

Design SAW BPF Using 1Port Resonance Characteristic

崔丞完* · 孫暢晨** · 鄭明燮*** · 李澤周§ · 金炯碩§§ · 朴准奭† · 林在鳳§§§
 (Seung-Wan Choi · Chang-Sin Son · Myoung-Sub Joung · Taek-Ju Joung · Hyeong-Seok Kim · Jun-Seok Park · Jae-Bong Lim)

Abstract - In this paper, we proposed the newly design method for extracting of the saw resonator characteristic. For the parameters of the proposed equivalent model, we adjusted and optimized the variables of several functions. As verification of proposed method, we firstly designed and fabricated cellular saw resonator by using the proposed model resonator. As the simulated and measured results of the proposed design method are almost equaled, we confirmed the usefulness of this method. we knew the usefulness of this method. Finally we designed the 800MHz cellular Tx/Rx band pass filter by using this designed resonator.

Key Words : SAW(Surface Acoustic Wave) Resonator, K^2 (Coupling Coefficient), IDT(Inter Digital Transducer)

1. 서 론

최근 무선 통신시장은 전 세계적으로 급격히 발전하고 있다. 그 중 개인 휴대 이동통신의 경우 이러한 발전에 가장 핵심적인 부분을 차지한다. 이와 같은 이동통신 시스템의 발전은 점점 높은 주파수 대역으로 이동하고 있으며 시스템의 구성에 있어서 소형화와 경량화, 저가화, 집적화, 저 전력화, 및 모듈화의 필요성이 중요하게 되었다. 이러한 흐름에 맞추어 현재 이동통신 부품들은 SOP(System On Package), SOC(System On Chip)와 같이 One Chip Solution을 목표로 하고 있으며 안테나 및 전력 증폭기, 듀플렉서 등을 제외한 거의 모든 부품들이 이미 몇 개의 집적된 모듈로 개발되었으며 전력 증폭기와 듀플렉서를 모듈화시킨 PDM(Power amplifier and Duplexer Module)과 같이 집적화가 상대적으로 느린 부품들도 빠르게 집적화 되고 있다.[1]

표면탄성과 여파기는 이러한 요구조건을 충족시킬 수 있는 중요한 소자로서, 유전체 및 박막 여파기 대신에 많은 분야에서 응용되고 있다. 반도체 공정을 이용하여 생산하므로 저가에 대량 생산이 적합하다. 또한 유전체 필터에 비해 통과대역과 저지대역 사이의 선택도가 우수하여 높은 품질의

통과가 가능하다는 장점을 가지고 있다.[2] 표면탄성과 필터는 전극구조에 따라 크게 공진기형 및 횡단형 필터로 구분할 수 있다. 특히 공진기형 필터의 경우, 횡결합모드 필터[3], 종결합모드필터[4], 사다리형 필터 등으로 나눌 수 있으며, 이동통신 시스템의 IF 필터와 RF 필터로 사용된다. 예를 들어, AMPS, PDC와 같은 협대역 이동통신 시스템에 사용되는 IF 필터의 경우, 낮은 삽입손실과 좁은 통과대역폭이 필요하기 때문에 공진기형 필터의 횡결합모드 필터를 사용한다. 또한, GSM, CDMA 등과 같은 광대역 이동통신 시스템의 듀플렉서 필터 또는 RF 필터의 경우 낮은 삽입 손실 및 높은 내전력성, 넓은 통과대역이 요구되므로 공진기를 직렬 및 병렬로 접속한 사다리형 구조의 필터를 적용할 수 있으며, 사다리형 필터는 자체적으로 50Ω 임피던스 정합을 이루도록 설계되기 때문에 외부회로를 연결하는 임피던스 정합이 필요하지 않다.[5]~[9]

표면탄성과 여파기를 구성하는 표면탄성과 공진기의 주파수 전달함수를 결정하는 중요한 구성요소가 표면탄성과 변환기이다. 표면탄성과 변환기의 특성 해석을 위한 이론은 정전기적 효과, 인접 전극들의 상호 작용, 여러 종류의 탄성과 모드들 등으로 인해 일반적으로 매우 복잡하다. 또한 변환기에 의해 여기된 표면탄성과의 크기, 변환기의 어드미턴스, 그리고 스캐터링 파라미터 등 분석되어야 할 특성이 다양하므로 그 해석은 한층 더 복잡하다. 이러한 문제의 복잡성으로 인해 해석을 위한 다양하고 독특한 이론적 접근 방법이 연구 개발되어 왔다. 대표적인 예로서 가장 간단한 델타 함수 모델이 탄크렐(Tancrell)과 홀랜드(Holland)[10], 하트만(Hartmann)[11] 등에 의해 개발되었다. 이 단순화된 모델들은 정전기적 효과 등을 고려하지 않은 단점이 있으나 사용하기가 편리하며, 몇몇 중요한 성질들에 적합한 모델들이다.

