

이중 통신 필터 설계 및 분석

A study on design and analysis of a duplexer filter

유 일 현*, 권 회 두**
(Il Hyun You*, Hee Doo Kwon**)

요 약

이중 통신(Duplexer) 필터를 설계 및 개발하기 위한 최적조건을 구하기 위해 36°LiTaO_3 기판 표면에 빗살무늬 변환기를 사용한 모의 실험을 수행하였으며, 전극 재료로는 Cu-Al(W 3%)합금을 이용하였다.

제작한 듀플렉스 필터의 구조는 사다리(Ladder)형 구조로서 직렬 공진기와 병렬 공진기의 결합으로 필터를 구성하였다. 적절한 통과대역과 저지대역을 형성하기 위하여 직렬 공진기와 병렬 공진기의 주파수 차이를 30MHz로 했으며, 낮은 저지대역을 형성하기 위하여 두 공진기의 전기용량의 비는 1로 하였고, 전극의 두께는 $2,500\text{\AA}$ 으로 하였을 때 설계 조건과 일치하는 주파수 응답을 얻었다.

제작한 듀플렉스 필터의 주파수 특성은 중심 주파수는 836.5MHz와 881.5MHz, 통과대역 폭은 25MHz, 삽입손실은 2.5dB 이하 및 저지대역은 -35dB이하로 나타났다.

ABSTRACT

In this paper, we have studied the optimal conditions for design and development of a duplexer filter. The duplexer filter's electrode was constructed on the 36°LiTaO_3 (36° rotated Lithium Tantalate) substrate, by evaporating Cu-Al(W 3%) alloy.

The structure of the fabricated duplexer filter, so called ladder type, is composed of couples of series-arm resonators and parallel-arm resonators. In order to meet the conditions for passband and rejection band, we have designed frequency difference between the series-arm resonator and the parallel-arm resonator to be 30 MHz and the capacitance ratio between two resonators to be 1 the electrode thickness of $2,500\text{\AA}$, the measured frequency responses with agree well the center frequency of the design.

For the fabricated duplexer filters, insertion loss is less than 2.5 dB, the bandwidth is more than 25 MHz, rejection band level is less than -35dB and the center frequencies of 836.5 MHz and 881.5 MHz, respectively.

I. 서 론

이중 통신 단말기를 형성하는 부품은 능동소자와 수동소자로 구분되며, 표면 탄성파(Surface acoustic Wave : SAW)의 전파특성을 이용하는 이중통신(Duplexer)필터는 수동소자에 속한다.[1] 이중통신(이하 듀플렉서로 칭함) 필터란 신호의 송·수신 역할을 담당하는 두 개의 필터를 하나의 소자로 만든 것을 의미하며, 이때 송·수신 주파수간의 간섭을 억제하는 구조를 갖고 있어야 한다. 표면탄성파는 표면에서 깊이로 들어갈수록 그 세기가 감소하는 특성을 갖고 있으며, 전기적인 신호를 표면탄성파로

전달시켜 기인된 또 다른 전기적인 파를 감지하는 구조로 발전한 것 중의 하나가 표면탄성파 필터이다.[3~5] 표면탄성파 필터는 전극의 기하학적인 구조에 의하여 주파수 특성이 결정되기 때문에 빗살 무늬 변환기(Interdigital Transducer : IDT)의 전극 구조로 원하는 주파수 특성을 얻기 위해서 변수들의 최적화가 중요하다.[6~8]

표면탄성파 필터의 부피는 유전체 필터의 1/20, 적층형 필터의 1/10에 불과하므로 소형화되어 가는 이중 통신 단말기에 적합한 부품이다. 그러나 소형, 경량, 저전력화 등의 특성을 갖는 표면탄성파 필터는 통신용 대역통과 필터로서 가장 각광 받고 있지만, 유전체 필터에 비하여 내(耐)전력성, 삽입 손실 및 설계상의 난점 등으로 인하여 상호 연관된 단계(Interstage)간의 대역 통과 필터로서 주로 사용되어 왔다. 그러나 최근 들어 일본과 독일에서 표

