

마이크로 스트립라인 집중소자를 이용한 일체형 탄성표면파 듀플렉서 필터의 최적설계

Optimal Design of a One-chip-type SAW Duplexer Filter Using Micro-strip Line Lumped Elements

이 승 희*, 이 영 진*, 노 용 래**
(Seunghee Lee*, Youngjin Lee*, Yongrae Roh**)

*경북대학교 센서공학과, **경북대학교 기계공학부

(접수일자: 2001년 1월 11일; 수정일자: 2001년 3월 2일; 채택일자: 2001년 3월 19일)

기존의 탄성표면파 듀플렉서 필터는 1/4 파장 전송선로를 이용한 격리회로를 이용하기 때문에 패키지 상에 스트립 라인을 구성하는 제작상의 어려움이 있다. 송수신 필터와 격리회로를 따로 제작하여 조립하기 때문에 제작공정 또한 복잡하다. 본 연구에서는 격리회로가 송신용, 수신용 필터와 함께 하나의 단일 칩 위에 위치할 수 있는 새로운 형태의 탄성표면파 듀플렉서 필터를 설계하였다. 이러한 형태의 듀플렉서를 구성하기 위하여, 개별 탄성표면파 사다리꼴 필터와 집중소자인 인덕터와 캐패시터로 구성되는 격리회로망을 설계하였고, 듀플렉서의 전체 성능을 최적화할 수 있는 적절한 목표함수를 세워, 이를 비선형 다차원 최소화 방법을 통하여 최적화하였다. 그 결과 상용제품보다 더 우수한 성능이 구현됨을 확인하였다.

핵심용어: 듀플렉서, 탄성표면파, 마이크로 스트립라인, 최적설계, 격리회로

투고분야: 초음파 및 탄성파 분야 (4,6)

Conventional SAW duplexer filters employ a 1/4 wavelength transmission line, which causes difficulty in fabrication of the strip line on the package. Its manufacturing process is also complicated, because it needs integrating process of the separate transmitting filter, receiving filter and isolation circuits. This paper concerns development of a new structure of the duplexer filter that has all the transmitting filter, the receiving filter and the isolation circuit as a one chip device. For composition of the duplexer, we design the component SAW ladder filters and the isolation network consisting of lumped inductor and capacitor elements. Performance of the whole duplexer is optimized by the nonlinear multivariable minimization of a proper target function, and the result is compared with that of commercial filters.

Keywords: Duplexer, SAW (Surface acoustic wave), Micro-strip line, Optimal design, Isolation circuit

Ask subject classification: Ultrasonic and Elastic Waves (4,6)

I. 서론

이동 통신 분야에서 핵심소자의 하나인 듀플렉서 필터 (duplexer filter)는 시스템과 안테나의 송수신회로를 사

이에 위치하여 송신과 수신사이에서 신호여과 및 진로를 결정해주는 역할을 하는 소자이다. 즉 송신용 (Tx), 수신용 (Rx) 2개의 대역통과 필터로 구성되어 송신, 수신 각각의 신호를 저손실로 통과시키고 이 밖의 신호는 감쇠시킨다. 듀플렉서 필터는 현재 코드분할다중접속방식 (CDMA: code division multiple access), 개인휴대통신 (PCS: personal communication system), 주파수공용무선통

책임저자: 이승희 (leesh@ultrasound.knu.ac.kr)
702-701 대구광역시 북구 산격동 1370
경북대학교 대학원 센서공학과
(전화: 053-943-8716; 팩스: 053-950-6827)

신 (TRS: trunked radio system), 무선가입망 (WLL: wireless local loop), 유럽형 디지털 이동전화 방식 (GSM: global system for mobile telecommunication), 미국형 아날로그 이동전화방식 (AMPS: advanced mobile phone system), 일본형 디지털 이동전화규격 (PDC: personal digital cellular), 그리고 차세대 위성 개인통신서비스 UMTS (universal mobile telecommunication system), IMT-2000 (international mobile telecommunication)-2000) 등의 다양한 통신 규격에 사용되고 있다[1-3]. 탄성표면파 (SAW: Surface acoustic wave) 소자는 종래의 체적파 소자들에 비해 평면적인 구조를 가지므로 통상적인 반도체 공정 기법을 사용해 복잡한 회로를 표면에 쉽게 설계, 제작할 수 있고, 소자의 재현성이 우수하며, 양산이 용이하므로 제작 단가를 저렴하게 할 수 있고, 소형화가 용이하며, 한 소자에 대한 개발기술이 갖추어지면 다른 형태로의 개선 혹은 발전이 용이하다는 장점들을 가지고 있다.