† 교신저자, 正會員 : 國民大學 電子工學科 副教授 · 工博
 E-mail : jspark@kookmin.ac.kr

* 學生會員 : 國民大學 電子工學科 碩士課程

** 學生會員 : 國民大學 電子工學科 碩士課程

*** 學生會員 : 國民大學 電子工學科 工博

§ 正會員 : 啞아이티에프 硏究員 · 工博

§§ 正會員 : 中央大學 電子工學科 副教授 · 工博

§§§ 正會員 : 國民大學 電子工學科 正教授 · 工博

接受日字 : 2004年 10月 27日

最終完了 : 2004年 12月 29日

본 논문에서는 1 단자 표면탄성과 공진기를 제작하고, 측정 결과와 등가회로의 시뮬레이션과의 차이를 이론과 비교하여 파라미터에 반영하고, 이를 설계인자와 연계하여 공진기의 설계를 보다 쉽게 하였다. 사용된 기판은 42-LiTaO₃이고, Al 및 Cu-Al합금을 증착하였다. SAW 공진기의 특성에 실험적으로 접근하여 보다 정확한 모델링을 할 수 있도록 하였고, 이 함수로 등가회로를 구성하여 800MHz대역 CDMA 모바일에 사용되는 대역통과필터를 Agilent사의 시뮬레이션 CAD 툴인 ADS를 이용하여 디자인하였다.

2. 본 론

2-1-1. SAW 이론

SAW 공진기의 1단자 주파수 응답을 R-L-C 등가회로 모델로 나타낸 것이 그림1이다. C_m, L_m은 각각 동적 캐패시턴스와 동적 인덕턴스이며 C₀는 IDT(interdigital transducer)의 정적 캐패시턴스이고 R_m은 진동파의 감쇠에 의한 동적 저항로 나타낼 수 있다. 각각의 등가회로 소자값은 아래와 같이 정리된다.

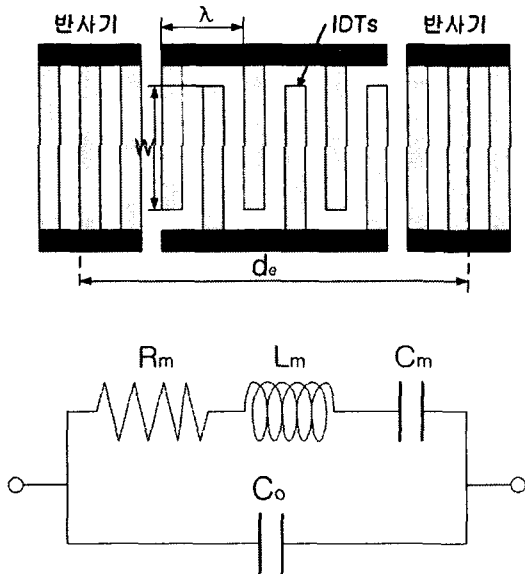


그림 1. (a)SAW 공진기, (b)SAW 공진기의 등가회로
Fig. 1 (a)SAW resonator, (b)The equivalent circuit for SAW resonator

$$C_0 = NC_s = NWC_c \approx NW \sqrt{\frac{11}{33}} \quad (1)$$

$$R_m \approx \frac{1}{G_a(f_0)} \frac{(1-|d|)}{(1+|d|)} \quad (2)$$

$$L_m \approx \frac{d_e}{\lambda_0} \frac{N}{4f_0 G_a(f_0)} \quad (3)$$

$$C_m = \frac{1}{4\pi^2 f_0 L_m} \quad (4)$$

$$G_a(f_0) \approx 8K^2 f_0 C_s N^2 \quad (5)$$

위의 식(1)에서 N의 값은 IDT쌍의 개수이며 C_s는 IDT 한 쌍의 커패시턴스, W는 IDT 전극쌍의 길이이다. C_c는 IDT 한 쌍의 단위 길이당 커패시턴스이며 이 값은 압전기판의 유전율에 비례한다. 식(2)의 G_a(f₀)는 IDT의 중심주파수에서 교란되지 않는 방사 컨덕턴스이며 식(5)에서 나타난 값이다. ρ는 단위를 갖지 않은 반사계수이다. 식(3)에서 d_e는 표면탄성과가 공진기 안에서의 값이 1/e의 비율로 감소하면서 반사기 사이를 진행할 수 있는 거리를 고려한 유효 공진 길이이다.

앞에서 살펴본 SAW 공진기의 등가 회로를 사용하여 SAW 공진기의 주파수 특성을 살펴보면, 공진기내의 손실이 없다고 가정하고, 표면탄성과 공진기의 등가 회로를 사용하여 표면탄성과 공진기의 리액턴스를 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 이 공진기의 리액턴스성분이 무한대가 되는 주파수를 ω_a라하고, 리액턴스성분이 0이 되는 주파수를 ω_r이라 하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$iX_r(\omega) = j \frac{\omega^2 L_m C_m - 1}{\omega C_m - \omega C_0 (\omega^2 L_m C_m - 1)} \quad (6)$$

$$\omega_r^2 = \frac{1}{L_m C_m} \quad (7)$$

$$\omega_a^2 = \omega_r^2 \left(\frac{C_m}{C_0} + 1 \right) \quad (8)$$

$$\frac{C_m}{C_0} = \frac{8K^2 NW}{\pi^2} \quad (9)$$

식 (9)에서 K²는 사용되는 압전기판에 의해 결정되며, 공진기의 삽입 손실, 대역폭, 차단 특성에 영향을 미치는 전기 기계 결합계수이다. 그리고 N은 변환기의 전극쌍의 개수이며, W는 변환기의 길이이다. 식(8)과 식(9)로부터 C₀값을 유도할 수 있다. 식(10)의 C_c는 전극쌍의 단위 길이당 패캐시턴스이다. C₀는 다음과 같다.

