

Withdrawal Weighting SAW 필터의 최적 설계

Optimization of the Withdrawal Weighting SAW Filter

이 영 진*, 노 용 래**
(Young Jin Lee*, Yong Rae Roh**)

요 약

본 연구에서는 통과대역폭, 리플, 저지대역 감쇠도의 필터특성을 고려하여 주어진 입력사양에 부합하는 withdrawal SAW 필터의 새로운 최적화 알고리즘을 개발하고자 하였다. 필터의 성능해석을 위해 델타함수 모델을 이용하였으며, 대표적인 필터구조로서 균일한 입력 IDT에 대해 출력단을 withdrawal weighting하는 경우를 선정, 해석하였다. 이를 위해 여덟 개의 설계변수를 선정하였으며 각각의 변화가 성능변수에 미치는 영향을 고려하여 세 단계를 거쳐 최적화 알고리즘을 완성하였다. 첫 단계에서는 삽입손실을 고려하여 입출력 전극수와 형상의 규격을 결정하고, 다음 단계에서는 위상반전 방법을 이용하여 대역폭을 조절하며, 마지막 단계에서는 전극을 추가, 제거하는 방법을 통해 저지대역의 특성규격을 만족시켰다. 본 연구를 통해 제시하는 새로운 withdrawal weighting 필터 설계방법은 기존의 설계 방법들과는 달리 통과대역폭, 리플, 저지대역 억압도, 삽입손실 등의 필터특성을 동시에 고려하며 주어진 입력사양에 부합하는 필터를 최적화할 수 있다.

ABSTRACT

In this study, we propose a new optimization algorithm for a withdrawal weighted SAW transversal filter to satisfy given specifications such as bandwidth, ripple, insertion loss, and sidelobe rejection level. An analysis tool for the withdrawal weighted filter has been produced by means of the delta function model, and has been applied to the design of a filter consisting of an uniform input IDT and a withdrawal weighted output IDT. This optimization algorithm consists of three routines, which eventually determines eight design parameters to satisfy the performance specifications. At the first step, the number of input and output IDT fingers and their geometrical size are determined by the insertion loss specification. At the next step, the bandwidth is controlled by the change of the IDT finger position. Finally, the sidelobe rejection level is modified through the add/skip technique of IDT fingers. The algorithm in this paper is distinct from conventional techniques in that it can simultaneously consider all the specifications such as bandwidth, ripple, sidelobe rejection level and insertion loss, and optimize the geometry of the withdrawal weighted SAW filter.

I. 서 론

최근 이동통신 기기에 많이 사용되고 있는 중간주파수 대역 필터는 넓은 대역폭 및 통과대역 내의 뛰어난 선형성 등의 까다로운 성능을 요구받고 있다. 이러한 필터에 부합하는 것이 withdrawal weighting 전송형 필터이며 전형적인 전송형 구조에서 변형된 형태를 취하고 있다. 일반적인 전송형 필터의 경우, 입출력 전극에 주파수 특성 조절을 위해 다양한 방법의 가중치(weighting)를 부여하는 방법을 사용하고 있다. 이러한 가중치 부여방법으로는 apodized weighting, phase weighting, withdrawal weighting, series weighting 등이 있으며 최근까지 apodized weighting 방법이 가장 일반적으로 사용되고 있다. 그러

나 최근 SAW 필터의 사양이 복잡해지고 까다롭게 변함에 따라 2차 효과들을 극복할 수 있는 기법들이 많이 사용되고 있으며 그 중 한가지인 withdrawal weighting 방법은 일정한 간격의 전극에서 특정 전극을 제거함으로써 구현할 수 있다. 모든 전극의 길이가 일정하므로 일정한 파면을 형성하여 굴절로 인한 왜곡을 줄일 수 있고 전극 자체의 질량효과의 감소 및 형상도의 증가 등의 효과를 거둘 수 있다. 또한 상대적인 전극수의 감소로 인해 2차 효과를 발생시키는 절량 효과가 감소되는 특징을 가진다.[1,2,3] 그러나 이러한 기법은 전극의 배열형상과 발생 전하간의 복잡한 관계로 인해 개발에 제한을 받아 왔으나 최근에 이르러 주로 중간주파수 대역의 광대역 필터로 많이 사용되고 있으며 특히 SPUDT(Single Phase Uni-Directional Transducers) 기법과 복합적으로 이용되고 있다.

Withdrawal weighting은 1973년경에 C. S. Hartmann[3], W. R. Smith[4], K. R. Laker[5] 등에 의해 본격적으로