이미 상용화된 탄성표면파 듀플렉서 필터는 그 격리회로로 분포소자인 1/4 파장 정합선로를 이용하기 때문에 패키지 상에 스트립라인을 구성하는 제작상의 어려움이 있다[2, 4-7]. 따라서 이러한 제작상의 번거로움을 해결하고 더 나은 성능의 듀플렉서 필터를 설계하기 위해서, 격리회로가 인덕터 및 캐패시터인 집중소자로 구성된 회로망의 형태이고, 하나의 기판 위에 격리회로가 송신용, 수신용 필터와 함께 위치하는 일체형 탄성표면파 필터를

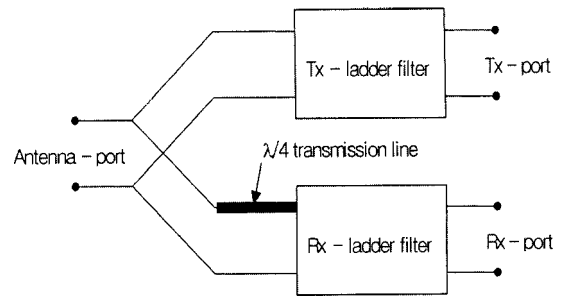
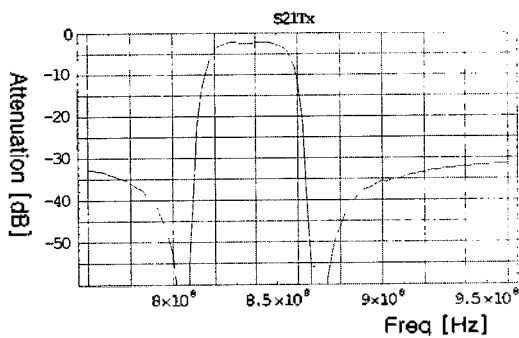


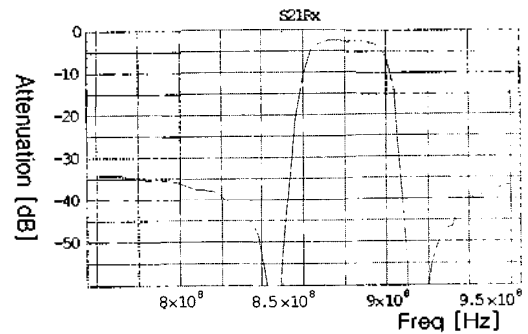
그림 1. 일반적인 듀플렉서 필터 구조
Fig. 1. General structure of a duplexer filter.

설계하고자 한다. 이러한 일체형 탄성표면파 듀플렉서 필터는 기존의 조립형 제품이 Tx 및 Rx 필터와 격리회로를 따로 제작하는 데에 비해, 한 번의 공정으로 제작이 완료되는 장점을 가지고 있고, 격리회로망 내에 있는 집중소자 값을 최적화함으로써, 듀플렉서 필터 전체 성능을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 격리회로망에서의 집중소자는 마이크로 스트립라인으로 구현할 수 있는데, 구체적으로 인덕터는 압전 단결정 기판 위에 나선형 (spiral type)이나 단순선로형 (flat wire type)의 전극을 형성시키고, 캐패시터는 IDT (interdigital transducer) 형태의 전극을 형성시킴으로써 구현 가능하다.

그 과정으로 먼저 송수신 대역을 각각 담당하는 사다리형 탄성표면파 필터를 설계하였고, 듀플렉서 필터의 구조로 가능성 있는 L-회로망 구조인 송신용 및 수신용 사다리형 탄성표면파 필터의 연결구조 두 가지를 제시하였다.



(a) Tx SAW ladder filter



(b) Rx SAW ladder filter

그림 2. 송수신용 사다리형 탄성표면파 필터의 전달특성
Fig. 2. Transfer characteristics of Tx and Rx SAW ladder filters.

표 1. 설계된 사다리형 탄성표면파 필터의 성능
Table 1. Performance of the SAW ladder filters.

필터 사양	삽입손실[dB]	중심 주파수[MHz]	-3 dB 대역폭[MHz]	통과대역 리플[dB]	저지대역 감쇠도[dB]	VSWR
Tx	1.919	838.0	28	0.409	35.5	2.14
Rx	2.303	874.0	24	0.242	40.2	2.14