$$C_0 = \frac{\pi^2 \times C_c}{8K^2} \left(\frac{f_a^2}{f_r^2} - 1 \right) \quad (10)$$

식(4)에서 물질 상수와 공진기의 크기에 의하여 결정된 C_m/C₀와 공진 주파수(f_a)에 의하여 감쇄극(f_r)을 구할 수 있다. 공진기 설계시 IDT의 너비를 공진 주파수의 λ의 1/4로 설계를 하면 공진 주파수는 고정되고 IDT의 전극쌍의 개수와 길이의 변화가 C₀에 다음과 같이 반영이 된다.

$$C_0 = NC_s = NWC_c \approx NW \sqrt{\frac{11}{33}} \quad (11)$$

이로써, f_a를 조절한다. 이 때 공진기의 물리적인 구조의 변화에 의한 주파수 특성은 N(IDT의 수)이 커지거나 W(IDT의 길이)가 길어지면 C_m/C₀가 커지므로, 감쇄극이 커지게 되고, N이 작아지거나 W가 짧아지면 C_m/C₀가 작아지고, 감쇄극도 줄어든다.

직렬공진기와 같은 방식으로 병렬공진기의 특성은 다음과 같이 구할 수 있다. 서셉턴스가 무한대가 될 때를 감쇄극 ω_L이라 정의하고 서셉턴스가 0이 되는 공진 주파수를 ω₀라 정의 하면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$jB_r = j \frac{\omega C_0 (\omega^2 L_m C_m - 1) - \omega C_m}{\omega^2 L_m C_m - 1} \quad (12)$$

$$\omega^2 = \frac{1}{L_m C_m} \quad (13)$$

$$\omega_0^2 = \omega_L^2 \left(\frac{C_m}{C_0} + 1 \right) \quad (14)$$

병렬 공진기의 경우 IDT의 길이로 감쇄극이 결정되고, 직렬 공진기처럼, 물리적인 구조에 의한 주파수 특성은 N(IDT의 수)이 커지거나 W(IDT의 길이)가 길어지면 C_m/C_0 가 커지므로, 공진 주파수가 커지게 되고, N이 작아지거나 W가 짧아지면 C_m/C_0 가 작아지고, 공진 주파수도 줄어든다.[12]~[14]

2-2 측정 한 공진기의 특성

측정 한 공진기의 반사기 구조의 구조가 파형에 심각한 영향을 끼쳤다. 반사기의 구조를 제외한 IDT의 수, 길이, 너비가 같은 구조를 가진 공진기라도 반사기의 구조에 따라 큰 영향을 받는다. 아래 그림은 제작 및 측정에 사용된 반사기의 구조이다.

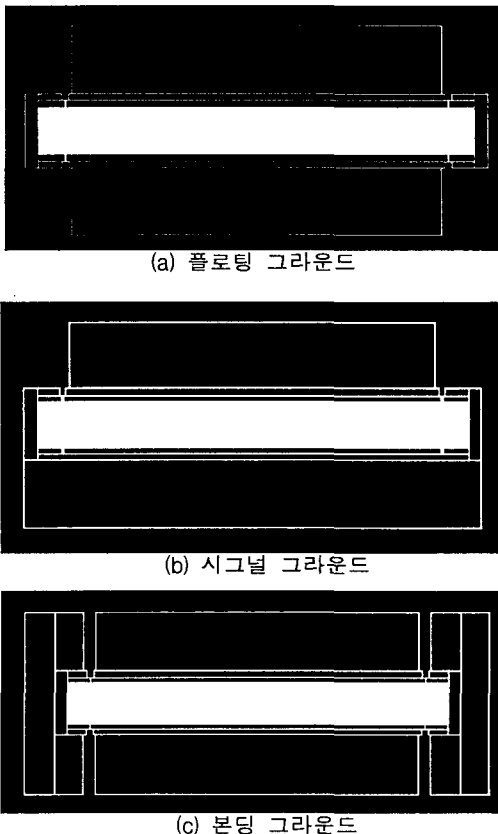


그림 2. 반사기 형태에 따른 SAW 공진기 구조
Fig. 2 The structure of SAW resonator according to the type of reflection

위 그림에서, 나열된 반사기의 구조는 플로팅 그라운드, 시그널 그라운드, 본딩 그라운드 등 이다. 이 그라운드 형태

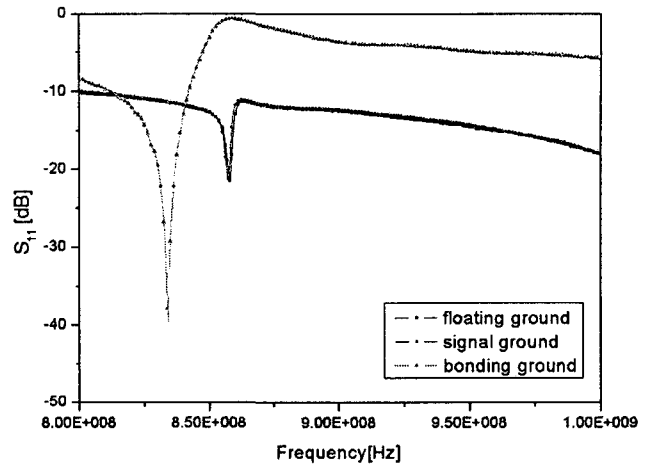


그림 3 반사기 구조에 따른 주파수 특성
Fig. 3 The frequency response characteristic according to the type of reflection

에 따른 공진기의 주파수 특성은 그림 3과 같다.