* 경북대학교 센서공학과

** 경북대학교 전기전자공학부/센서공학과

접수일자: 1998년 12월 30일

발표되기 시작하였다. 일정한 전극구조에서 선택적으로 전극을 제거하기 위해 다양한 방법의 이론이 제시되었는데 C. S. Hartmann 및 K. R. Laker 등의 경우 인접한 세 개의 전극 배열형태에 따른 결합강도를 먼저 구하고 이를 통하여 원하는 필터특성을 구현하는 방법을 시도하였다. 이후 2차 효과를 줄이고 저지대역의 특성을 향상시키기 위해 입력전극과 출력전극을 각각 다른 형태의 가중치 기법으로 취하는 시도가 이루어졌으며, D. C. Malocha[6] 등에 의해 apodization된 전극을 withdrawal 전극으로 변환하는 비교적 간단한 알고리즘이 개발되기도 하였다. 이는 DFT (Discrete Fourier Transform)이론이 바탕이 되었으나 변환된 필터 특성이 통과대역 내에서만 적용되는 제한을 가지며 저지대역의 열화를 극복하기 위해 출력전극을 apodization 형태로 취해야만 하는 문제점을 가진다. 이후 컴퓨터 연산기능의 향상으로 다양한 알고리즘이 시도되었는데, K. Hashimoto[7]의 경우가 대표적으로, 특정한 전극의 제거 및 삽입 시 저지대역의 특성을 가장 효과적으로 향상시키는 전극을 찾는 연산으로서 효과적으로 필터의 저지대역 특성을 구현할 수 있는 장점을 가지고 있으나 대역폭의 조절이 배제된 한계를 가진다.

따라서 본 연구에서는 기존에 제시되었던 withdrawal weighting 설계 방법들을 개선하여 통과대역폭, 리플, 저지대역 억압도 등의 필터특성을 동시에 모두 고려하여, 주어진 입력사양에 부합하는 withdrawal SAW 필터를 최적화하기 위한 새로운 알고리즘을 제시하고자 하였다.

이러한 목표를 위해 우선 withdrawal weighting SAW 필터의 성능을 해석할 수 있는 기본 해석도구를 제작하였다. 이를 바탕으로 apodization weighting 방법에서 발생하는 위상반전을 응용하여 진행표면파의 위상이 180° 지연될 수 있도록 진행파의 반파장에 해당하는 지연공간, 즉 위상반전점을 추가하였을 때 필터의 대역폭 변화를 살펴보았으며, 또한 IDT 내에서 전극의 선택적인 제거 및 추가 방법을 이용하여 최종적으로 새로운 방법의 withdrawal weighting SAW 필터 최적화 알고리즘을 개발하였다. SAW 필터 해석에는 여러 방법들 중에 간단하면서도 비교적 정확한 결과를 제시할 수 있는 델타함수 모델을 사용하였으며, 최적화는 주어진 사양을 삽입손실, 대역폭, 저지대역들의 순으로 만족시키도록 구성하였다.

II. Withdrawal SAW 필터 설계 이론

본 논문에서는 균일한 입력 IDT단에 대해 출력단에 withdrawal weighting을 적용하는 가장 일반적인 경우에 대해 최적화 알고리즘을 개발함으로써 차후 입력단의 변형에 대해서도 쉽게 응용될 수 있도록 하였다. 필터 설계는 입출력 IDT 수의 결정, 대역폭의 조절 및 저지대역의 특성을 향상시키는 세 단계를 거쳐 이루어지며 다음과 같은 이론에 따른다.

첫 단계로 입출력 IDT의 전극수를 결정하기 위해서 제시된 사양 중 삽입손실을 이용하였다. 전체 손실은 유효전송손실 이론(Effective Transmission Loss theory)을

통해 구하며 다음 식 (1)과 같이 표현된다[8].

$$ETL = 20 \log_{10} \left| \frac{\{(1 - y_{11} R_S)(1 - y_{22} R_L) - y_{12}^2 R_S R_L\} \sqrt{R_L / R_S}}{2 R_L y_{12}} \right| \dots (1)$$

여기서,

$$y_{11} = G_1(f) + j2\pi f C_1^T \quad : \text{입력 어드미턴스}$$

$$y_{22} = G_2(f) + j2\pi f C_2^T \quad : \text{출력 어드미턴스}$$

$$y_{12} = 2 N_1 N_2 G_0 \frac{\text{Sim}[(N_1/2)\pi(f-f_0)/f_0]}{(N_1/2)\pi(f-f_0)/f_0} \times \frac{\text{Sim}[(N_2/2)\pi(f-f_0)/f_0]}{(N_2/2)\pi(f-f_0)/f_0} \times \text{Exp}[\pi(1 - (N_1 + N_2)(f-f_0)/2f_0) - \phi] \quad : \text{전송 어드미턴스}$$

$$R_S, R_L \quad : \text{입출력 저항}$$

이고

$$G_1 = 2 N_1^2 G_0 \left| \frac{\text{Sim} N_1 \pi (f - f_0) / 2f_0}{N_1 \pi (f - f_0) / 2f_0} \right|^2 \quad : \text{입력 방사 컨덕턴스}$$

$$G_2 = 2 N_2^2 G_0 \left| \frac{\text{Sim} N_2 \pi (f - f_0) / 2f_0}{N_2 \pi (f - f_0) / 2f_0} \right|^2 \quad : \text{출력 방사 컨덕턴스}$$

$$G_0 = k^2 C_S f_0 \quad : \text{전극쌍 당 등가 어드미턴스}$$

$$C_1^T = C_S \cdot (N_1/2) \quad : \text{입력 IDT 용량}$$

$$C_2^T = C_S \cdot (N_2/2) \quad : \text{출력 IDT 용량}$$

$$C_S = \frac{1}{2} W \sqrt{\epsilon_{11} \epsilon_{33}} \quad : \text{전극쌍 당 용량}$$

$$N_1, N_2 \quad : \text{입·출력단의 각 전극수}$$

$$f_0 \quad : \text{중심주파수}$$

$$f \quad : \text{주파수}$$

$$\phi \quad : \text{지연선 위상차}$$

$$\epsilon_{11}, \epsilon_{33} \quad : \text{압전기판의 유전율}$$

$$k^2 \quad : \text{압전기판의 결합계수}$$

$$W \quad : \text{전극 길이}$$

이다. 아래첨자 11는 입력단, 22는 출력단을 나타낸다. 전극수가 증가하면 전체적인 손실은 서서히 줄어들며 전기적인 결합단계를 넘어선 경우 다시 손실이 늘어나는 경향을 보인다. 따라서 사용재료와 입출력 저항이 청해진