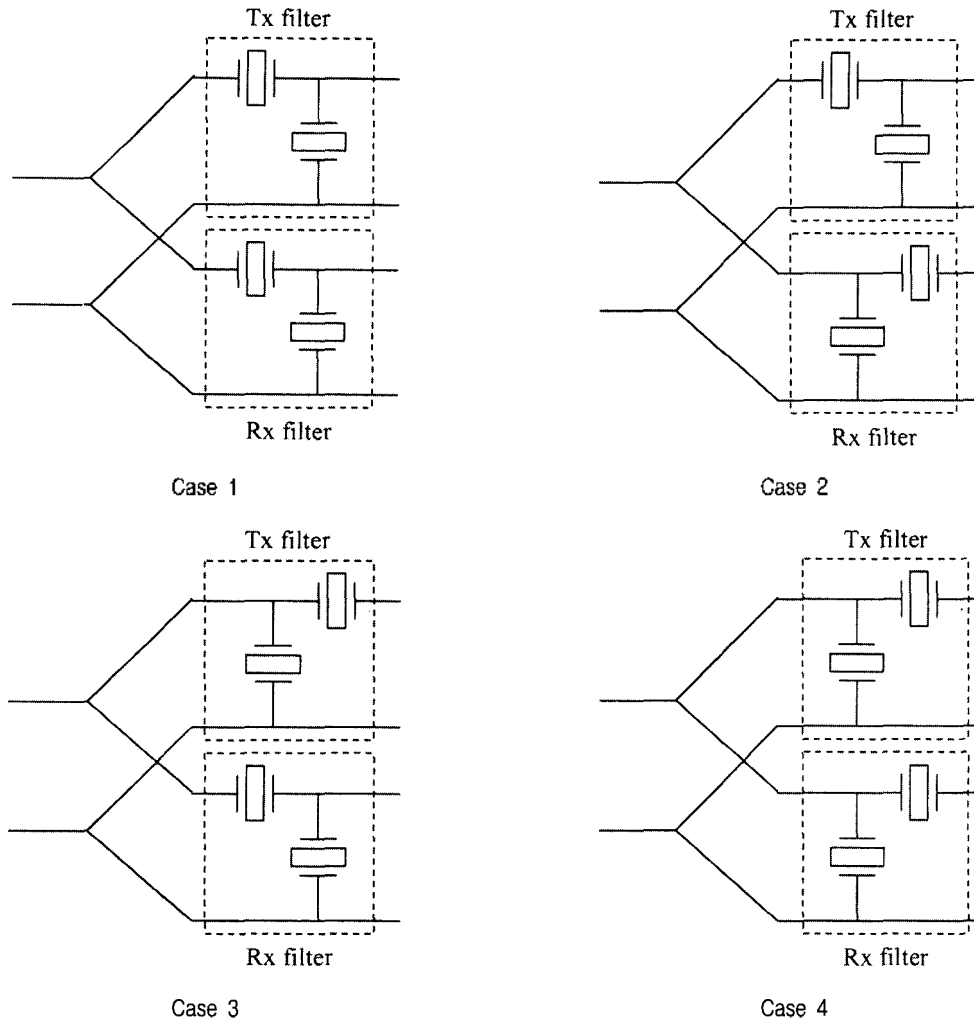


그림 3. 듀플렉서 필터를 구성하기 위한 사다리형 필터의 4가지 구조
 Fig. 3. 4 cases of ladder filter structures to compose the duplexer filter.

그리고 이 두 가지 연결구조에 대해서 각각 집중소자로 구성되는 탄성표면파 듀플렉서 필터의 격리회로의 최적 구조를 도출하였으며, 이 격리회로에서의 각각의 집중소자의 소자값을 비선형 다차원 최적화 방법인 Powell 알고리즘을 이용하여 최적화하였다. 그리고 이를 적용한 탄성표면파 듀플렉서 필터의 성능이 기존의 상용제품보다 우수함을 확인하였다.

II. 설계

2.1. 이론적 배경

듀플렉서 필터는 이웃한 두 주파수의 대역통과 필터 두 개로 구성된다. 일반적으로 높은 주파수의 필터는 수신용(Rx) 필터로서의 역할을 담당하고, 낮은 주파수의 필터는

송신용(Tx) 필터로서의 역할을 담당한다. 즉, 이웃한 두 주파수의 단품 사다리형 탄성표면파 필터 두 개를 좋은 성능이 가지게끔 구성하고, 이들을 그림 1과 같이 3단자쌍 회로망 구조로 연결함으로써 듀플렉서 필터로서의 역할을 기대할 수 있다. 하지만 단순히 이러한 조합만으로는 각각의 필터의 입력단에 미치는 임피던스 조건이 다르기 때문에 개별 필터의 성능이 제대로 구현되기 어렵다. 이를 해결하기 위해서 일반적으로 듀플렉서 필터 회로망 내부 또는 외부에 격리회로를 추가하는 방법을 사용하고 있다. 기존의 상용 탄성표면파 듀플렉서 필터는 Tx 필터를 T-회로망 형식으로, 그리고 Rx 필터를 π -회로망 형식으로 탄성표면파 공진기를 배열한 구조인 두 개 사다리형 필터로 3단자쌍 회로망을 구성하여 Tx 필터 통과대역특성의 왜곡을 미리 방지한 후에 그림 1과 같이 Tx 단 앞에 분포소자인 1/4 파장의 정합선로를 설치함으로써 Rx 필터 통과대역특성 왜곡을 최소화

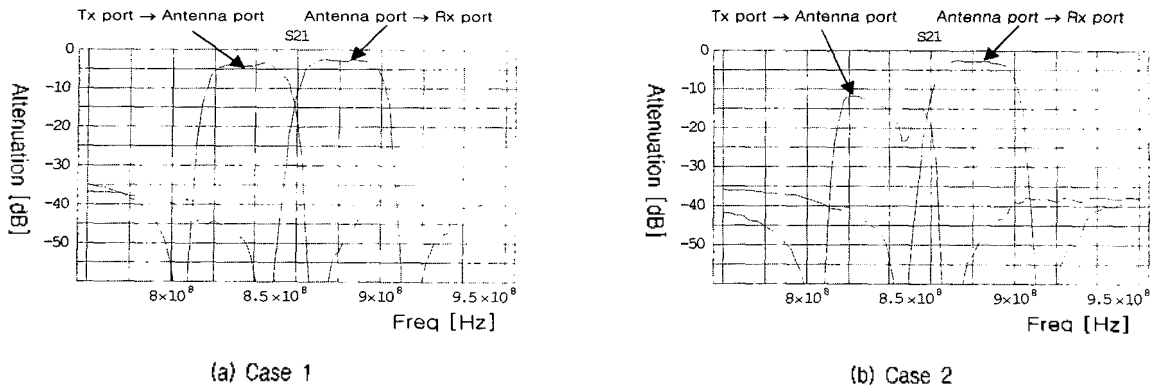


그림 4. 송수신 필터를 단순 연결한 탄성표면파 듀플렉서 필터의 성능
 Fig. 4. Performance of the SAW duplexer filter composed of simple connection of the Tx and Rx filters.