* Dept. of computer applied physics Semyung University

** 동양화학 중앙연구소 전자재료 연구실
접수일자 : 1998년 7월 16일

면탄성과 필터의 단점인 낮은 내전력성을 해결한 무선주파수(Radio Frequency)단 표면탄성과 필터 개발에 성공하므로써 유전체 필터 대신에 표면탄성과 필터를 채용하게 되었다[9~13] 이러한 필터는 삼입손실, 저지대역, 통과대역, 선택도 등은 직렬·병렬 공진기의 전기용량의 비와 두 공진기의 공명주파수 차에 의하여 주로 결정된다. 그리고 최근 단말기의 소형화로 인하여 표면탄성과 필터의 설계자들은 표면탄성과 필터의 내전력성이 강화된 필터를 개발하게 되었고, 이러한 필터를 개발하기 위해서는 전극의 구조 및 형태는 물론 재료에 대한 개발도 시급하다. 본 연구에서는 표면탄성과를 채택한 듀플렉서 필터의 설계 및 개발을 위해 모의 실험기(Simulator)를 제작하였으며, 이를 이용하여 듀플렉서 필터를 설계 및 개발하는데 실험실조건을 구하고자 하였다. 모의 실험기를 통해 얻은 자료를 이용해 듀플렉서 필터를 제작하였으며, 전극 재료는 Cu-Al(W 3%)합금을 이용하였고, 기판으로는 36° LiTaO₃(Lithium Tantalate)를 써서 기판 표면에 전극을 형성시켰다. 제작한 필터의 전체적인 구조는 일반적인 세라믹 공진기(Resonator)에서 이용되고 있는 사다리(Ladder)형 구조로서 직렬 공진기와 병렬 공진기의 형태로 구성하였다.

II. 설계 및 실험

II-1. 시료의 설계조건

표1은 사다리형 듀플렉서 필터를 개발하기 위하여 모의 실험에 사용될 기초자료를 얻기 위해 제작한 시료들의 설계조건을 보여주고 있으며, 표면 탄성과를 이용한 필터 설계이론[5~7,9]에 바탕을 두고 있다.

표 1. 이중통신 필터에 대한 설계 자료
Table. 1. Design data for duplexer filters.

Parameter	Device No					
	SI 1	SI 2	SI 3	SI 4	SI 5	SI 6
Wavelength of IDT of series resonator (μm)	4.76	4.76	4.76	4.76	4.76	4.76
No of IDT pairs of series resonator	150	150	150	150	100	100
Length of IDT aperture of series resonator (λ)	14	14	14	14	13	13
Reflector wavelength of series resonator (μm)	4.8	4.76	4.76	4.8	4.8	4.8
Wavelength of IDT of parallel resonator (μm)	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
No of IDT pairs of parallel resonator	40	40	40	40	80	80
IDT aperture width of parallel resonator (λ)	37	37	37	37	40	40
Reflector wavelength of parallel resonator (μm)	4.96	4.8	4.7	4.84	4.96	4.8
C _{series} /C _{parallel}	0.7	1	1	1	0.7	0.5
NO. of parallel-connected resonators	3	3	3	3	2	2
Reflector type	Short	Short	Short	Short	Strip	Strip

아울러 표1은 제작한 필터의 직·병렬 공진기를 형성하는 전극의 반부 주기, 쌍(Pairs) 및 구멍(Aperture)에 반사기(Reflector) 주기와 모양 등을 변화시킨 것이다.

표1에서 C_{series}/C_{parallel}는 직·병렬 공진기에 대한 전기용량의 비이며, 이들 조건을 바탕으로 각 시료의 특성을 분석하였다. 아울러 각각의 시료에 대한 개략적인 구조는 그림1과 같다.

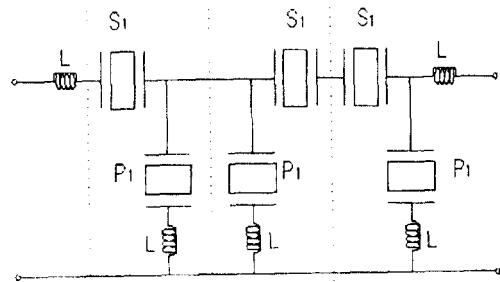


그림 1. 3단 기본 단계를 연결한 필터 구조
Fig. 1. Filter structure connecting three basic sections.

II-2. 실험

듀플렉서 필터를 개발하기 위한 모의 실험은 회로망 분석법을 이용하였다. 모의 실험에 사용될 기초자료를 얻기 위해 제작한 필터의 구조는 사다리 형태이며, 전극의 구성은 14λ와 13λ로 하였고, 전극의 개수는 150쌍(pairs)과 100쌍으로 하였다. 이때 λ는 기판에서 표면탄성과의 파장이다. 전극은 2,500Å 두께로 하였으며, 전극의 재질은 Al-Cu(W 3%)합금을 이용하였다. 그림 1부터 그림 6은 필터 제작함에 있어 전극의 두께를 2,500Å로 하여 제작 조건을 설정하기 위해 예비 실험한 자료의 일부를 소개한 것이며, 표1에 나타내어진 각 모델별 주파수 특성을 나타내고 있다.

그림 2는 표1에 나타낸 소자번호 M-1의 필터특성을 나타내고 있다.