압전기판에서 반사기의 양단의 전위차이가 같다면, 표면탄성파에 대해 전기적인 변화를 일으키지 않으므로, 반사기의 구조에 관계없이 반사판으로서의 역할을 할 것으로 기대했으나, 위에서 본 바와 같이 큰 차이를 보였다. 그림 3에서 보인 것처럼, 플로팅 그라운드와 시그널 그라운드구조를 사용한 공진기는 그 특성이 상당히 저조하다.

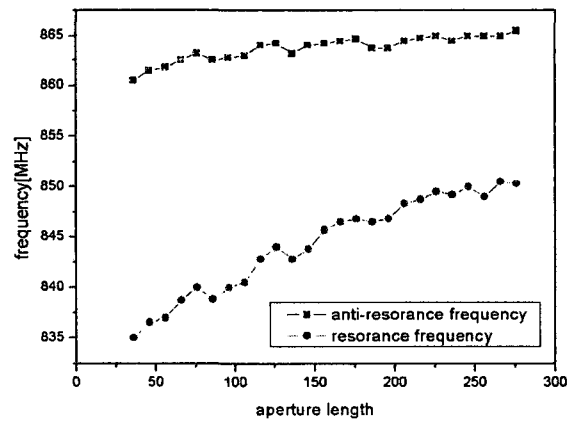


그림 4. 직렬 공진기의 W변화에 따른 공진주파수 및 감쇄극의 변화

Fig. 4 The characteristics of resonant and attenuant frequency by adjusting the aperture length of series resonator

개별 공진기의 N(전극쌍의 개수)은 121개, 반사기의 개수는 17개를 기준으로 전극의 길이를 36에서부터 276까지 10micron 단위로 증가시키며 측정하였다. 그림 4에서 보듯이, 같은 IDT의 길이를 가지더라도, N, W가 커짐에 따라 공진 주파수와 감쇄극이 커짐을 알 수 있다. 이로부터 살펴본 바로는 W의 길이가 길어지면, 감쇄극이 커지지만, 공진 주파수는 고정되어 두 주파수의 차이 역시 커질 것으로 예상되었다. 하지만, 그래프에서 본 바와 같이 실제 공진기의 특성에서는, W가 길어지면 감쇄극과 공진 주파수가 모두

커지게 되나, 길이에 따른 주파수의 변화율이 공진주파수가 커서, W가 길어질수록 두 주파수의 차이가 줄어드는 것을 알 수 있다. 이는 등가회로와 연결하여 생각하면, 식(1)과는 달리 C_0 가 물리적인 크기(N, W)가 커질수록 큰 값을 갖지 않고 작은 값을 가진다. 이는 W를 고정하고 N을 증가시켜 측정하였을 때도 같은 특성을 보인다.

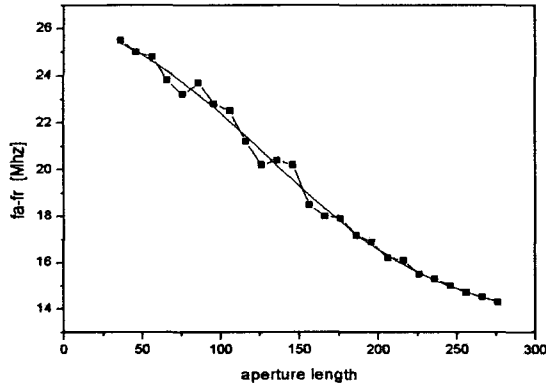


그림 5. 직렬 공진기의 IDT 길이 변화에 따른 주파수 폭 변화
 Fig. 5 The attenuant characteristic by adjusting the aperture length of series resonator

그림 5는 그림 4의 두 주파수의 차이를 나타냈다. 그림 5의 직렬 공진기에서의 공진 주파수와 감쇄극의 차이는 800MHz 대역에 걸쳐서 비슷한 값을 가진다. 또한, W의 증가에 대한 주파수 특성을 살펴보면, 그림 6에서와 같이 W가 커질수록 S11의 파형이 떨어지는 것을 알 수가 있다. 그림 6에서 보듯이, W의 변화에 따라 파형이 차이가 있다는 것을 확인 할 수 있다. W가 길어질수록 전체 대역에 걸쳐서 삽입손실이 떨어지는 것을 알 수 있다. 이 경향은 직렬 공진기 등가회로에서 K^2 를 조절함으로써 모의실험의 파형을 실제 공진기의 파형과 맞출 수 있다. W가 길어질수록 K^2 는 작은 값으로 나타나고, W가 짧아지면 큰 값을 가진다.

