

COM(Coupling of Modes)기반의 SAW 공진기와 필터 시뮬레이션 방법에 관한 연구

김지원*, 차혜성*, 조혜주*, 최유성*, 한상민**, 안달*

*순천향대학교 전기공학과

**순천향대학교 정보통신공학과

e-mail:ahn.d1961@gmail.com

Research for SAW Resonator and Filter Simulation Based on COM

Jiwon Kim*, Hyesung Cha*, Hyeju Jo*, Yousung Choi*,
Sang-Min Han**, and Dal Ahn*

*Dept. of Electrical Engineering, Soonchunhyang University

*Dept. of Information and Communication Engineering, Soonchunhyang University

요약

본 연구에서는 SAW(Surface Acoustic Wave) 해석을 위해 사용되는 COM(Coupling of Modes) 방법을 이용하여 SAW 공진기와 필터의 시뮬레이션 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 편리한 사용자 인터페이스(UI)를 제공한다. 또한, 기존에 상용화되어있는 회로 시뮬레이션 도구를 이용하기 때문에 외부의 다른 회로소자와의 연결도 어렵지 않게 이용할 수 있다. 연구에 사용된 COM 이론을 간단하게 소개하고 SAW 공진기 해석 및 필터 시뮬레이션에 대한 3가지의 프로그램을 소개한다.

1. 서론

최근 5G 시대가 열리면서 모바일 통신을 비롯한 IoT 및 자율주행 자동차 등의 개발로 무선 통신의 수요가 증가하고 있다. 통신에 사용되는 주파수는 점점 높아지고, 기기의 소형화 문제도 계속하여 대두된다. 이러한 측면에서 SAW 기기의 수요는 점점 증가하고 있다. [1] 대부분의 통신 기기 개발과정에서 시뮬레이션 과정은 필수적이다. SAW 기기 개발을 위해서도 시뮬레이션이 필요하다. 하지만 현재까지 SAW 기기 개발을 위한 상용화된 시뮬레이션 도구는 마땅하지 않다. 대부분의 SAW 기기 관련 산업체에서는 지금은 잘 사용하지 않는 언어인 포트란(Fortran)을 사용하거나, MATLAB, Mathcad 등의 수식 프로그램을 이용하여 SAW 기기를 개발한다. 하지만 이러한 종류의 프로그램은 사용자 인터페이스(UI)가 잘 구성되어있지 않다. 또한, 최근의 SAW 필터 개발 동향을 살펴보면 SAW 공진기 외에 다른 회로 소자들을 연결하여 기존의 단점들을 보완하는 방법들이 제시되고 있다. [2][3] 하지만 이런 경우 2가지 이상의 시뮬레이션 도구를 이용해야 하는 불편함이 있다.

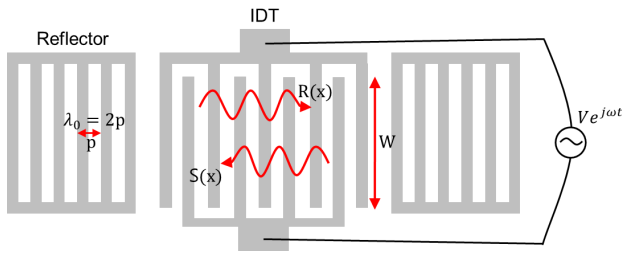
본 연구에서는 SAW 공진기 해석을 위해서 COM 접근법을 이용한다. COM 접근법은 다른 해석 방법들에 비해 간단하고, 정확한 COM parameter 들을 사용할 경우 좋은 결과를 얻을 수 있다. [4]-[6] 본 연구에서 제시하는 시뮬레이션 방법

은 편리한 사용자 인터페이스와 외부 회로와 손쉬운 연결을 제공하는 것을 목표로 한다. 이러한 조건을 만족하기 위하여 상용화된 회로 시뮬레이션 도구인 ANSYS 사의 AEDT(ANSYS Electronics Desktop) 시뮬레이션 도구를 이용한다. AEDT 에서는 Python 언어를 통한 Customization 과 Automation을 지원한다. 따라서 본 연구에서는 Python으로 작성된 SAW 공진기 해석과 필터 설계에 관련된 3가지의 프로그램을 소개한다.