하는 방식을 취하고 있다[8].

서론에서도 언급하였듯이, 본 연구에서는 안테나 단, Tx 단, 또는 Rx 단 앞에 인덕터나 캐패시터인 집중소자를 포함하는 격리회로를 이용한 정합방법을 이용하고자 한다. 이때 격리회로망의 구조는 Tx 및 Rx 사다리형 필터의 연결 구조에 따라 달라질 수 있다. 그리고 격리회로에서 집중소자의 구현방법은 단일 압전기판 위에 온칩화라는 목적에 맞도록 마이크로 스트립라인 (micro-strip line) 집중소자를 이용하고자 한다[9]. 구체적으로, 인덕터는 단 순선로형 또는 나선형으로, 캐패시터는 IDT 형태로 구현하는 것이 용이하다.

2.2. 단품 사다리형 탄성표면파 필터 설계

현재 상용화되어 사용중인 탄성표면파 듀플렉서 필터는 주로 사다리형 탄성표면파 필터를 이용하고 있다. 사다

리형 탄성표면파 필터는 형상도가 좋고, 삽입손실이 작으며, 주로 고주파용으로 사용된다. 먼저 사다리형 탄성표면파 필터 해석 프로그램을 작성하였다. 이 해석 프로그램은 Smith 등가회로 해석법과 전송선로 이론에 기초를 두고 있다. 그리고 이를 이용하여 탄성표면파 듀플렉서 필터의 구성 요소가 될 사다리형 탄성표면파 필터를 설계하였다. 구체적으로 본 연구에서는, CDMA Rx 및 Tx 용 필터 사양을 만족하도록 사다리형 탄성표면파 필터의 설계변수를 최적화하였다. 사다리형 탄성표면파 필터의 최적화 방법은 참고분헌 [10]에서 자세히 소개하고 있다. 이때 사용된 압전기판은 36° YX LiTaO₃ 이고, 직렬 및 병렬 공진기의 조합이 3 쌍인 사다리형 필터의 구조로 정하였다. 이러한 방법으로 설계되어진 사다리형 탄성표면파 필터의 전달특성과 성능을 Tx 필터와 Rx 필터에 대해 그림 2와 표 1을 통해 나타내었다.

표 2. 격리회로망 A, B, C들의 필요조건
 Table 2. Necessary conditions for the isolation networks A, B, and C.

At Tx-passband	
Z _A	<ul style="list-style-type: none"> • $Z_{A11} \approx Z_{A22} \approx Z_{A12}$ and $Z_{A11} \geq Z_{A22}$ • $\text{Im}\{Z_{A11}\}$과 $\text{Im}\{Z_{A22}\}$가 동일 부호 • $\text{Im}\{Z_{A11}\} > 0, \text{Im}\{Z_{A22}\} > 0$
Z _B	<ul style="list-style-type: none"> • $Z_{B11} \approx Z_{B22} \approx Z_{B12}$ and $Z_{B11} \leq Z_{B22}$ • $\text{Im}\{Z_{B11}\}$과 $\text{Im}\{Z_{B22}\}$가 동일 부호 • $\text{Im}\{Z_{B11}\} > 0, \text{Im}\{Z_{B22}\} > 0$
Z _C	<ul style="list-style-type: none"> • $Z_{C12} \approx 0, \text{Im}\{Z_{C11}\} < 0, \text{Im}\{Z_{C22}\} < 0$
At Rx-passband	
Z _A	<ul style="list-style-type: none"> • $Z_{A11} \approx Z_{A22} \approx Z_{A12}$ and $Z_{A11} \geq Z_{A22}$ • $\text{Im}\{Z_{A11}\}$과 $\text{Im}\{Z_{A22}\}$가 동일 부호 • $\text{Im}\{Z_{A11}\} > 0, \text{Im}\{Z_{A22}\} > 0$
Z _B	<ul style="list-style-type: none"> • $Z_{B12} \approx 0, Z_{B11} < 0, Z_{B22} < 0$
Z _C	<ul style="list-style-type: none"> • $Z_{C11} \approx Z_{C22} \approx Z_{C12}$ and $Z_{C11} < Z_{C22}$ • $\text{Im}\{Z_{C11}\}$과 $\text{Im}\{Z_{C22}\}$가 동일 부호 • $\text{Im}\{Z_{C11}\} > 0, \text{Im}\{Z_{C22}\} > 0$

* $\text{Im}\{ \}$ 은 허수부, 즉 리액턴스

2.3. 사다리형 탄성표면파 필터의 듀플렉서 연결방법 결정

2.1 절의 설명처럼 탄성표면파 공진기를 직렬과 병렬로 연결한 L-회로망 또는 이를 3쌍 직렬 연결한 구조로 사다

표 3. 격리회로망 A, B, C가 가지는 수정된 필요조건
 Table 3. Modified necessary conditions for the isolation networks A, B, and C.