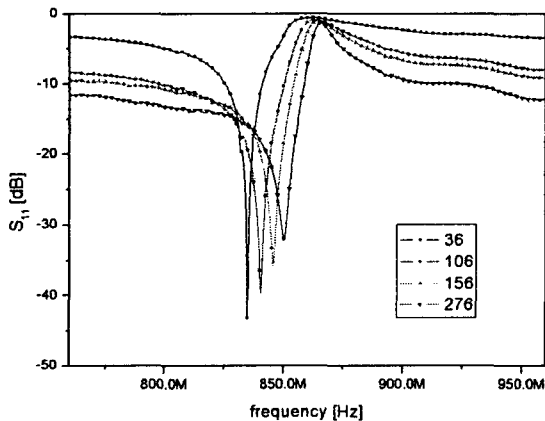


그림 6. 직렬 공진기의 W에 따른 S11의 변화
 Fig. 6 The reflected scattering parameters by adjusting the aperture length of series resonator

K^2 는 800MHz 대역에서 걸쳐서 그림 7과 같은 경향을 나타낸다. 이는 W에 따라 주파수 특성이 일정함을 나타내는

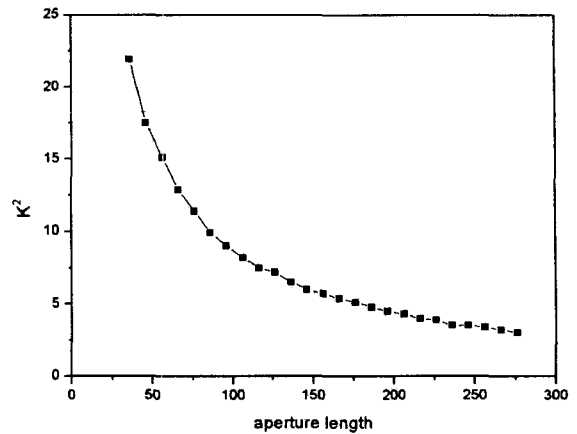


그림 7. 직렬 공진기의 W에 따른 K2의 변화
 Fig. 7 The variation of coupling coefficient constant by adjusting the aperture length of series resonator

것이며, W에 따른 주파수 특성이 일정하다는 것이다.

병렬 공진기 역시 직렬 공진기와 마찬가지로 개별 공진기를 N은 121개, 반사기의 개수는 17개를 기준으로 W를 36에서부터 276까지 10micron단위로 증가시키며 측정하였다. 병렬 공진기의 공진 주파수, 감쇄극의 변화는 직렬 공진기와는 다소 달랐다. 공진 주파수의 경우는 직렬 공진기와 마찬가지로 W가 길어짐에 따라 증가하는 경향을 나타내었지만, 감쇄극의 경우는 W에 관계없이 일정한 경향을 보였다. 이는 이로부터 살펴본바와 같이, IDT의 너비에 의해 감쇄극이 정해지고, 물리적인 크기가 커질수록 공진 주파수가 커진다.

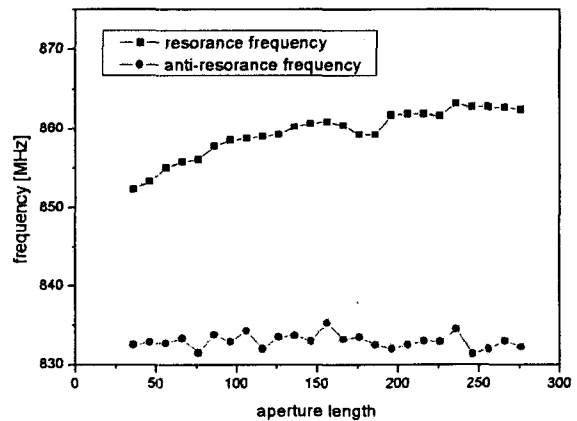


그림 8. 병렬 공진기의 W에 따른 공진 주파수 및 감쇄극의 변화

Fig. 8. The characteristics of resonant and attenuant frequency by adjusting the aperture length of parallel resonator

W의 변화에 대한 공진기의 파형은 그림 9와 같다. 직렬 공진기와 마찬가지로 W가 증가할수록 전체 대역에 걸쳐 S11이 큰 것을 알 수 있다. 이는 직렬 공진기와 같이 병렬 공진기 등가회로에서 K^2 를 조절함으로써 모의실험의 파형을 실제 공진기와 맞출 수 있다. W가 길어질수록 K^2 는 작은 값으로 나타나고, W가 짧아지면 큰 값을 가진다. 이런 경향은, 설계요소인 W나 N을 공진기의 주파수 특성을 나타내는 변수로 사용할 수 있음을 말한다.

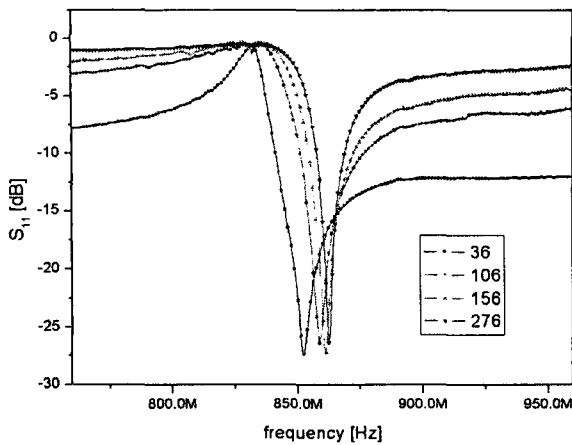


그림 9. 병렬 공진기의 W에 따른 S11의 변화
 Fig. 9 The reflected scattering parameters by adjusting the aperture length of parallel resonator

2-3 공진기 설계

공진기는 f_a-f_r 과 W, K^2 는 일정한 함수관계를 가진다. 공진기의 IDT의 개수를 121개, 반사기의 수를 17개로 고정하고, f_r 과 f_a 를 변수로 하며, W 와 K^2 를 유도하면 직렬 공진기의 경우는 다음과 같이 정리된다.

$$W = 681.88489 - (2 \times 46682.1911 / \pi) \times 41.44098 / (4 \times (|f_a - f_r| - 32.49626)^2 + 41.44098^2) \quad (15)$$

$$K^2 = 25.56837 e^{-(W/30.60177)} + 51.82927 e^{-(W/10.98838)} + 14.81015 e^{-(W/108.15935)} + 1.94145 \quad (16)$$

공진기의 등가회로는 그림 1(b)와 같고, 아래 그림은 위 함수를 이용하여 설계한 공진기의 시뮬레이션 파형과 제작하여 측정된 파형을 비교한 것이다.