경우, 입출력 전극의 길이와 개수에 의해 전체손실이 결정되므로, 주어진 삽입손실과 입출력 저항의 사양으로부터 입출력 전극의 길이와 개수를 결정할 수 있다.

두 번째 단계로 대역폭 조절을 위하여 apodization weighting 방법에서 발생하는 위상반전을 withdrawal weighting에 응용하였다. Apodization weighting 방법에서 발생하는 위상반전을 withdrawal weighting 필터에서는 위상 지연항으로 대체할 수 있다. 그림 1과 같이 진행표면파의 위상이 180° 지연될 수 있도록 IDT의 신호선을 기준선으로 대체하는 방법으로 지연공간을 추가하여 필터 대역폭의 변화를 살펴보았다.

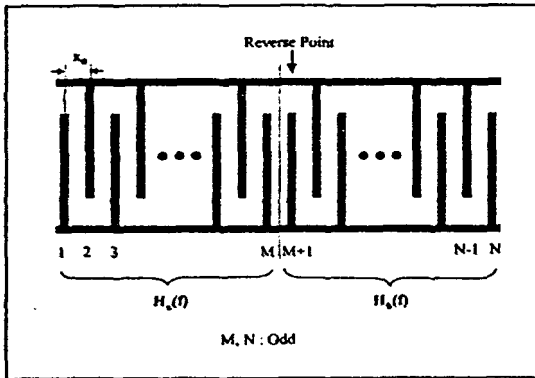


그림 1. Withdrawal weighting IDT의 개략도 (M 에서의 한번의 위상반전)
 Fig. 1. Schematics of the withdrawal weighted IDT (Reversed 1 time at M).

이를 위해 기본적인 델타함수 모델을 변형하여 위상반전이 고려된 일반식을 유도하였다. 총 N개의 균일한 전극으로 구성된 IDT 중 입력의 전극위치 M+1 에서 한번의 위상반전이 일어난 경우, 전체 IDT의 주파수 특성 $H_T(f)$ 는 위상반전점 앞 부분에 의한 주파수 특성과 이후의 성분으로 구분할 수 있고 각각을 $H_a(f)$, $H_b(f)$ 라 두면,

$$H_T(f) = H_a(f) + H_b(f) \quad \dots \quad (2)$$

$$H_a(f) = \sum_{n=1}^M (-1)^n \text{Exp}[-j\beta x_n] \quad \dots \quad (3)$$

$$H_b(f) = \sum_{n=M+1}^N (-1)^{n+1} \text{Exp}[-j\beta x_n] \quad \dots \quad (4)$$

로 구분할 수 있다. 여기서,

$$\beta x_n = \frac{2\pi f}{v} n x_0 = n\pi \frac{f}{f_0}$$

$$\beta = \frac{2\pi f}{v} = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \text{: 파수}$$

$$v \quad \text{: SAW 속도}$$

- λ : SAW 파장
- x_0 : 전극간의 거리

이다.

나아가 다중 위상반전점의 위치와 개수에 대해 일반화하면, $M_k (k=1, 2, \dots, R)$ 의 전극위치에서 각각 위상반전을 시켜서 총 R번 반전을 시키면 전체적인 응답 $H_T(f)$ 는 식 (5)와 같이 유도될 수 있다.

$$H_T(f) = \sum_{k=0}^R \left\{ (M_{k+1} - M_k) \frac{\text{Sin} \left[\pi \frac{(M_{k+1} - M_k)}{2} \frac{f - f_0}{f_0} \right]}{\pi \frac{(M_{k+1} - M_k)}{2} \frac{f - f_0}{f_0}} \right\} \times \text{Exp} \left[-j\pi \left(\frac{M_k + M_{k+1} + 1}{2} \frac{f - f_0}{f_0} + M_k \right) \right] \quad \dots \quad (5)$$

여기서

- R : 위상반전 회수
- M_k : 위상반전 위치
- $M_0 = 0$
- $M_{R+1} = N$

을 나타낸다. 위 식을 이용하면 여러 곳에서 위상 반전된 IDT에 대한 주파수 응답을 간단하게 구할 수 있으며, 본문에서는 특히 대역폭의 변화를 주로 살펴보았다.