At Tx-passband	
Z _A	<ul style="list-style-type: none"> • $\text{Im}\{Z_{A11}\} = \text{Im}\{Z_{A22}\} = \text{Im}\{Z_{A12}\} \approx 70$ • $\text{Im}\{Z_{B11}\} = \text{Im}\{Z_{B22}\} = \text{Im}\{Z_{B12}\} \approx 0$ • $\text{Im}\{Z_{C11}\} \approx -50$, and $\text{Im}\{Z_{C22}\} = \text{Im}\{Z_{C12}\} \approx 0$
At Rx-passband	
Z _A	<ul style="list-style-type: none"> • $\text{Im}\{Z_{A11}\} = \text{Im}\{Z_{A22}\} = \text{Im}\{Z_{A12}\} \approx \infty$ • $\text{Im}\{Z_{B11}\} \approx -300$, and $\text{Im}\{Z_{B22}\} = \text{Im}\{Z_{B12}\} \approx 0$ • $\text{Im}\{Z_{C11}\} = \text{Im}\{Z_{C22}\} = \text{Im}\{Z_{C12}\} \approx \infty$

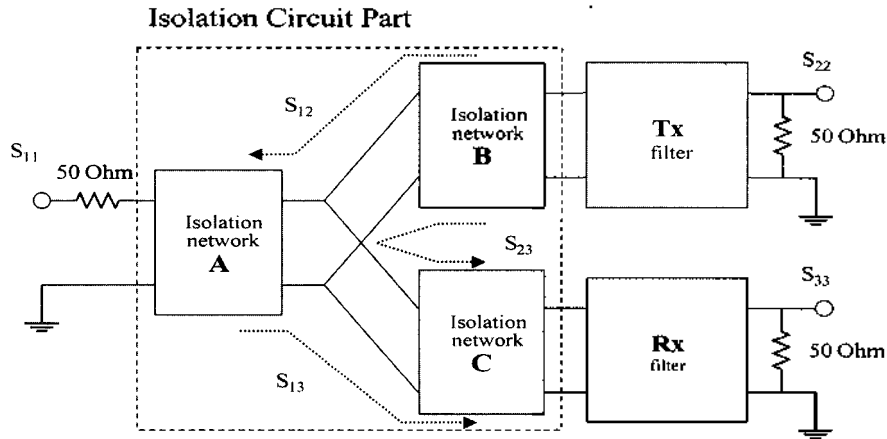


그림 5. 격리회로망 A, B, C를 포함한 전체 듀플렉서 필터의 개략도
 Fig. 5. Schematic structure of the whole duplexer filter with the isolation networks A, B, and C.

리형 필터를 구성하는데, 이러한 구조는 좌우 비대칭이므로, 듀플렉서 필터 구성 시에 Tx 및 Rx 각각의 연결방향에 따라 듀플렉서 필터 전체 성능이 달라지고 구성할 격리회로의 구조도 달라진다. 그 이유는 L-회로망을 들여다보는 방향에 따라 임피던스 특성이 다르기 때문이다. 듀플렉서 필터의 연결구조는 그림 3과 같이 Tx 및 Rx 사다리형 필터 각각의 배열 방향에 따라 모두 4가지의 조합이 있을 수 있다. 듀플렉서 필터가 우수한 전달특성을 가지기 위해서는, 먼저 Tx 필터의 통과대역 내에서 안테나 단과 Tx 단으로 들여다 본 임피던스가 각각 $50 + j \cdot 0 [\Omega]$ 이고 Rx 단으로 들여다 본 임피던스가 매우 커야하고, 동시에 Rx 필터의 통과대역 내에서는 안테나 단과 Rx 단으로 들여다 본 임피던스가 각각 $50 + j \cdot 0 [\Omega]$ 이고 Tx 단으로 들여다 본 임피던스가 매우 커야한다. 본 연구에서는 이러한 임피던스 조건을 만족시킬 가능성이 높은, 즉 듀플렉서 필터로 구성시에 나타나는 성능열화에 대한 보상을 쉽게 할 수 있는 듀플렉서의 2가지 연결 구조, case 1과 case 2를 채택하고, 이러한 구조를 가지는 듀플렉서 필터를 설

계하였다. 3. 1 절에서 설계한 송수신용 사다리형 탄성표면파 필터를 가지고 case 1과 case 2의 3 단자쌍 회로망 형태로 단순 연결하였을 때의 전달특성을 그림 4에 나타내었다. 두 경우 모두 Rx 필터의 통과대역의 특성열화가 작아서, 듀플렉서로서의 구현이 가능성이 높다고 할 수 있다.

2.4. 듀플렉서 필터용 격리회로의 구조 도출

탄성표면파 듀플렉서 필터의 격리회로 구조를 유도하기 위한 기초 변화경향을 파악하기 위하여, 그림 5와 같이 Tx와 Rx 필터와 미지의 격리회로망 A, B, C 세 부분을 두고, 각각의 격리회로망 A, B, C의 회로망 함수의 변화에 따른 Tx 및 Rx 통과대역에서의 전달함수 값의 변화경향을 조사하였다. 구체적으로 설명하면, Tx 필터 및 Rx 필터 외부 단의 입력 임피던스 (50Ω)가 주어졌을 때, 격리회로망 A, B, C 각각의 임피던스 파라미터 ($Z_{A11}, Z_{A12}, Z_{A22}, Z_{B11}, Z_{B12}, Z_{B22}, Z_{C11}, Z_{C12}, Z_{C22}$)를 미지수로 두고 각각을 변화시켜서 듀플렉서 필터 전달특성 ($S_{11}, S_{22}, S_{33}, S_{12}$,