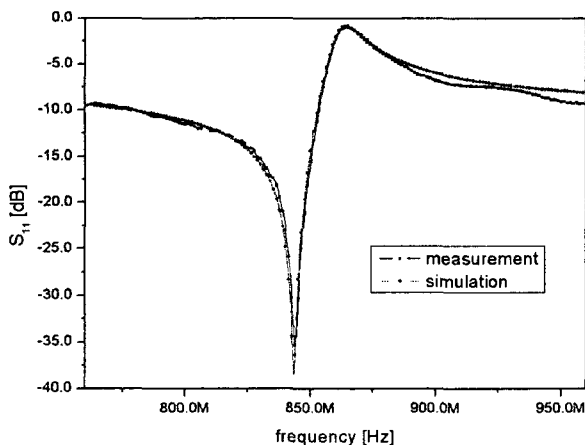


그림 10. 직렬공진기 시뮬레이션 파형 및 결과 파형
 Fig. 10 The comparison between simulation result and measurement result - series resonator

같은 방식으로 병렬 공진기의 W 과 K^2 를 유도하면 아래 식과 같으며, 병렬 공진기의 시뮬레이션 파형과 측정된 공진

기의 파형은 그림 11과 같다.

$$W = -368.84116 + (70614.28094 / \pi) \times (31.23306 / 4 \times |f_a - f_r| - 38017426)^2 + 31.23306^2) \quad (17)$$

$$K^2 = 576.32639 e^{-(W/5.3497)} + 8.04627 e^{-(W/59.47319)} + 7.38069 e^{-(W/60.40483)} + 4.04711 \quad (18)$$

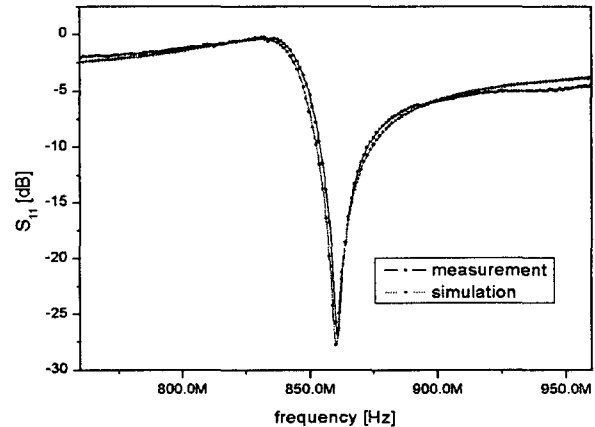


그림 11. 병렬공진기 시뮬레이션 파형 및 결과 파형
 Fig. 11 The comparison between simulation result and measurement result - parallel resonator

위 그림 10, 11에서 보듯이 시뮬레이션 파형과, 결과파형이 거의 일치함을 알 수 있다.

2-4. 대역통과 여파기의 설계

2-3에서 구한 표면탄성과 공진기의 특성을 이용하여, 삼입손실 방법으로 5단 CDMA 단말기용 여파기를 설계하였다. 설계한 여파기의 회로도는 그림 12에 제시하였다.

입출력 포트와 1, 5단 사이의 인덕터와 병렬 공진기와 그라운드 사이의 인덕터는 본딩 와이어로 인한 인덕턴스를 반영한 것이다. 회로 시뮬레이션 결과 파형은 아래 그림과 같다.

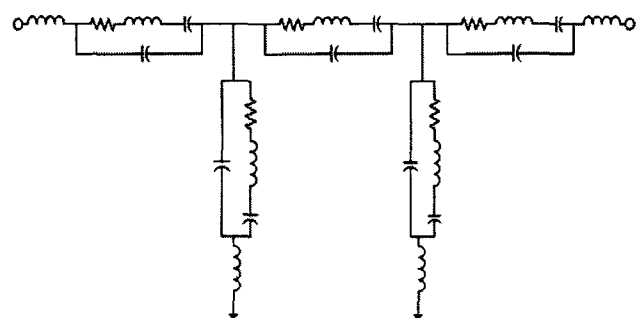


그림 12. 대역통과 여파기 등가회로(Tx band)
 Fig. 12 The equivalent circuit of Band Pass Filter designed by using the proposed formula(Tx band)

입출력 포트와 1, 5단 사이의 인덕터와 병렬 공진기와 그라운드 사이의 인덕터는 본딩 와이어로 인한 인덕턴스를 반영한 것이다. 회로 시뮬레이션 결과 파형은 그림 13과 같다.