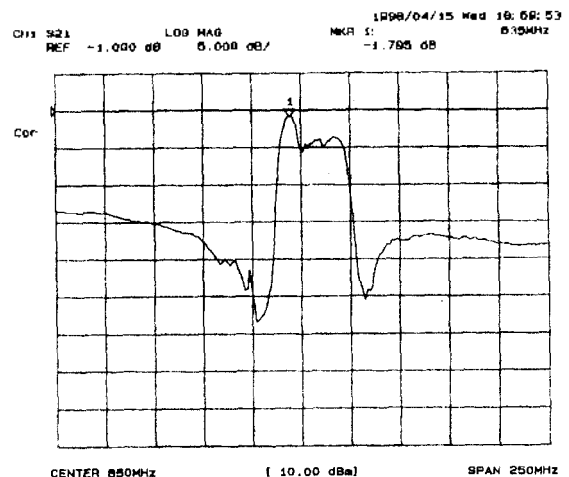


그림 2. M-1소자에서 측정된 주파수 응답
Fig. 2. Measured frequency response for the M-1 device.

이는 직·병렬 공진기에서 IDT 반복 주기와 반사기 파장의 설계 조건에서 반사기의 파장을 약간 크게 설정하였으며(표1참조), 병렬 형태(parallel-arm)를 한 공진기 전기용량(Cp)와 직렬형태(series-arm)의 공진기 전기용량(Cs)의 비를 0.7로 하여 측정된 것이다.

그림에서 보여주듯이 필터의 주파수 응답특성은 삽입 손실 -1.795dB, 저지대역은 -15dB임을 알 수 있으며, 측정된 필터의 특성에서 삽입손실은 설계조건을 만족하나, 저지대역은 듀플렉서 필터에 적합하지 않으며, 통과 대역에서 불필요한 리플이 나타나고 있음을 볼 수 있다.

그림 3은 소자번호 M-2의 필터 특성을 나타내고 있다.

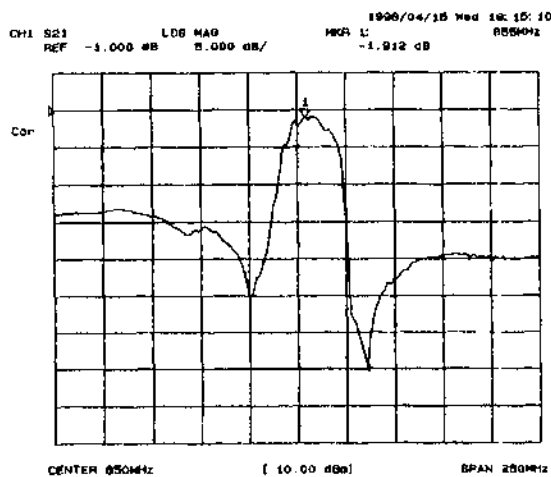


그림 3. M-2소자에서 측정된 주파수 응답
Fig. 3. Measured frequency response for the M-2 device.

그림 3의 결과는 그림 2에 비해 직렬 공진기에서 IDT 반복 주기와 반사기 파장의 설계 조건에서 이들을 동일하게 설계하고, 병렬 공진기에서 IDT 반복 주기와 반사기 파장의 설계 조건에서 후자를 작게 설정하였다. 아울러 전기용량(Cp)와 직렬형태(series-arm)의 공진기 전기용량(Cs)의 비를 1로 하여 측정된 것이다. 그 결과 통과 대역의 불필요한 리플은 현저하게 제거되었으나, 삽입손실은 대략 -1.9dB로서 만족할 만한 결과를 얻지 못하였다. 이러한 실험 결과로 미루어 통과 대역에서의 불필요한 리플은 병렬 공진기에서 IDT 반복 주기와 반사기 파장의 비를 조절할 수 있음을 시사하며, 통과대역의 삽입손실은 직렬 공진기에서 IDT 반복 주기와 반사기 파장의 비를 조절하므로써 설계조건을 만족할 수 있음을 추론할 수 있다.

그림 4은 소자번호 M-3의 필터 특성을 나타내고 있다.

이 결과는 그림 3과 비교해 볼 때 직렬 공진기 조건은 동일하게 설정했지만, 병렬 공진기 조건 중 반사기 파장만을 약간 더 크게 설계하므로써 삽입손실을 최소로 하고, 통과 대역내의 불필요한 잡음(spurious)을 없애려 하였다. 그 결과 그림에 나타난 바와 같이 삽입손실은 -0.205dB로서 매우 우수한 특성을 보이고 있으며, 통과대역의 리

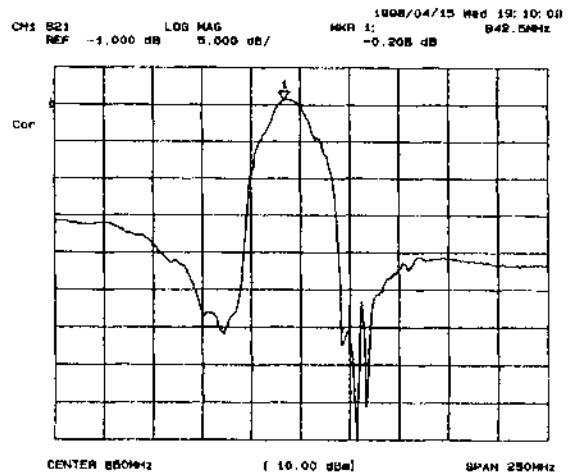


그림 4. M-3소자에서 측정된 주파수 응답
Fig. 4. Measured frequency response for the M-3 device.