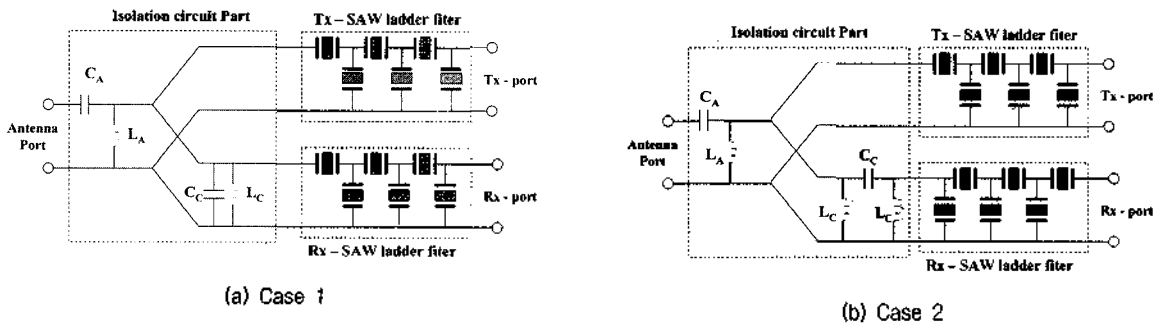


그림 6. 본 연구에서 설계한 듀플렉서 필터 최적구조
 Fig. 6. Optimal structure of duplexer filter under study.

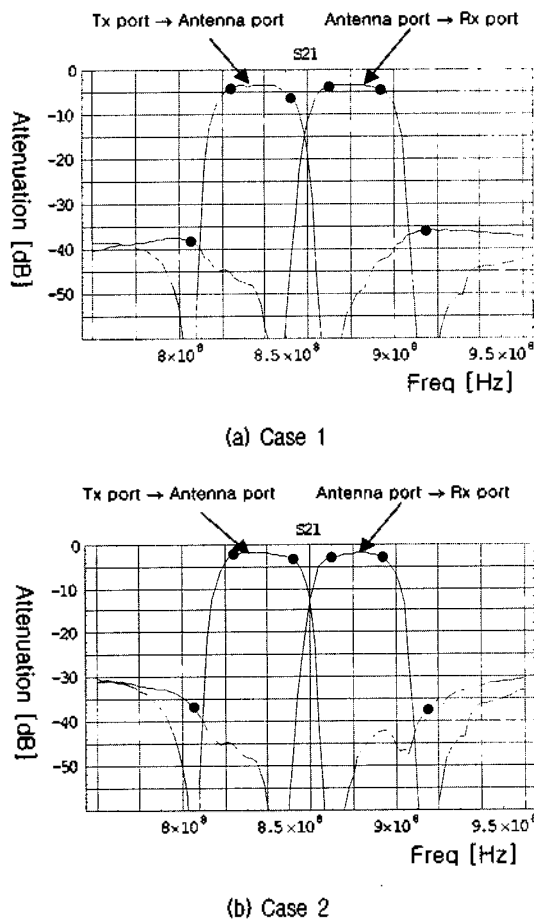


그림 7. 최적 설계된 탄성표면파 듀플렉서 필터의 주파수 특성
 Fig. 7. Frequency response of the optimal SAW duplexer filter.

S_{13} , S_{23} 의 변화경향을 파악하였다. 이 때 주파수는 Tx 또는 Rx 통과대역 내에서의 특정 주파수로 고정하였고, 변화경향분석 시간을 단축시키기 위해서 탄성표면파 공진기의 해석 방법은 집중소자 등가회로 (lumped element equivalent circuit) 해석법을 이용하였다.

이러한 변화경향파악을 기초로 하여, 그림 3의 case 1과 case 2를 대상으로 한 Tx 및 Rx 필터 각각의 통과대역 주파수에 대해서 격리회로망 A, B, C가 가지는 필요조건을 유도하였다. 유도한 조건을 표 2에 표시하였다. 구체적으로, Tx와 Rx 통과대역 내의 특정 주파수에서 바람직한 듀플렉서 필터 전달특성 (S_{11} , S_{22} , S_{33} , S_{12} , S_{13} , S_{23})을 각각 가지기 위한 격리회로망의 임피던스 파라미터 조건을 찾고, 여섯 가지의 전달특성들의 조건을 동시에 만족하는 격리회로망의 조건의 공통된 부분을 취한 것이다. 그러나, 위에서 서로 독립적으로 구하여진 격리회로 A, B, C가 동시에 적용되어진다면, 듀플렉서 필터의 전달특성이 또 다시 왜곡되는 현상이 나타난다. 그래서 다음과 같은 두 가지 논리를 통하여 격리회로망을 수정, 단순화하였다. 첫

표 4. 탄성표면파 듀플렉서 필터 격리회로의 최적 소자 값
 Table 4. Optimal value of the isolation circuit elements in the SAW duplexer filter.

case 1		case 2	
C_A	8.76 pF	C_A	6.07 pF
L_A	1.10 nH	L_A	$\sim\infty$ (open)
C_C	26.9 pF	C_C	3.27 pF
L_C	$\sim\infty$ (open)	L_C	6.35 nH

째, 격리회로망의 구조가 하나의 집중소자가 병렬 삽입된 구조 ($Z_{11} \approx Z_{12} \approx Z_{13}$)이면, 격리회로망 A, B, C 위치에 상관없이 증가이다. 둘째, 각각의 격리회로망의 임피던스 파라미터 값을 결정하는 문제에 있어서 $\text{Im}[Z_{11}]$, $\text{Im}[Z_{22}]$, $\text{Im}[Z_{12}]$ 가 모두 매우 크면, 소자가 포함되어 있지 않은 2-단자쌍 회로망이거나 직렬 연결된 소자가 포함된 2-단자쌍 회로망이다. 이러한 논리를 이용하여, 격리회로망 A, B, C 각각의 최적 임피던스 파라미터 조건을 표 3과 같이 축소시켰다.