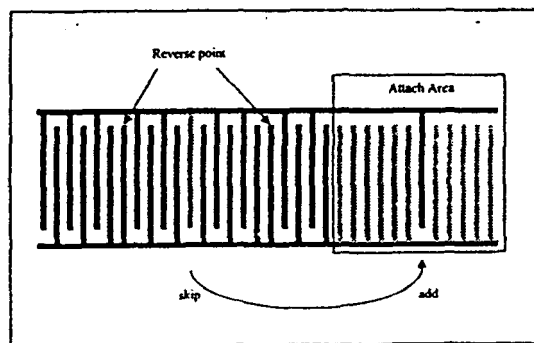


그림 2. 부가면적이 추가된 Withdrawal weighted IDT의 개략도
 Fig. 2. Schematics of the Withdrawal weighted IDT added by the attached area.

이상의 단계를 통해 최대 대역폭을 구현할 수 있는 위상반전의 회수와 위치를 결정하고, 다음 단계에서는 저지대역의 특성을 향상시키는 방법을 이용하여 전체적인 필터를 설계하고자 하였다. 저지대역 특성의 향상은, withdrawal 필터 고유의 구조에서 나타나듯이 균일한 IDT의 특정부분의 전극을 제거함으로써 구현하였는데, IDT 제거로 인한 전체 IDT의 임피던스 변화를 방지하기 위하여 그림 2와 같이 위상반전이 이루어진 균일한 IDT에 부가적으로

전극이 추가될 가상의 면적을 더하고, 원래의 부분에서 전극을 선택적으로 제거하고 더해진 부분에 전극을 대신 추가하는 방법을 통해 전체 전극수를 그대로 유지함으로써 임피던스 변화를 방지하였다. 이와 같은 전극의 제거 및 추가방법을 통하여 저지대역의 특성을 향상시킴으로써 비대칭형 withdrawal weighting 필터를 구현하고자 하였으며 추가 및 제거되는 전극은 컴퓨터 반복연산을 통해 가장 효과적으로 저지대역의 성능을 향상시키는 조합을 찾아 구할 수 있다.

III. 설계변수 설정 및 최적화 알고리즘

일반적으로 필터 설계시 제시되는 성능변수는 크게 주파수 대역폭(bandwidth:BW), 저지대역 감쇠도(sidelobe rejection level:SR), 리플(ripple:RP), 삽입손실(insertion loss:IL), 중심주파수(center frequency:fo), 정재파비(voltage standing wave ratio:VSWR) 등이 있다. 본 논문에서는 델타함수 모델을 이용한 필터 해석 도구를 사용함으로써 대역폭과 리플, 저지대역 감쇠도, 삽입손실을 고려하였으며, 그 외 중심주파수와 정재파비는 고려대상에서 제외시켰다. 하지만 중심주파수의 경우 최종적으로 전극의 선폭 조절을 통해 조절이 가능하며 정재파비는 보다 정확한 Smith 등가회로 등의 방법으로 고려할 수 있다.

표 1. Withdrawal 최적화 이용변수
Table 1. Variables used in the Withdrawal filter optimization.

Performance Parameters	fo	: center frequency
	IL	: insertion loss specification
	RP	: passband ripple specification
	BW	: bandwidth specification
	SR	: sidelobe rejection level specification
	RS, RL	: input/output resistance
Design Parameters	N1	: initial number of input IDT fingers
	N2	: initial number of output IDT fingers
	eta	: metallization ratio
	W	: aperture width
	RevNum	: Number of Reverse point
	RevPst	: Reverse position(s)
	SKP, ADP	: IDT skip/add points(s)
Material Parameters	k ²	: coupling factor
	ε ₁₁	: permittivity in x-direction
	ε ₃₃	: permittivity in z-direction

사용재료가 결정된 경우, 대역폭과 리플, 저지대역 감쇠도, 삽입손실의 네 가지 성능변수를 만족시키기 위해서는 앞의 식들을 이용하면 표 1과 같이 총 8개의 설계변수를 설정할 수 있다. 입출력 전극수(N₁, N₂)의 경우 성능변수 중 대역폭과 삽입손실에 큰 영향을 미치며 전극길이(W)와 metallization ratio(eta)는 삽입손실에 관계된다. 위상반

전점의 위치(RevPst)와 횡수(RevNum)는 대역폭과 리플, 저지대역 감쇠도에 모두 영향을 미치지만 리플이 제한된 값을 초과하는 경우를 제외시키면 대역폭의 변화에 큰 영향을 미친다. 저지대역의 특성은 IDT의 추가, 제거(ADP, SKP)를 통해 향상시킬 수 있다.

본 연구에서는 표 2의 임의의 성능사양을 설정하고, 이상의 8개의 설계변수의 최적값을 자동으로 구할 수 있는 알고리즘을 다음의 과정을 통해 구현하였다.

표 2. 기준 성능변수값
Table 2. Test performance parameter values.

