscillation이 나타나고 sidelobe가 커진다.[3] 따라서 Weighting을 준 Window 함수를 사용하는데 Bartlett, Hanning, Hamming, Blackman, Kaiser, Dolph-Chevyshev Window 함수 등이 일반적으로 사용된다.[4]

Kaiser window와 Dolph-Chevyshev window를 비교하여 보면 Dolph-Chevyshev window가 약간 더 우수하다.

필터를 설계하는 일반적인 방법은 주파수 영역에서 입력과 출력 두 가지에 대한 원하는 응답을 구해 서로 Convolution한 후 Inverse Fourier 변환하여 주파수 응답을 구하는 것이다.

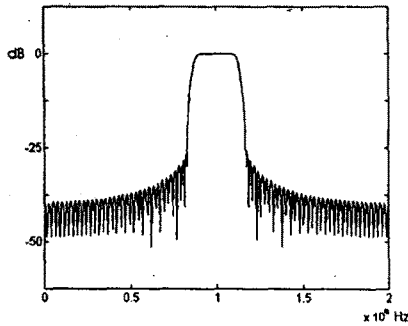


그림 3. Kaiser Window를 곱한 주파수 응답

A. R. Reddy는 1988년 Bessel 함수에 기초한 새로운 Window 함수를 제안했다. 이 함수는 계산하기도 쉽고 해석적인 표현이 용이하며, 매개변수의 값에 따라 Kaiser 함수의 형태를 띄기도 하고, Dolph-Chevyshev Window 형태를 띄기도 한다.[2] 이 Window function은

$$w(t) = \begin{cases} (T^2 - t^2)^{n/2} I_n(b\sqrt{T^2 - t^2}) & , |t| < T \\ 0 & , |t| > T \end{cases} \quad (4)$$

$I_n$  : modified Bessel function of the first kind and of order  $n$  ( $b > 0$ )

이며  $n$ 과  $b$ 의 값에 따라 여러 형태의 Window 함수를 만들어 낸다. 여러 값에 대한 함수들을 조사한 결과  $n=1$ 일 때가 가장 좋았으며 Dolph-Chevyshev 함수와 같은 형태를 띄었고  $n=0$ 일 때는 Kaiser 함수의 형태를 띄었다.  $b$ 의 값은 대역폭과 sampling 시간에 의해 결정되는 값이다.

본 논문에서 제작한 필터의 사양은 대역폭이 20MHz, sidelobe suppression이 -40dB이고 이 사양에 맞춰 Reddy의 Window 함수를 사용하여 설계한 SAW 필터의 IDT의 패턴은 그림 4와 같은 형태를 띄었다.

또한 이러한 임펄스 응답에 대한 주파수 응답은 그림 5와 같았다. 똑같은 사양을 적용하였을 때 Reddy의 Window가

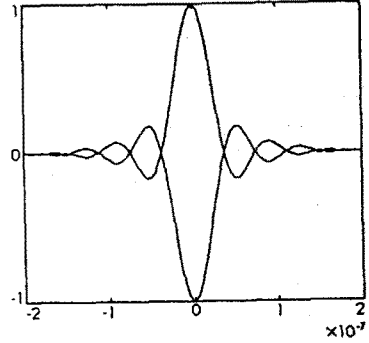


그림 4. IDT의 apodization 형태

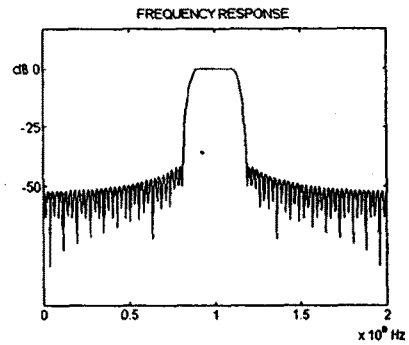


그림 5. 주파수 응답의 시뮬레이션

Kaiser Window보다 좀더 우수한 것을 알 수 있다.

MSC의 구조는 분리된 전극의 주기적인 배열이며 SAW를 한 경로에서 또다른 경로로 바꾸어 주는 역할을 한다. 경로를 바꾸는 용도로는 파를 압축하는 목적과 위쪽 경로에 들어오는 파형이 non-uniform 파형이라도 아래쪽 경로에서 나오는 파형은 uniform 하므로 MSC를 사용하여 두개의 apodization한 IDT를 사용할 수 있는 목적, MSC는 SAW이외의 다른 모드는 전달하지 않기 때문에 Bulk mode에 의한 불요신호를 제거하는 목적 등이 있다.[5]

MSC를 설계하는데 있어서 전극의 주기를 결정할 때  $p = \lambda/4$  ( $\eta = 0.5$ )의 값을 일반적으로 사용하고  $\lambda/2$ 에 가까울 때 강한 반사가 일어나기 때문에 이 값은 피한다. 만약 두 경로가 같은 폭을 가지고  $\eta = 0.5$ 라면 전극의 개수  $N_T$ 는

$$N_T = \frac{\pi}{\alpha} \quad (5)$$

$$\alpha = 0.64k^2 \sin \frac{\pi f}{2f_0} \quad (6)$$

$f$  : IDT의 중심 주파수  $f_0$  : MSC의 중심 주파수.

만약 두 경로의 폭이 다르다면, 전극의 개수  $N_T$ 는 다음과 같다.

$$N_T = N_T \frac{W}{2\sqrt{W_1 W_2}} \quad (7)$$

$W_1, W_2$ 는 경로의 길이이며  $W$ 는 MSC의 총 길이이다.

$$\frac{\Delta}{p} = \frac{\alpha(W_1 - W) f_0}{W \pi} \quad (8)$$

$p$ 와  $\Delta$ 는 넓은 트레과 좁은 트레의 주기이다.