2. COM(Coupling of Modes) 접근법

이 장에서는 COM 수식을 간단히 소개한다. 그림 1은 단일 SAW 공진기의 구조를 나타낸 것이다. IDT(Interdigital Transducer) 는 주기 $2p$ ($p = \text{pitch}$), 길이 W , 그리고 N 개의 쌍으로 이루어져 있다. 그리고 IDT 양쪽에 반사기가 배치된다. 수식 (1)은 1개의 IDT의 COM 접근법수식이다. $R(x)$ 와 $S(x)$ 는 각각 정방향과 역방향으로 전파되는 파동의 진폭과 관련된 함수이며, V 는 인가되는 전압, 그리고 I 는 Bus bar에 흐르는 전류를 나타낸다. 이 외에 δ , κ , ζ , C 와 같은 COM 파라미터들이 사용되는데, 각각 Detuning 파라미터, 반사결합 계수, Transduction 파라미터, 전극의 단위 길이당 캐패시턴스를 의미한다. COM 접근법에 대한 이론적인 고찰은 다른 논문들에서 자세하게 소개되어 있으므로 본 논문에서는 생략

하고자 한다. [4]-[6]

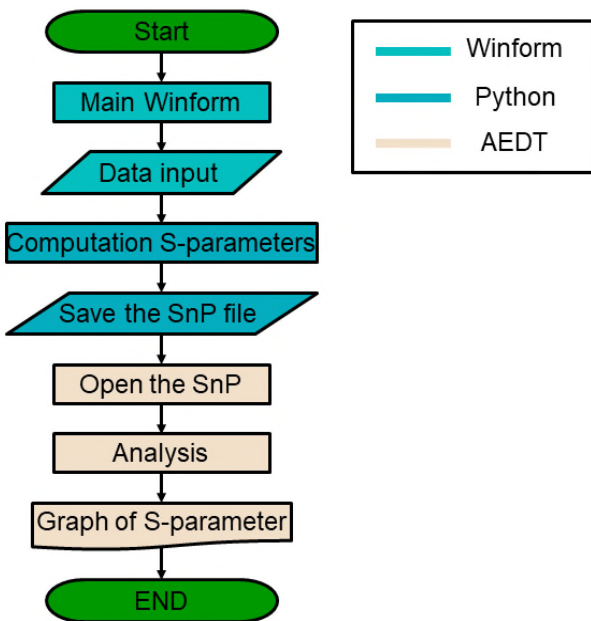


[그림 1] 단일 SAW 공진기의 구조

$$\begin{cases} \frac{d}{dx}R(x) = -j\delta R(x) + j\kappa S(x) + j\alpha V \\ \frac{d}{dx}S(x) = -j\kappa^* R(x) + j\delta S(x) + j\alpha^* V \\ \frac{d}{dx}I(x) = -2j\alpha^* R(x) - 2j\alpha S(x) + j\omega CV \end{cases} \quad (1)$$

3. 단일 SAW 공진기 해석 프로그램

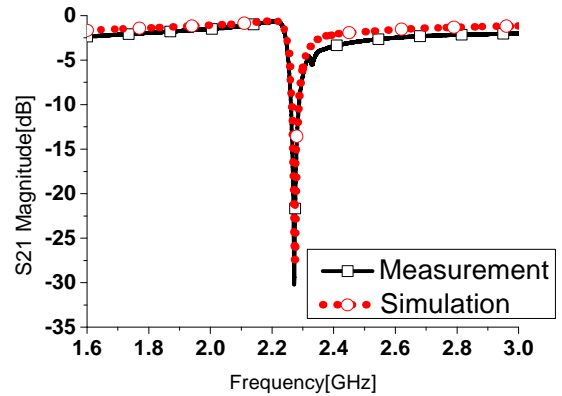
그림2는 단일 SAW 공진기를 해석하기 위한 프로그램 진행 순서도를 나타낸 것이다. AEDT 프로그램을 실행시키고, Run script 메뉴를 이용하여서 이전에 작성하였던 Python 프로그램을 불러오면, AEDT 내에서 다음과 같은 동작들이 이루어진다.