Performance factors	Specification
Insertion Loss	-25.0 dB
Ripple	1.00 dB
Bandwidth	0.92 %
Sidelobe rejection level	-23.0 dB
Substrate material	ST-Quartz
RS & RL	50.0 Ω
Center frequency	85.0 MHz

3.1. 입출력 IDT 수의 결정

우선 식 (1)의 유효전송손실 이론을 이용하여 입출력 전극수를 결정한다. 일반적으로 IDT의 수가 증가할수록 대역폭은 줄어들며 삽입손실은 감소하는 특성을 가진다. 따라서 첫 단계에서는 다음 단계에서 최대 대역폭을 구현하여야 하는 점을 감안하여 최소 IDT로 삽입손실을 만족시키고자 하였다. 먼저 전극길이(W)와 metallization ratio(eta)의 초기값을 설정한 후, 계산된 삽입손실과 제시된 삽입손실을 비교하여 특성이 만족되지 않는 경우 전극수를 증가시키면서 손실을 줄여 최종적으로 삽입손실 사양을 만족시키는 입출력 전극수를 결정한다. 여기서 초기값은 기판의 종류나 용도에 따라 적절히 조절할 수 있을 것이다. 이러한 과정은 그림 3의 순서도에 보인 것과 같이 진행된다. 순서도 상의 A는 다음 단계에서 대역폭 사양을 본 단계에서 결정된 IDT 수로 만족시킬 수 없는 경우 다시 입출력 IDT 수를 조절하기 위해 사용된다.

전극수가 증가할 경우, 전체적인 손실은 서서히 줄어들지만 전기적인 정합단계를 넘어설 경우 다시 손실이 늘어나는 경우가 발생한다. 이러한 경우에는 설계사양을 만족시킬 수 없으며 입력단에 weighting 방법 등의 수정이 불가피하다.

본 연구에서는 시험 경우로서 대부분의 경우 입출력의 전기적인 사양이 같으므로, 입력단과 출력단의 전극수를 같게 두고 eta는 0.5로, W 및 초기 입출력 IDT 수(N_{in})는 각각 2mm와 100으로 두어 삽입손실을 계산하였다. 이 규격들은 본 연구에서 시험 기판으로 사용한 ST-Quartz 기판의 경우 -40dB 이상의 큰 삽입손실을 나타냈으며 이는 실제의 필터 사양에 크게 모자라는 값이므로 초기 전

극수와 전극길이를 설정함에 무리가 없다.

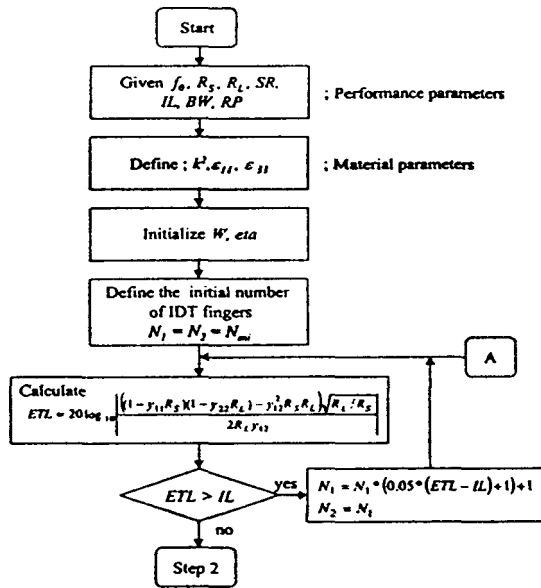


그림 3. IDT의 개수를 구하는 순서도
Fig. 3. Flowchart of the determination of the number of the IDT.

3.2. 대역폭의 조절

두 번째 단계에서는 결정된 입출력 전극수에 대해서 대역폭을 만족시킬 수 있는 위상반전의 수와 위치를 결정한다. 식 (5)를 이용하여 필터의 주파수 응답을 구하며 위상반전점의 수와 위치에 따른 대역폭 변화를 살펴본다. 넓은 대역폭이 얻어진다면 대부분의 경우 리플이 증가하는 경향을 보였으며, 따라서 리플이 주어진 사양, 즉 한계값을 만족하는 경우에 한하여 도시하면 그림 4와 같다.

본 논문에서 적용한 균일 입력 IDT에 대해 출력 IDT를 위상 반전시키는 경우, 그림 4에 나타나는 것과 같이 3번의 위상반전이 이루어지면 대역폭 증가는 포화현상을 보이며 전극수가 51개인 경우, 위상반전이 이루어지지 않았을 때 대역폭이 약 1.75%밖에 비해 한번의 위상반전 후에는 약 2.72%, 두 번에 대해선 3.04%, 세 번에 대해선 3.07%로 대역폭이 증가함을 알 수 있다.

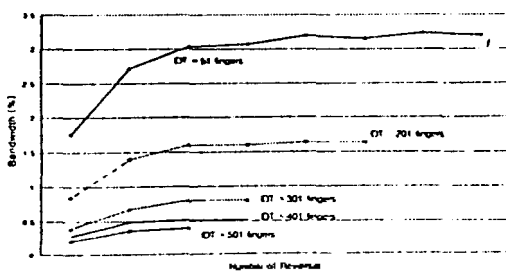


그림 4. Reverse 표에 따른 대역폭의 증가
Fig. 4. Increase of the bandwidth by the Reverse Table.

이처럼 최대 3번의 위상반전을 통해 약 75%의 대역폭 증가 효과를 거둘 수 있다. 이상의 결과를 표 3의 Reverse Table로 작성하였으며 주어진 입출력 전극수와 대역폭 사양의 두 입력에 대해 위상반전점의 수와 위치를 제시하는 역할을 하며 차후 최적화 알고리즘에 추가되어 연산 시간의 감소 효과를 얻을 수 있다.

표 3. Reverse 표
Table 3. Reverse Table.