플 역시 나타나지 않고 있다. 그러나 저지대역에서 약간의 리플이 발생하는 것을 볼 수가 있다.

그림 5는 소자번호 M-4의 필터 특성을 나타내고 있다.

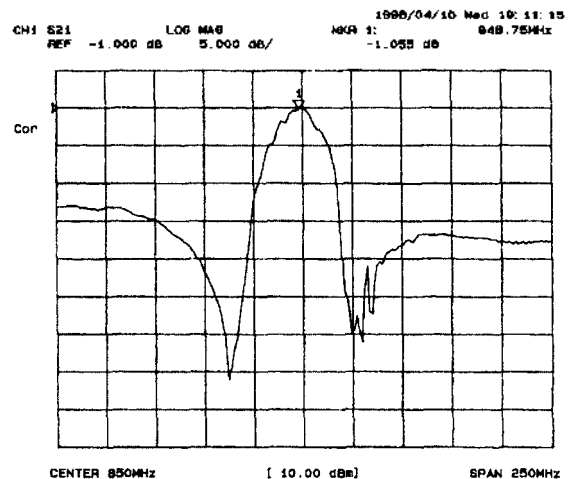


그림 5. M-4소자에서 측정된 주파수 응답
Fig. 5. Measured frequency response for the M-4 device.

이 그림은 그림 3과 비교해 볼 때 직·병렬 공진기 조건 중 반사기 파장들을 약간 더 크게 설계하므로써 최적화를 꾀하였다.

그러나 직렬 공진기 반사기와 IDT의 반복 주기가 일치하지 않는 관계로 인하여 M-3의 소자에 비하여 약간 삽입 손실이 크게 나타났다. 그러나 통과 대역에서의 리플은 나타나지 않고 있다.

그림 6은 소자번호 M-5의 필터 특성을 나타내고 있다.

이는 직렬 공진기에서 IDT 반복 주기와 반사기 파장의 설계 조건에서 반사기의 파장을 IDT 주기 보다 약간 크게 설계하므로써 음파의 반사를 최대화하였다. 그리고 이 소자는 다른 소자와 달리 반사기의 형태를 가늘고 긴 줄 형태로 설계하고, IDT 전극 수를 1(X)쌍으로 하였다. 또한,

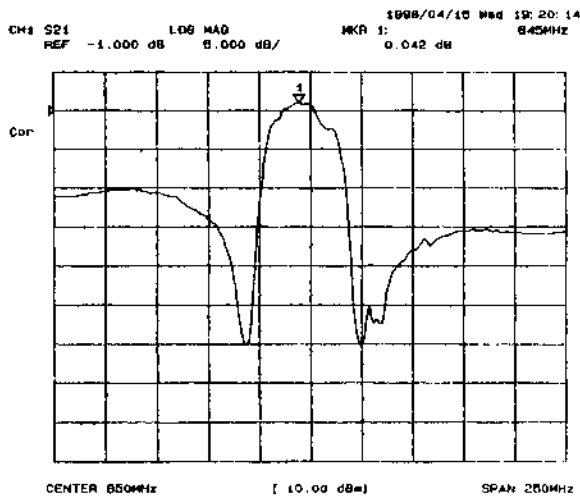


그림 6. M-5소자에서 측정된 주파수 응답
Fig. 6. Measured frequency response for the M-5 device

병렬 공진기에서 반사기 파장을 IDT 주기 보다 좀 더 크게 설계함으로써 음파의 반사를 최소화하였다. 이때 통과 대역의 리플은 비교적 작았고, 삽입손실 또한 특성이 우수하였다. 그림 7은 소자번호 M-6의 필터 특성을 나타내고 있다.