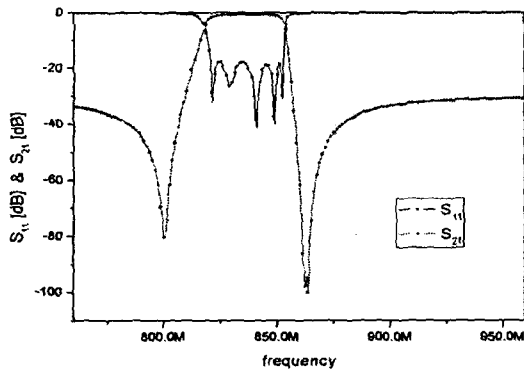


그림 13. 모의 실험 결과파형(Tx band)
 Fig. 13 The simulating of the designed Tx Band Pass Filter by the proposed formula(Tx band)

위 그림과 같이 통과대역에서 최대 17.75dB의 반사 계수를 갖고, 삽입손실은 824MHz에서 1.19dB을 가진다. 저지대역 특성은 894MHz에서 최소 34.53dB를 확보함을 알 수 있다.

그림 14는 869MHz~894MHz의 통과대역을 갖는 대역통과 여파기의 등가회로를 나타내었다. Tx 대역통과 여파기와 마찬가지로, 입출력포트 사이와, 병렬 공진기와 그라운드 사이의 인덕터는 본딩 와이어의 인덕턴스를 고려한 것이다. 회로 시뮬레이션의 결과 파형을 살펴보면, 통과대역에서 886MHz에서 18.3dB의 반사 계수를 가진다. 삽입손실의 특성은 869MHz에서 1.65dB를 가진다. 저지대역 특성은 최소 51dB 이상을 확보한다.

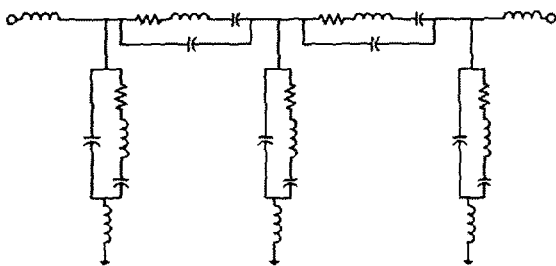


그림 14. 대역통과 여파기 등가회로(Rx band)
 Fig. 14 The equivalent circuit of Band Pass Filter designed by using the proposed formula(Rx band)

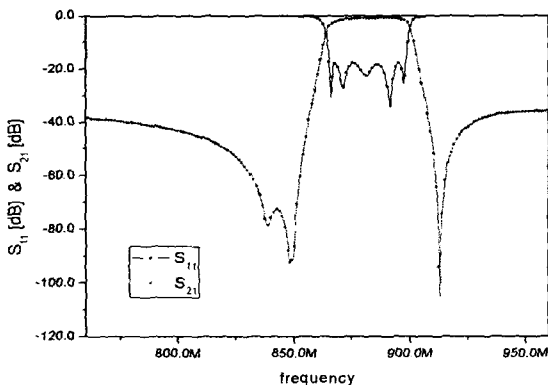


그림 15. 모의실험 결과파형(Rx band)
 Fig. 15 The simulating of the designed Rx Band Pass Filter by the proposed formula(Rx band)

3. 결론

본 논문에서는 표면탄성과 공진기 제작 및 측정을 통하여 그 특성을 고찰하였으며, 이를 이용하여 공진기 모델링에 사용되는 파라메타를 추출하여 함수화 하였다. 설계 변수를 공진기의 특성을 결정하는 변수로 하여 보다 쉽게 표면탄성과 공진기를 설계할 수 있도록 하였으며, 이 함수를 사용한 공진기를 이용하여 800MHz CDMA용 대역통과 여파기를 설계 및 모의실험을 수행하였다. 차후로, 설계한 대역통과 여파기를 제작 및 측정하여, 모의실험 특성과의 비교에 대한 고찰 등이 요구된다.

참고 문헌

- [1] Jin D. Kim, Daniel W. Weiche, "Trends and Requirements of SAW Filters for Cellular System Applications", Proc. IEEE Ultrasonics Symp., pp.293-301, 1997.
- [2] Gerhard Fischerauer, Thomas Ebner, Peter Kruck, Kazuhiko Morozumi, Ralf Thomas, Maximilian Pitschi, "SAW Filter Solutions to the Needs of 3G Cellular Phones", IEEE MTT-S Digest, pp.351-354, 2001.
- [3] M. Tanaka, T.Morita, K.Ono and Y. Nakazawa, "Narrow bandpass filter using double-mode SAW resonators on quartz", in Proceedings of the 38th Annual Frequency Control Symposium. pp.286~293, 1984.
- [4] T. Morita, Y. Watanabe, M. Tanaka and Y. Nkazawa, "Wideband loss loss double mode SAW filters", in Proceedings of the IEEE Ultrasonics symposium, pp. 95~104, 1992.
- [5] O. Ikata, T. Miyashita, T. Matsuda, T. Nishihara and Y. Satoh, "Development of low-loss band-pass filters using SAW resonators for portable telephones", 1992 IEEE Ultrasonics symposium Proceedings, pp.111~115, 1992.
- [6] Y. Satoh, O. Ikata, T. Matsuda, T. Miyashita, and T. Nishihara, "Resonator-type low-loss filter", Proc. Int. Symp. SAW Devices for Mobile Comm., pp. 179~185, 1992.
- [7] T.Matsuda, H.Uchishiba, O.Ikata, T.Nishihara and Y.Satoh, "L and S band low-loss filters using SAW resonators", IEEE Ultrasonics Symposium, pp. 163~167, 1994.
- [8] M.Hikita, H.Kojima, T.Tabuchi, and Y.Kinoshita, "800MHz high performance SAW filter using new resonator configuration", IEEE Trans. Microwave Theory Tech. MTT-17, pp.510~518, 1985.
- [9] M. Takeuchi and I.Yamanouchi, "New type of SAW reflecting elements with positive and negative reflection coefficients", IEEE Tran. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control, Vol. UFFC-33, No. 4, pp.