Number of the IDT fingers (N_0)	Number of Reverse Points (RevNum)		
	1	2	3
51	Position of the reverse point (RevPst) = 15	RevPst = 9, 40	RevPst = 3, 14, 41
61	19	9, 34	3, 32, 53
81	25	11, 42	3, 16, 45
101	31	15, 56	5, 26, 79
141	43	19, 74	3, 22, 75
161	51	23, 86	3, 28, 89
181	52	25, 94	3, 28, 97
201	55	27, 106	3, 32, 109
251	73	33, 130	3, 36, 133
301	93	31, 146	3, 36, 147
401	117	43, 198	3, 46, 189
601	161	77, 316	3, 66, 279

만약 주어진 대역폭이 세 번의 위상반전을 통해서도 만족될 수 없는 경우, 입출력 전극수를 조금씩 줄이고(본 논문에서는 5%씩), 대신 전기적 특성과 삽입손실을 유지시키기 위해 전극길이를 증가시켜 대역폭의 한계를 줄여 나간다. 5%의 값은 시뮬레이션을 통해 정한 값이며, 값이 작은 경우 반복 시간이 길어지며 클 경우 급격한 IDT 수의 변화를 초래한다. 따라서 첫 번째 단계와 본 단계는 상호 유기적으로 실행되며 최종적으로 입출력 전극수, 전극길이 및 위상반전점의 수와 위치가 결정된다. 표 2에 나타난 임의의 시뮬레이션 사양에 대해 이상의 두 단계를 거친 결과를 그림 5에 나타내었다. 결과로서 입출력 전극수를 161, 전극길이를 3.2 mm로 결정하였으며, 23, 86번째 각각의 전극에서의 위상반전을 이용해 제시된 대역폭 0.92%를 만족시키는 1.00%의 대역폭을 구할 수 있다. 여기서 발생한 여유분 0.08%는 다음단계에서 대역폭 변화 여유값으로 필요하게 사용된다. 지금까지의 과정을 그림 6에 순서도로 나타내었다. 최종적으로 두 단계를 거친 후의 실제 대역폭과 저지대역 감쇠도를 각각 bw_{ref} 와 sr_{ref} 로 나타내었으며 다시 BW_{ref} 와 SR_{ref} 로 두어 다음단계에서 기준값으로 사용하였다. 순서도상의 B는 본 단계에서 설정한 대역폭이 다음 단계에서 만족되지 않을 경우를 위해 사용된다.

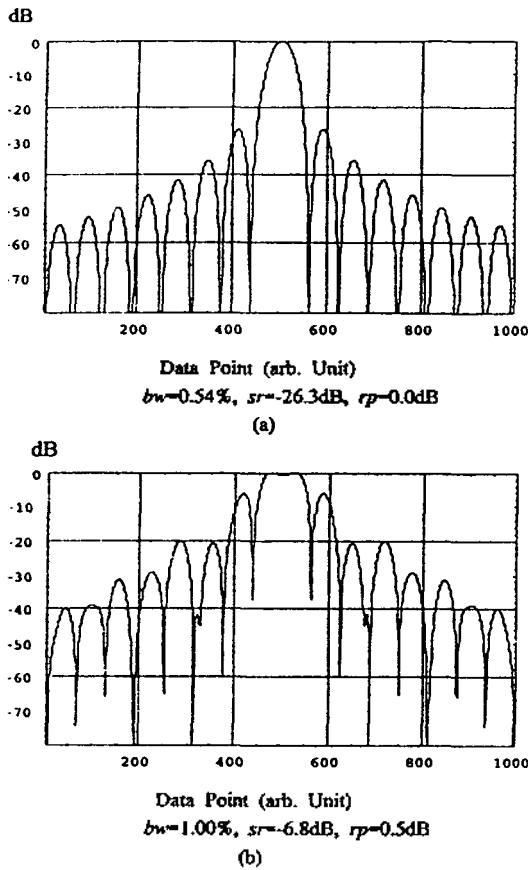


그림 5. Bandwidth 조절 루틴에 의한 대역폭의 증가
($N_1=N_2=161$, $W=3.2$ mm, $RevPst=23$, 86)
(a) 위상반전 전, (b) 위상반전 후

Fig. 5. Increase of the bandwidth by the Bandwidth Control Routine
($N_1=N_2=161$, $W=3.2$ mm, $RevPst=23$, 86);
(a) Before Reverse, (b) After Reverse.

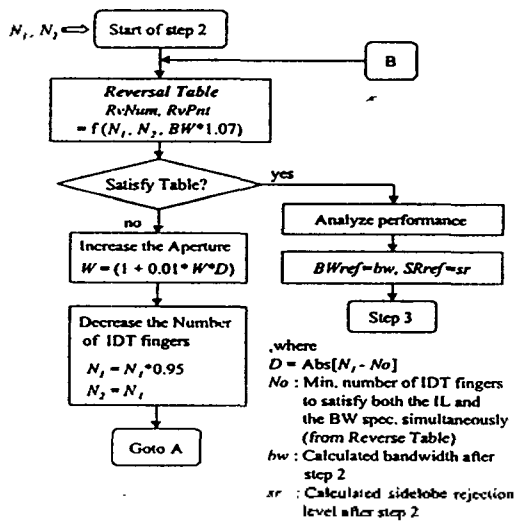


그림 6. Bandwidth 조절 루틴의 순서도;
위상반전을 통한 대역폭의 증가
Fig. 6. Flowchart of the Bandwidth Control Routine;
Increase of the bandwidth by polarity change.