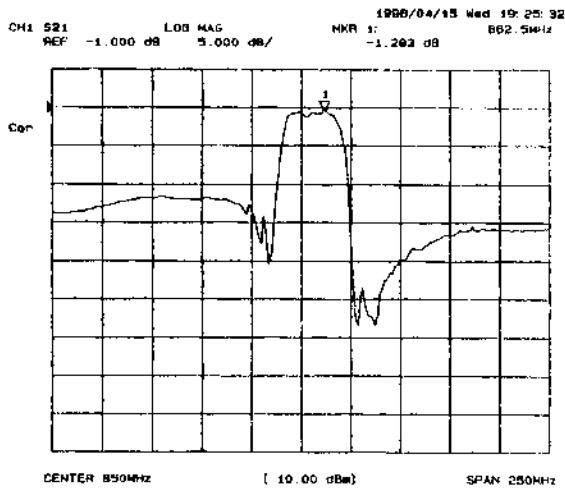


그림 7. M-6소자에서 측정된 주파수 응답
Fig. 7. Measured frequency response for the M-6 device.

이 결과는 공진기의 직렬 반사기는 IDT의 반복 주기보다 약간 크게 설계하였고, 병렬 반사기는 통과 대역의 리플을 제거하기 위하여 IDT 파장보다 약간 작게 설계하였다. 그러나 통과대역을 넓게 하기 위하여 전기용량의 비율 0.5로 하였다. 이때 통과 대역은 광대역으로 형성되었고, 삽입 손실 또한 -1.283dB로서 특성이 우수하였다. 그러나 저지대역은 20dB로서 설계조건에는 만족하나 약간 불안한 특성을 보이고 있다.

II-3. 모의 실험

앞선 실험자료의 설계 조건을 바탕으로 시료를 제작하여 모의 실험을 수행했으며, 직렬형태(series-arm)를 갖는 공진기와 병렬형태(parallel-arm)를 갖는 공진기의 결합으로 구성시켰다. 또한, 사다리형 공진기 필터의 중심주파수는 병렬형태의 공진기와 직렬형태의 공진기의 각각의 공명 주파수와 각각의 IDT 주기로서 조절하게 하고, 필터의 통과대역은 두 공진기의 중심주파수 차이로 형성되는 필터의 주파수 응답으로 통과 대역을 결정할 수 있도록 하였다. 이로써 필터의 주파수 응답의 통과대역은 각 IDT의 주파수 차이를 조절하므로써 원하는 주파수를 얻을 수 있다. 그러나 기본적으로 시스템에서 요구되는 주파수 응답의 저지대역은 -30dB 이하이므로, 단일 구역(section)으로 형성시킨 필터는 약 -10dB 이하의 저지대역 특성을 얻기가 어렵기 때문에 3단 구역을 갖도록 필터를 구성하였다. 3단 구역을 갖는 사다리형 필터의 형태를 그림 1에 나타내 바 있다.

그림 1에서 보여주는 바와 같이 필터의 구조는 직렬형태 공진기(S1)를 3단으로 연결하고, 각단마다 병렬형태의 공진기(P1)를 부착하는 방법을 택하였다. 아울러 그림 1에서 1은 필터 제작 공정(wire bonding)에서 야기되는 인덕턴스를 의미한다. 또한, 사다리형 필터의 저지대역은 구역(section) 수는 물론이고, 직·병렬형태의 공진기에 형성되는 전기용량 비와도 밀접한 관계가 있다. 직렬 공진기의 전기용량을 C_s 라하고 병렬 공진기의 전기용량을 C_p 라할 때 C_p/C_s 가 지을수록 같은 주파수 차에서 통과대역은 넓어지며, C_p/C_s 가 클수록 통과 대역은 좁아지고, 저지대역은 낮아지는 경향이 있다. 이러한 결과를 토대로 적절히 설계하면 통과 대역과 저지대역을 요구조건에 만족할 수 있는 필터를 제작할 수 있으며, 본 연구에서는 C_p/C_s 의 비율 1로 하였으며, 공진기의 주파수 차이를 40MHz로 하였다.

그림 8은 CDMA단말기 수신단의 836MHz 범위의 듀플렉서 필터를 설계하기 위한 최종 모의 실험결과를 나타내고 있다.

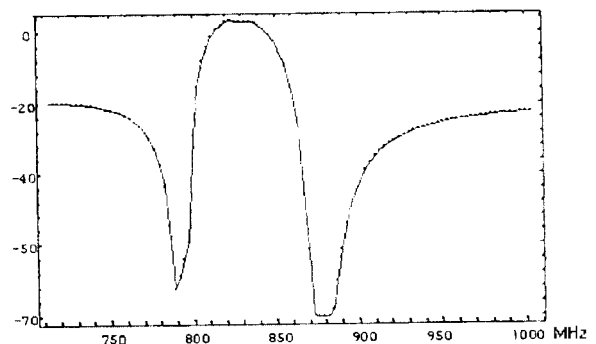


그림 8. 사다리형 구조에서의 계산된 주파수 응답
Fig. 8. Calculated Frequency Response of the Ladder Structure.