그런데, Tx와 Rx 통과대역 각각의 주파수에서의 격리회로망의 조건을 따로 유도하였으므로, 실제의 상황에 적용하려면 주파수에 의존하는 회로망의 형태로 바꾸어야 한다. 인덕터나 캐패시터를 이용하여 위에서 유도된 주파수에 따른 격리회로망의 임피던스 파라미터들간의 조건을 완전하게 만족하는 2-단자쌍 회로망 형태의 격리회로망을 합성한다는 것은 임피던스 파라미터들 간의 관계가 너무 복잡하기 때문에 사실상 불가능하다. 따라서 차수가 적은 버터워스 (Butterworth) 필터나 체비셰프 (Chebyshev) 필터와 같은 인덕터와 캐패시터로 구성되는 L-회로망이나 T-회로망, π -회로망, 또는 인덕터나 캐패시터의 간단한 조합으로 이루어진 임의의 2-단자쌍 회로망에서 격리회로망 조건을 가장 잘 만족하는 회로망의 형태를 찾는 방법으로 격리회로의 최종형태를 결정하였다.

이상과 같은 방법을 통하여 그림 3의 case 1과 case 2 형태의 듀플렉서 구조에 대해 유도한 격리회로의 구조를 그림 6에 나타내었다.

III. 최적화 및 성능 평가

3.1. Powell 알고리즘을 이용한 격리회로의 집중소자 값 최적화

이상의 방법을 통하여 유도된 격리회로는 Tx 및 Rx 필터의 세부적인 사양에 따라 격리회로내의 집중소자가 가

표 5. 최적 설계된 탄성표면파 듀플렉서 필터와 상용 제품[12]과의 성능비교

Table 5. Comparison of the performance of the optimal SAW duplexer filter in this paper with that of a commercial filter.

듀플렉서 필터 사양	삽입손실 [dB]	중심 주파수 [MHz]	-3 dB 대역폭 [MHz]	통과대역 리플 [dB]	저지대역 감쇠도 [dB]	VSWR	
case 1.	Tx	1.966	837.0	26	0.097	40.5	1.60
	Rx	2.078	881.0	26	0.423	44.8	1.85
case 2.	Tx	1.873	836.0	28	0.124	42.5	1.85
	Rx	1.947	884.0	24	0.000	45.2	1.86
상용 제품	Tx	2.300	836.5	25	1.000	40.0	1.90
	Rx	3.000	881.5	25	1.500	40.0	2.20

지는 값이 달라진다. 듀플렉서 연결구조 case 1과 case 2 에 대해서, 개별 필터의 사양에 따라 집중소자의 값을 최적화하여야 할 필요성이 있다.

본 연구에서는 이러한 집중소자 값을 최적화하는 방법으로, 먼저 그림 7과 같이 듀플렉서 전달특성에서 Tx와 Rx 각각의 통과대역과 저지대역내의 특정주파수를 정하고, 각각의 주파수에 대해서 통과대역의 전달계수는 최대화, 동시에 저지대역의 전달계수는 최소화하는 방향으로의 최적화 목표 함수 (cost function)를 설정하였다. 그리고 이 최적화 목표함수를 비선형 다차원 최적화 기법인 Powell 알고리즘을 이용하여 각각의 집중소자 값들을 최적화하였다[11].

이러한 방법으로 그림 6의 case 1과 case 2 듀플렉서 필터 구조에 대해, 3.1 절의 송수신용 사다리형 탄성표면파 필터를 대상으로 하여 최적화한 격리회로의 소자 값들을 표 4에 나타내었다.

3.2. 일체형 탄성표면파 듀플렉서 필터의 특성 평가

이상의 방법들을 이용하여 CDMA 사양의 개별 사다리형 탄성표면파 필터를 설계하고, 제시한 case 1과 case 2 구조에 대해 격리회로의 구조를 도출하고, 격리회로에서의 집중소자 값을 최적화하였다. 이 집중소자를 적용하였을 때 나타나는 듀플렉서 필터의 전체성능을 시뮬레이션 한 결과를 그림 7에 나타내었다. 그리고 기존의 상용제품[12]과 성능을 정량적으로 비교한 결과를 표 5에 나타내었다. 그 결과 기존의 1/4 파장 정합선로를 이용한 탄성표면파 듀플렉서 필터에 비해 삽입손실은 약 0.3 ~ 1.0 dB, 통과대역 내 리플은 약 0.8 dB 이상, VSWR (voltage standing wave ratio)은 0.35 ~ 0.45, 그리고 저지대역 감쇠도는 0.5 ~ 5.0 dB 정도의 성능향상을 이루었다. 또한 듀플렉서로 구성하기 이전의 단품 필터의 성능(표 1)과 비교하여 보면, 3 단자쌍 회로망 형태인 듀플렉서 연결 시에 나타나게 되는 성능 열화를 완전히 극복하였음을

알 수 있다.