### III. 실험 및 고찰

기판을 선정할 때는 일반적으로 다음과 같은 점을 고려한다.[5]

- 1)  $k^2$ , 압전 결합 계수 - 소자의 삽입손실과 대역폭을 결정 :  
광대역  $\Rightarrow$  높은  $k^2$ , 협대역  $\Rightarrow$  낮은  $k^2$
- 2)  $v$ , 표면파 속도 - 원하는  $f_0$ 를 얻기 위해 가질 수 있는 선평의 해상도, 지연 시간
- 3) 속도 및 지연시간에 대한 온도계수 - 소자의 온도변화에 대한 감도 예측
- 4)  $\gamma$ , 이방성 파라미터 - 음향적 회절, 전파방향과 소자가 잘못 정렬되었을 때의 beam steering의 영향 예측
- 5) 전파손실 - 진공 또는 공기중에서 도달할 수 있는 최소 삽입손실의 한계

제작한 필터는 기판으로  $128' \times \text{LiNbO}_3$ 를 사용하였고, 중심 주파수는 99.9 MHz, 대역폭은 20%로 결정하였다. MSC의 전극폭은  $7.5\mu\text{m}$ 로 하였으며 에너지를 효율적으로 전달하기 위해 MSC의 개수는 70개로 하였다. 중심 주파수를 100 MHz 정도로 결정한 것은 제작한 곳의 Emulsion Mask의 선평의 해상도가  $10\mu\text{m}$ 이어서 기판의 표면파 속도가  $3996 \text{ m/s}$ [5]이므로 정한 값이다. 전극의 형태는 single electrode로 하였으며, 전극의 두께는  $3000\text{\AA}$ 로 하였다.

MATLAB을 이용하여 simulation 하였으며 AutoCad로 도안 하여 Emulsion Mask를 제작하였다. 이후 Photolithography 과정은 외부에 의뢰했다.

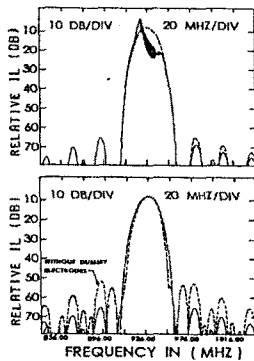


그림 6. Single electrode, Double electrode의 응답 비교[1]

Wiltron사의 5411A로 측정한 결과 중심주파수는 설계한 값과 근사하게 나왔고 대역폭도 설계한 값으로 나왔으나 simulation과 다르게 통과대역에서 ripple이 컸고 sidelobe suppression이 크지 않았다.

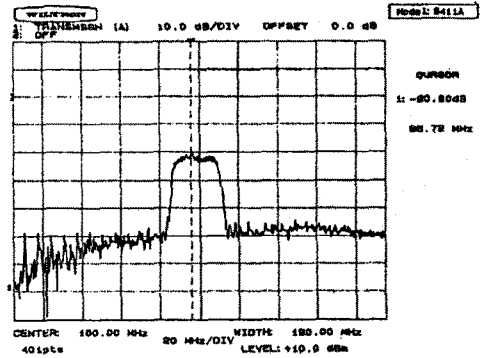


그림 7. 제작한 필터의 주파수 응답

실험에서 제작한 소자는 Emulsion Mask의 신뢰도가 크롬 Mask에 비해 떨어지는 이유로 입력 IDT와 출력 IDT의 중심 주파수의 불일치를 보였고 전극 pad를 음파의 경로 내에 두므로 불필요한 반사를 유발 시키는 결과를 초래하였다.

Single electrode에 의한 영향으로 통과대역에서 ripple이 심하였으며, 앞으로 이것을 Double 이나 Split electrode 형태로 개선하고 경로 내에 전극 pad를 두지 않고 흡음제를 잘 부착하면 응답이 많이 개선될 것으로 보인다.[6]

### IV. 결론

실험에서 제작한 필터는 중심주파수가 100 MHz부근, 대역폭이 20 MHz, 삽입손실이 20dB정도인데 이러한 값들은 설계 시 변수 값만 바꾸어 주어 변경이 가능하다. 따라서 이 기본설계과정을 가지고 임의의 중심주파수와 대역폭을 가진 필터를 만들 수 있다.

A. R. Reddy가 제안한 Window 함수는 시뮬레이션 상으로 볼 때 Kaiser Window보다 우수함을 알 수 있었으며 계산식의 매개변수를 조절하여 주파수 응답의 특성의 변화를 관찰하기에 용이하였다. 실제 만든 필터가 ripple이 심했는데 이는 Single electrode에 의한 영향과 Triple Transit Echo (TTE)의 영향에 의한 것으로 보인다.

### 참고 문헌

- [1] A. J. Slobodnik, Jr., T.L. Szabo, and K.R. Laker, "Miniature Surface-Acoustic-Wave Filters," Proc. of the IEEE., vol. 67, pp. 129-146, no. 1, January 1979.
- [2] A. R. Reddy, "Design of SAW Bandpass Filters Using New Window Functions," IEEE Trans. on UFFC vol. 35, NO. 1, Jan. 1988.
- [3] R.H. Tancrell, "Analytic design of surface wave bandpass filters," in Ultrason. Symp. Proc., pp. 215-217, 1972.
- [4] S.D. Stearns, D.R. Hush, *Digital Signal Analysis*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1990.
- [5] S. Datta, *Surface Acoustic Wave Devices*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1986.
- [6] C. Campbell, *Surface Acoustic Wave Devices and Their Signal Processing Applications*. San Diego, CA: Academic Press, 1989.