그림 8에서 보여 주듯이 통과대역은 25MHz 이고, 송신 주파수 영역을 차단하기 위한 수신 주파수 범위인 881 ± 15 MHz에서는 약 -30dB이하 저지대역 특성을 나타내고 있으며, 통과대역에서의 리플은 약 1dB이하로 측정되었다.

III. 필터 제작 및 고찰

모의 실험한 결과를 바탕으로 듀플렉서 필터의 패턴은 필터를 이루고 있는 IDT에 반사기는 전극이 가느다란 줄 (Strip) 모양과 단락(Short)된 형태의 전극이 결합된 모양으로 쌍을 형성하도록 설계하였다. 그리고 듀플렉서 필터의 전극 구조는 모의실험 단계에서는 3단 구조(그림 1참조)를 갖도록 구상하였으나, 모의 실험 자료를 검토한 결과 3단 구조를 약간 변형시킨 병렬 공진기 3개와 직렬 공진기 2개가 연결된 구조를 택하였다.

설계 조건에 의해 제작된 필터에서 적절한 통과 대역을 얻기 위하여 직렬로 연결된 공진기의 전극 주기는 $4.76 \mu\text{m}$ 이고, 전극 수는 150쌍이고, 반사기 개수는 100개, 구경은 14λ 로 설계하였으며 반사기는 단락시켰다.

그리고 병렬로 연결된 공진기의 전극 주기는 직렬과 달리 $4.90 \mu\text{m}$ 이고, IDT 전극 수는 40 쌍이며, 반사기 개수는 100개이며 구경은 37λ 로 설계하였으며, 반사기 모양은 가느다란 줄 형태로 구성하는 방법을 택한 것이 다르다. 여기서 직렬 공진기를 2개로 제작한 필터의 총전기용량이 병렬 공진기를 3개로 연결한 필터의 전기용량과 같도록 제작하였다.

그림 9는 병렬로 연결시켜 제작한 듀플렉서 필터의 전극 구조를 나타내고 있다.

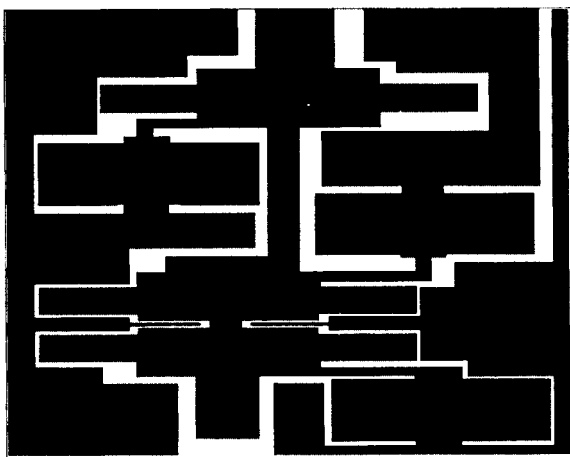
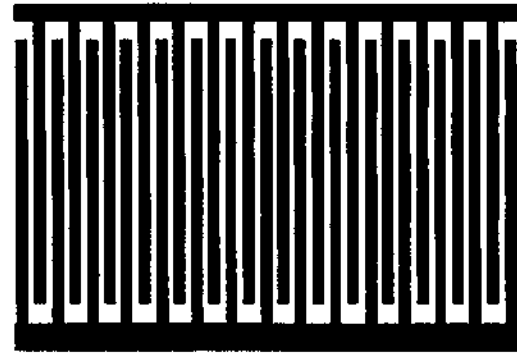


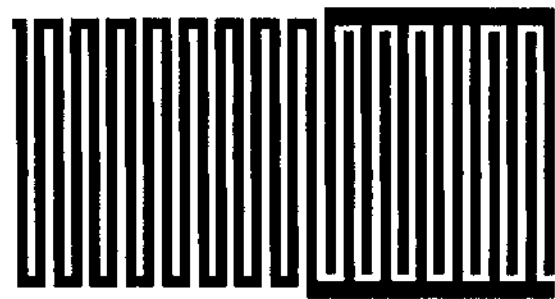
그림 9. 단락된 반사기를 갖는 3단 병렬공진기로 구성된 이중통신 필터의 전극모양

Fig. 9. Configuration of the duplexer filter consisting of three parallel-ann resonators with shorted reflectors.

그림 10(a), (b)는 제작한 듀플렉서 필터의 IDT pattern과 가느다란 줄 형태와 단락된 모양의 전극을 결합시킨 반사기를 나타내고 있다.



(a)



(b)

그림 10. (a)이중통신필터의 IDT 형성

(b)이중통신 필터의 반사기 형성

Fig. 10. (a) IDT pattern for the duplexer filter, (b) Reflector pattern for the duplexer filter.

그림 11, 12에서는 모델별 소자의 실험을 토대로 제작한 836MHz의 수신단과 881MHz의 송신 단의 필터 특성을 보이고 있다.