369~374, July, 1986.

- [10] R. H. Tancrrell and M. G. Holland. "Acoustic Surface Wave Filters." IEEE Proc. Vol. 59. pp. 393-409. 1971.
- [11] C. S. Hartmann. D. T. Bell. JR and R. C. Rosenfeld. "Impulse Model Design of Acoustic Surface-Wave filters." IEEE Trans. Microwave Theory Tech. vol. MTT-21, pp. 162~175. 1973.
- [12] E. J. Staples, J. S. Schoenwald, R. C. Rosenfeld and C. S. Hartmann, "UHF surface acoustic wave resonators," Proc. 1974 IEEE Ultrasonic Symp., pp. 287~296, 1974.
- [13] E. A. Ash, "Fundamentals of signal processing devices," in A. A. Oliner (ed.), Acoustic Surface Waves, Topics in Applied physics, vol. 24, Springer-Verlag, New York, p. 113, 1978.
- [14] Colin K. Campbell, "Surface Acoustic Wave Devices for Mobile and Wireless Communications", Academic-Press.

저 자 소 개



최 승 완(崔 丞 完)

2004년 국민대학교 전자공학과 학사
 2004년 국민대학교 전자공학과 석사과정
 주요연구분야 : SAW filter & Sensor
 Tel : 02-910-5072
 Fax : 02-910-4646
 E-mail : maestrochoi@empal.com



정 명 섭(鄭 明 燮)

1996년 홍익대학교 전기제어공학과 학사
 1999년 국민대학교 전자공학과 석사
 2004년 국민대학교 전자공학과 박사
 경력 및 활동 : 현광전자 통신 연구소 근무(99~02)
 주요연구분야 : MMIC 기술을 이용한 RF/Microwave 하이 브리드 모듈 디자인
 Tel : 02-910-5069
 Fax : 02-910-4646
 E-mail : smrlab@kookmin.ac.kr



손 창 신(孫 暢 晨)

2004년 국민대학교 전자공학과 학사
 2004년 국민대학교 전자공학과 석사과정
 주요연구분야 : Antenna & SAW sensor
 Tel : 02-910-5072
 Fax : 02-910-4646
 E-mail : changsin24@hotmail.com



이 택 주(李 澤 周)

1997년 인하대학교 전자재료공학과 학사
 1999년 인하대학교 전자재료공학과 석사
 1996년 인하대학교 전자재료공학과 박사
 경력 및 활동 : (주) 아이티에프 / 선임연구원(01~현재)
 주요연구분야 : RF SAW Filter/Duplexer 무선통신 및 신호처리 집적회로 설계
 Tel : 032-621-1213
 Fax : 032-621-1218
 E-mail : googong@itf.co.kr



김형석 (金炯碩)

1985년 서울대학교 전기공학과 학사
1987년 서울대학교 전기공학과 석사
1990년 서울대학교 전기공학과 박사
경력 및 활동 : 순천향대학교 정보기술공학부 / 부교수(90~2002), R. P. I. 미국 방문교수(97~98, 중앙대학교 전자전기공학부 / 부교수(02~현재)
주요연구분야 : Antenna, 시뮬레이션 소프트웨어 개발
E-mail : Kimcaf2@cau.ac.kr



임재봉 (林在鳳)

서울대학교 전기공학과 학사
서울대학교 전기공학과 석사
서울대학교 전기공학과 박사
경력 및 활동 : 충남 대학교 공과대학 전자공학과/조교수, 미국 텍사스 주립대학교 전기공학과/조교수, 한국통신학회/이사
SKT, 홍창, 삼성전자, Netel, A-telsys/기술고문, 제 21회 산학협동대상 수상, 국민대학교 전자정보통신공학부 / 교수
주요연구분야 : GPS 시스템 application, 셀룰라 / IMT-200용 광증계기 설계
Tel : 02-910-4703
Fax : 02-910-4646
E-mail :



박준석 (朴准奭)

1991년:국민대학교 전자공학과 학사
1993년:국민대학교 전자공학과 석사
1996년:국민대학교 전자공학과 박사
경력 및 활동 : Dept. of EE, UCLA/P.D. Fellow(97~98)
순천향 대학교 정보기술공학부/조교수(03)
(주) 아모텍 / 기술고문(00~현재)
(주) Wavics / 기술고문(01~현재)
국민대학교 공과대학 전자정보통신공학부 / 부교수(03~현재)
주요연구분야 :RFIC, MMIC, LTCC 기술을 이용한 RF/Microwave 하이브리드 모듈 디자인 및 해석
Tel : 02-910-4829
Fax : 02-910-4646
E-mail : jspark@kookmin.ac.kr