IV. 결론

본 연구에서는 집중소자로 이루어진 격리회로를 가지는 새로운 형태의 일체형 탄성표면파 듀플렉서 필터의 구조를 도출하고, 그 최적 설계법을 개발하였다. 먼저 송수신 대역을 담당하는 사다리형 탄성표면파 필터를 설계하였으며, 사다리형 필터의 연결방법에 따라 가능성이 있는 두 가지 형태의 3 단자쌍 회로망 듀플렉서 연결 방법을 제시하였다. 그리고, 이 두 가지 연결방법을 각각 대상으로 하여, 격리회로망의 임피던스 파라미터 관계변화에 따른 듀플렉서 필터 전달특성 (S_{11} , S_{22} , S_{33} , S_{12} , S_{31} , S_{23})의 변화경향을 파악하여, 이를 토대로 격리회로가 가지는 최적의 회로망 구조를 도출하였다. 또한, 비선형 다차원 최적화 방법인 Powell 알고리즘을 이용하여 격리회로의 소자 값들을 최적화하였다. 그 결과 본 연구에서 개발한 형태의 듀플렉서는 기존의 탄성표면파 듀플렉서 보다 뛰어난 특성을 구현할 수 있음을 확인하였다. 또한 이를 통하여 본 연구에서 제시한 듀플렉서 전체 구조 및 최적 설계법이 타당함을 알 수 있었다.

본 연구에서 개발된 일체형 탄성표면파 듀플렉서 필터는 기존의 제품에 비해 제작 공정이 간단하다는 장점과 격리회로망 내에 있는 집중소자 값을 최적화하여 듀플렉서 필터 전체 성능을 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

향후 계획으로는 먼저 격리회로용 소자로 사용되어질 마이크로 스트립라인 집중소자를 해석, 설계하고자 한다. 구체적으로 인덕터는 압전 단결정 기판 위에 나선형이나 단순선로형의 전극을 형성시키고, 캐패시터는 IDT (interdigital transducer)형태의 전극을 형성시킴으로써 구현 가능할 것이다. 이러한 결과를 가지고, 특정 사양을 대상으로 한 탄성표면파 듀플렉서의 시작품을 제작하여 최적

화한 격리회로를 적용하였을 때의 성능을 평가하여 본 연구 결과인 최적설계 기술의 타당성을 실험적으로 검증하고자 한다.

참고 문헌

1. M. Hikita, N. Shibagaki, K. Asai, K. Sakiyama and A. Sumioka, "1.5 GHz SAW Miniature Antenna Duplexer Used in Personal Digital Cellular," *IEICE Trans. Electron.*, E79-C-5, 664-670, 1996.
2. O. Ikata, Y. Satoh, H. Uchishiba, H. Taniguchi, N. Hirasawa, K. Hashimoto and H. Ohmori, "Development of Small Antenna Duplexer Using SAW Filter for Handheld Phones," *IEEE Ultras. Symp. Proc.*, pp.111-114, 1993.
3. N. Shibagaki, K. Sakiyama and M. Hikita, "SAW Antenna Duplexer Module Using SAW-Resonator-Coupled Filter for PCN System," *IEEE Ultras. Symp. Proc.*, pp. 13-16, 1998.
4. H. Fukushima, N. Hirasawa, M. Ueda and H. Ohmori, "A Study of SAW Antenna Duplexer for Mobile Application," *IEEE Ultras. Symp. Proc.*, pp. 9-12, 1998.
5. O. Ikata, Y. Satoh, N. Hirasawa and H. Ohmori, "Duplexer Package," United States Patent, No. 5561406, 1996.
6. O. Ikata and Y. Satoh, "Duplexer Package," United States Patent, No. 5859473, 1999.
7. R. Weigel, K. Weigenthaler, R. Dill and I. Schropp, "A 900 MHz Ladder-type SAW Filter Duplexer," *IEEE MTT-S Digest.*, pp. 413-416, 1996.
8. O. Ikata, T. Nishihara and Y. Satoh, "A Design of Antenna Duplexer Using Ladder type SAW Filters," *IEEE Ultras. Symp. Proc.*, pp. 1-4, 1998.
9. S. Y. Liao, *Microwave Circuits Analysis and Amplifier Design*, Prentice-Hall Inc., Chap. 6, pp. 225-231, 1987.

10. 노용래, "사다리형 SAW 필터의 최적 설계", *한국음향학회지*, 18(1), 16-24, 1999.
11. W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling and B. P. Flannery, *Numerical Recipes in C : the art of scientific computing*, Cambridge University Press, Chap. 10, pp. 394-455, 1992.
12. Catalogue of Fujitsu, Japan, 2000.

저자 약력

● 이 승 희 (Seunghye Lee)



1997년 2월 영남대학교 금속 및 재료공학부 (공학사)
 1999년 2월 경북대학교 센서공학과 (공학석사)
 1999년 3월~현재 경북대학교 센서공학과 박사과정
 ※ 주관심분야: 표면탄성파소자, 압전세라믹소자

● 이 영 진 (Youngjin Lee)



1995년 2월 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년 2월 경북대학교 센서공학과 (공학석사)
 1999년 2월 경북대학교 센서공학과 박사과정 수료
 ※ 주관심분야: 표면탄성파소자, 초음파 트랜스듀서

● 노 용 래 (Yongrae Roh)

한국음향학회지 19권 7호 참조
 E-mail: yryong@knu.ac.kr