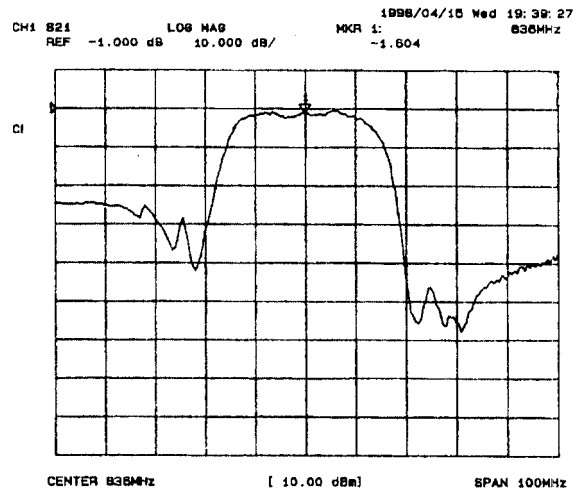


그림 11. 중심주파수 836MHz를 갖는 필터에서 측정된 주파수 응답

Fig. 11. Measured frequency response for the filter with the center frequency of 836MHz.

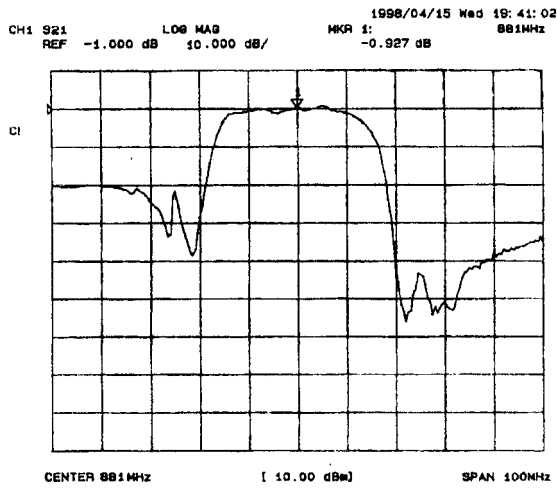


그림 12. 중심주파수 881MHz를 갖는 필터에서 측정된 주파수 응답

Fig. 12. Measured frequency response for the filter with the center frequency of 881MHz.

이는 공진기의 직렬 반사기는 IDT의 주기보다 약간 크게 설계하여 삽입손실을 최대한 줄이고, 통과대역의 필터 특성을 보이기 위하여 직렬 공진기의 중심주파수와 병렬 공진기의 중심주파수 차를 30MHz로 하였다. 송·수신단의 중심주파수는 836MHz와 881MHz였고, 통과 대역은 각각 25MHz이상으로 측정되었다. 통과 대역에서 리플은 2.0dB로 측정되었다. 듀플렉서로서 응용하기 위한 저지대역은 각각 -30 ~ -40dB이하로 측정되어 듀플렉서 필터로서 응용하기에 문제점이 없을 것으로 사료된다. 그러나 듀플렉서 필터의 특성 중 내전력성이 4W 이상을 요구되므로 이에 관해서는 계속 보완할 계획이다.

IV. 결 론

일반적으로 설계된 표면탄성과 필터의 특성은 매우 우수한 필터 특성을 가지고 있음에도 불구하고, 표면 탄성과 필터가 갖는 낮은 내(耐)전력성으로 인하여 듀플렉서 필터의 제작에는 적합하지 않은 단점을 가지고 있었다.

따라서 본 논문에서는 표면탄성과 특성을 이용한 듀플렉서 필터를 제작함에 있어 표면탄성과 필터의 단점보완을 위한 연구의 일환으로 직렬과 병렬 공진기로 결합된 사다리형 표면 탄성과 공진기 필터의 설계 및 제작을 위한 모의 실험기를 제작하였으며, 이를 이용한 예비실험을 통하여 제작 조건을 구하였다. 그리고 제작한 사다리형 필터의 진폭 구조에서 구경은 14 λ 와 13 λ 로 하였으며, 진폭 갯수는 150쌍과 100쌍 등으로 하였다(표1 참조). 모의 실험시 설계조건은 필터의 중심 주파수는 836.5 MHz이고, 통과대역은 25MHz 이상이며, 저지대역은 -30dB 이하이다. 전극의 두께는 2.500 λ 으로 했으며, 전극의 재질은

Al-Cu(W 3%)합금을 이용하였다.