3.3. 저지대역의 특성 향상

마지막 단계에서는 앞 단계까지의 결과로 이루어진 IDT에 그림 2와 같이 추가영역을 두고, 원래의 부분에서 전극을 제거하며 대신 부가된 영역에 전극을 추가함으로써 전기적인 전체 특성은 유지되되 저지대역의 특성을 향상시켜 최종적으로 주어진 사양을 만족하는 withdrawal weighting SAW 필터를 구현하고자 하였다. 부가되는 면적의 크기에 따라 최적화 결과가 조금씩 달라지는데 면적이 클 경우 연산시간의 증가를 초래하게 되며, 너무 작은 경우에는 성능향상이 일어나지 않는다. 따라서 적절한 크기의 부가면적이 필요하며 시뮬레이션 결과로 원래의 크기의 60~80%의 부가면적이 효과적임을 알 수 있었다.

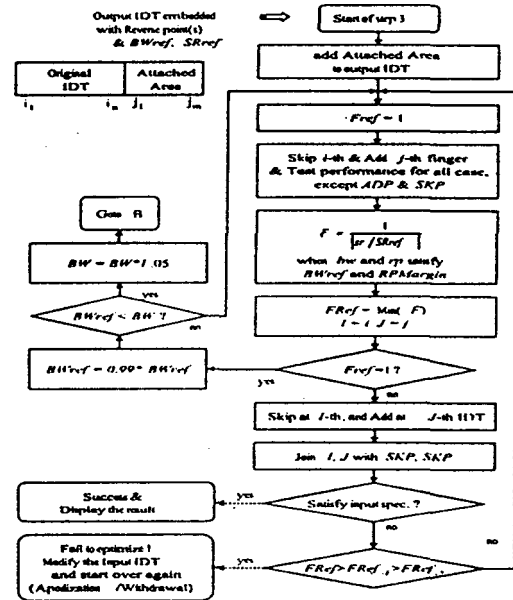


그림 7. Sidelobe 조절 루틴의 순서도
Fig. 7. Flowchart of the Sidelobe Control Routine.

초기 IDT에서 하나의 전극을 제거하고 대신 추가영역에 전극을 추가하는 방법을 반복적으로 실행한다. 이 때 모든 경우에 대해 전극의 제거, 추가를 순차적으로 거치고, 각 경우마다 그림 7에서 나타낸 것과 같이 저지대역의 특성을 나타내는 F 값을 구한다. 이 값이 최소가 되는 조합, 즉 가장 저지대역의 특성을 향상시키는 조합을 선택하여 (I, J) 전극을 제거 및 추가하며(ADP, SKP), 이때의 F 값을 F_{ref} 값으로 대체한다. 단 원래의 대역폭의 손실이 없으며 리플이 리플한계값(RPMargin)을 넘지 않는 경우에 한정하였다. 리플한계값은 실제 사양치(RP)보다 크게 두어 최적조합을 구하는데($RP_{Margin} = RP + \alpha$), 이것은 리플이 매번 단계마다 크게 변화하며 비록 리플 사양이 만족되지 않더라도 다음단계에서 전극의 제거, 추가를 통해 특성을 만족시킬 수 있으므로 최종 단계에서만 리플 사양을 검증하는 방법을 이용하였다. α 값은 실험적으로 결정하였으며 3 이하의 값을 사용하였다. 특수

한 경우, 초기 대역폭을 유지시키면서 저지대역의 특성을 만족시킬 수 없는 경우가 발생하며($F_{ref}=1$), 이러한 경우 앞 단계에서 준비한 대역폭의 여유값을 이용하여 BW_{ref} 값을 줄여 본 루틴을 다시 수행한다. 만약 여유값이 부족할 경우에는 대역폭의 사양값을 조금 늘리고 다시 Bandwidth Control Routine을 수행하여 전극수를 줄여 대역폭의 여유를 늘이는 방법을 이용하였으며 순서도 상의 B를 이용한다.

이러한 방법을 계속적으로 반복적으로 수행하여 저지대역의 특성을 향상시켜 나가며, 최종적으로 withdrawal weighting 필터의 형태를 취하게 된다. 순서도의 F_{ref} 값의 감소는 곧 저지대역의 특성향상을 나타내며 이 값이 더 이상 감소하지 않는 경우, 즉 저지대역의 특성이 더 이상 향상되지 않는 경우가 두 번 이상 연속 반복되면 프로그램은 최적화가 불가능함과 동시에 입력 IDT의 수정을 제시한다. F_{ref-1} , F_{ref-2} 는 각각 전 단계의 F_{ref} 값을 나타낸다.

그림 8은 그림 5에서 전극 제거, 추가 후의 결과를 나타내고 있는데 전극의 제거, 추가를 35회 거친 후의 결과를 나타낸다. 초기 1.0%의 대역폭이 마지막 단계까지 그대로 유지되고 저지대역의 특성은 -6.8dB 에서 약 -23.0dB 까지 향상되며 리플은 0.8dB 로서 표 2에 나타난 사양들을 만족시키는 값들이다.