모의 실험한 예비실험 자료에 의해 제작된 필터의 삽입손실은 일반적으로 알려진 공진기 이론에서와 같이 직렬 공진기의 IDT 반복 주기보다 반사기의 파장을 약간 크게 설계함으로써 진폭에서 음파의 반사가 증가하였으며, 삽입손실은 최소가 되었다. 그리고, 각각의 공진기에 의한 공명주파수 차이는 필터의 통과 대역을 형성하며, 통과대역의 불필요한 잡음(spurious)은 직렬 공진기의 IDT 반복주기와 반사기의 파장과와 관계에 의하여 생기는 영향임을 알 수 있었다. 따라서 이를 제거하기 위해 병렬 공진기의 IDT 반복 주기보다 반사기의 파장을 약간 작게 설계하였다. 또한, 직렬한 통과대역과 저지대역을 형성하기 위하여 직렬 공진기와 병렬 공진기의 주파수 차이를 30MHz로 했으며, 30dB의 저지대역을 위하여 두 공진기의 전기용량의 비를 1로 하였을 때, 본 연구의 조건을 만족 하는 중심 주파수를 얻었다.

제작한 필터의 송·수신 단의 중심주파수는 836MHz와 881MHz이고, 통과대역은 25MHz 이상, 저지대역은 30dB 이하로 측정되므로, 듀플렉서 필터로서 응용하기에 문제점이 없을 것으로 사료된다. 이러한 결과로서 개발된 듀플렉서 필터와 기지국용 필터는 리플을 보완하면, 실용화할 수 있을 것으로 판단되며, WLL(Wireless Lan) 기지국용 IF 필터에도 응용할 수 있을 것으로 추측된다.

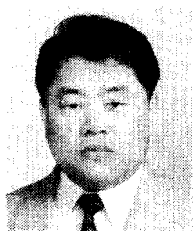
참 고 문 헌

1. O. Ikata, Y. Satoh, H. Uchishiba, H. Taniguchi, "Development of Small Antenna Duplexer Using SAW Filter for Handheld Phone," Ultrasonic Symposium, pp.111-114, 1993.
2. M. Hikita, N. Shibagaki, "Design Methodology and Synthesis Techniques for Ladder Type SAW Resonator Coupled Filters," Ultrasonic Symposium, pp.15-24, 1993.
3. Richie, Samuel Marcellus, A Design Automation System for Surface Acoustic Wave Filters Using Bidirectional Transducers, Ph. D Thesis, University of Central Florida, 1989.
4. Donald C. Malocha, and Carlton D. Bishop, "The Classical Truncated Cosine Series Functions with Applications to SAW Filters," IEEE Trans. UFFC, Vol. UFFC-34, No.1, pp.75-85, 1987.
5. Samuel M. Richie, Benjamin P. Abbott, and Donald C. Malocha, "Description and Development of a SAW Filter CAD System," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. 36, No. 2, pp. 456-466, 1988.
6. Clinton S. Hartmann, Delamer T. Bell, Jr., and Ronald C. Rosenfeld, "Impulse Model Design of

Acoustic Surface-Wave Filters," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-21, No. 4, pp. 162-175, 1973.

7. George L. Matthaci, "Acoustic Surface-Wave Transversal Filters," IEEE Trans. Circuit and Theory, Vol. CT-20, No. 5, pp. 459-470, 1973.
8. Roger H. Tancrell, "Analytic Design of Surface Wave Band pass Filters," IEEE Trans. Sonics Ultrason., Vol. SU-21, No. 1, pp. 12-22, 1974.
9. M. Hikita, H. Kojima, T. Tabuchi, and Y. Kinoshita, "800MHz High Performance SAW Filter Using New Resonant Configuration," IEEE Trans. Microwave Theory Tech. MTT-17, 510, 1985.
10. T. Uno and H. Jumonji, "Optimization of quartz SAW resonator structure with groove gratings," IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics, Vol. SU-30, pp.299- 310, 1982.
11. Colin Campbell, Surface Acoustic Wave Devices and Their Signal Processing Application, Academic Press, 1989.
12. T. Thorvaldsson, B. P. Abbott, "Low Loss SAW Filters Utilizing the Natural Single Phase Unidirectional Transducer(NSPUDT)," Ultrasonic Symposium, pp.43-48, 1990.
13. Gerhard Fischerauer, Bernhard Bader, Peter Russer, and Robert Weigel, "Design of Mobile Phone IIDT-Type SAW Filters with Block-Like Distribution of Transducers," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. 42, No. 7, pp. 1380-1386, 1994.

▲유 일 현(Ilhyun You)



1954년 2월 28일생
 1991년 2월 22일 : 인하대학교 대학원
 응용물리학과 공학
 박사
 1992년 3월~현재 : 세명대학교 컴퓨터
 응용 물리학과 조교
 수

* 관심분야 : 이동통신용 SAW필터, 수정 진동자

▲권 희 두(Heedoo Kwon)

현재 : 동양화학 중앙연구소 전자재료 연구실
 (Vol. 14, No. 4, 1995, pp. 64 참조)