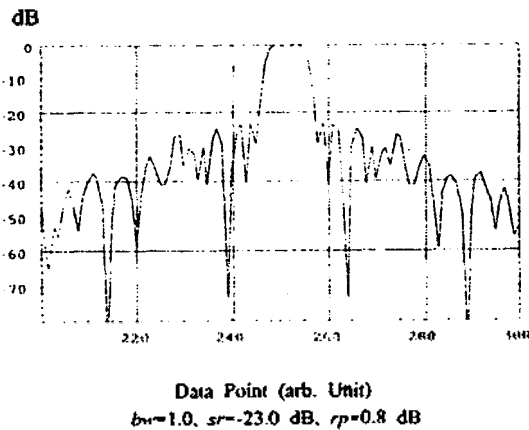


그림 8. Sidelobe 조절 루틴에 의한 해석 결과
Fig. 8. Simulation results by Sidelobe Control Routine.

이상의 과정을 통해, 새로운 방법의 withdrawal weighting SAW 전송필터 최적화 알고리즘을 개발하였다. 본 연구를 통해 개발된 알고리즘은 균일한 입력 IDT에 대해, 출력단을 withdrawal weighting하는 경우에 한하여 위상반전 및 특정한 전극의 제거, 추가를 통해 주어진 사양을 효과적으로 만족시킬 수 있다. 본 논문의 설계에 사용된 사양이 실제 적용되는 필터의 사양에는 미치지 못하는데 이는 균일한 입력 IDT에 대해 출력단만을 withdrawal weighting하는 경우이기 때문이며, 차후 입력전극의 변화, 즉 apodization 및 withdrawal weighting을 통해 보다 폭넓은 사양에 대한 최적화 방법으로 구현할 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 통과대역폭, 리플, 저지대역 감쇠도의 특성을 동시에 고려하여 주어진 입력사양에 부합하는 withdrawal SAW 필터를 최적화할 수 있는 새로운 알고리즘을 개발하였다. 필터의 성능은 델타함수 모델을 이용하였으며, 개발된 알고리즘은 균일한 입력 IDT에 대해, 출력단을 withdrawal weighting하는 경우에 한하여 위상반전 및 특정한 전극의 제거, 추가를 통해 주어진 사양을 효과적으로 만족시킬 수 있었다.

알고리즘 개발을 위해 위상반전이 고려된 델타모델의 변형식을 유도하였으며, 주어진 입출력 전극수와 제시된 대역폭을 동시에 만족하는 위상반전의 수와 위치를 결정할 수 있는 Reverse Table을 작성함으로써 연산시간의 감소효과를 이루었다.

본 연구를 통해 제시하는 새로운 withdrawal weighting 필터 설계방법은 기존의 설계 방법들과는 달리 통과대역폭, 리플, 저지대역 억압도, 삼입손실 등의 필터특성을 동시에 고려하며 주어진 입력사양에 부합하는 필터를 최적화할 수 있다. 향후 델타함수 모델보다 정확한 해석방법인 Smith 모델을 이용하여 델타함수 모델의 한계점을 극복하고, 실제 제작실험을 통해 설계오차를 줄일 계획이다.

참 고 문 헌

1. R. S. Wagers, "Phase error compensation in finger withdrawal transducers", IEEE Ultrasonics symposium proceedings, p418, 1974
2. T. L. Szabo, K. R. Laker, E. Cohen, "Interdigital Transducer Models: Filter Synthesis", IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics, vol. SU-26, No. 5, Sep. 1979
3. C. S. Hartmann, "Weighting Interdigital surface wave transducers by selective withdrawal of electrodes", IEEE Ultrasonics symposium proceedings, p423, 1973
4. W. R. Smith, W. F. Fedler, "Fundamental and Harmonic-Frequency Circuit-Model analysis of interdigital transducers with arbitrary metallization ratios and polarity sequences", IEEE Trans. on MTT, vol. MTT-23, No. 11, Nov. 1975
5. K. R. Laker, E. Cohen, A. J. Slobodnik, Jr., "Electric field interactions within finite arrays and the design of withdrawal weighted SAW", IEEE Ultrasonics symposium proceedings p317, 1976
6. D. C. Malocha, S. Datta, B. J. Hunsinger, "Tap weight enhancement for broad-band filters", IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics, vol. Su-25, No. 1, Jan. 1978
7. M. Yamaguchi, K. Hashimoto, H. Kogo, "A Simple method of reducing sidelobes for electrode-withdrawal weighted SAW filters", IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics, vol. SU-26, No. 5, Sep. 1979
8. Colin Campbell, *Surface Acoustic Wave Devices and Their Signal Processing Applications*. Academic Press, Inc., CA, 1989

▲이 영 진(Young Jin Lee) 1970년 3월 13일생



1995년 2월: 경북대학교 전자공학과
(공학사)

1997년 2월: 경북대학교 센서공학과
(공학석사)

1999년 2월: 경북대학교 센서공학과
박사과정 수료

*주관심분야 : 표면탄성파소자
초음파 트랜스듀서

E-mail : yjlee@aslab.kyungpook.ac.kr

▲노 응 래(Yong Rae Roh)

한국음향학회지 제 18권 1호 참조

E-mail : yryrong@eeg.kyungpook.ac.kr