[그림 2] 단일 SAW 공진기의 해석을 위한 프로그램 순서도

먼저 윈도우 창 형태의 데이터 입력 창이 생성된다. 이 창에 SAW 공진기의 물리적 파라미터(pitch, IDT 개수, reflector 개수 등)를 입력하고, Make SnP 버튼을 클릭하면, Python 프로그램 내에서 작성된 COM 수식을 풀게 된다. 그리고 COM 수식의 결과를 다시 S-parameters 결과로 변환하고, 최종적으로 S2P 파일이 미리 정하여둔 폴더에 저장된다. 이후 AEDT에서 자동으로 저장된 S2P 파일을 불러오고, 설정한 주파수에서 해석하여, S-parameters 그래프를 확인하면 종료가 된다.

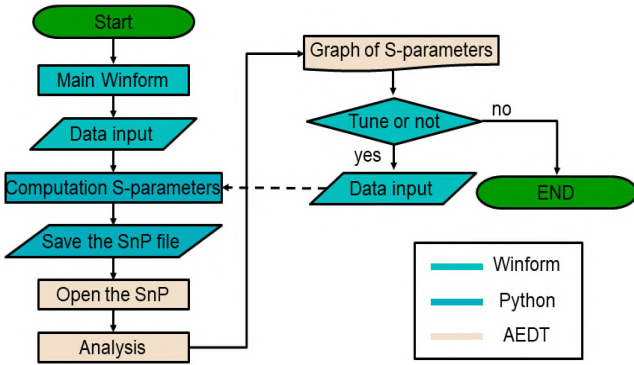
그림3은 단일 SAW 공진기 해석 프로그램을 이용하여 해석한 공진기의 S21 특성과 같은 물리적 값을 가지고 실제 제작된 SAW 공진기의 S21 측정값을 비교한 그래프이다. 그림 3을 통해 SAW 공진기 해석 프로그램의 결과와 실측 결과가 유사함을 알 수 있다.



[그림 3] 단일 SAW 공진기의 시뮬레이션과 측정결과 비교

4. 단일 SAW 공진기 Tuning 프로그램

Tuning 프로그램은 단일 SAW 공진기에 대해 해석을 한 후, 물리적 파라미터 중 하나를 택하여, 최솟값과 최댓값 그리고 변화량을 설정하여 값을 변화시키면서 결과를 확인하는 프로그램이다. 그림 4는 단일 SAW 공진기의 Tuning 프로그램의 진행 순서도이다. 최초의 동작은 단일 SAW 공진기 해석 프로그램과 같다. 하지만 해석 결과를 본 후, 단일 SAW 공진기 해석 프로그램은 종료되었다면, Tuning 프로그램은 Tuning 여부를 묻는 창이 뜨게 된다. 만약 yes 버튼을 누른다면, Tuning setting 창이 생성되고, 어떤 물리적 값을 변화하면서 결과를 볼 것인지 선택을 하게 된다. 이후 변화시키고자 하는 값에 최솟값과 최댓값 그리고 변화 정도를 입력하면 최솟값부터 다시 COM 수식을 풀어 S2P 파일을 저장하고 AEDT에서 S-parameter 그래프를 통해 결과를 확인할 수 있다.

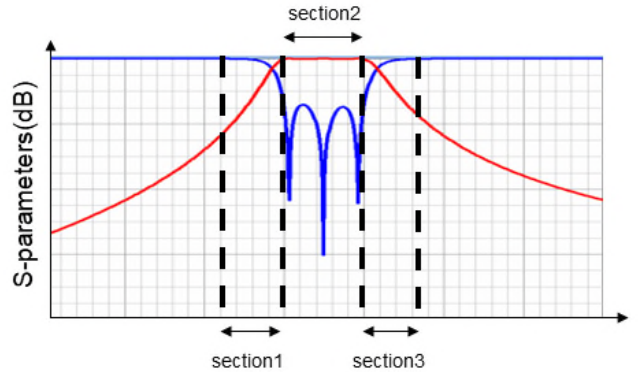


[그림 4] 단일 SAW 공진기의 Tuning 프로그램 순서도

5. SAW 필터 자동화 프로그램

SAW 필터 자동화 프로그램은 SAW 필터 개발에 효율성을 높이기 위해, 상용화되어있는 특정 구조의 필터에 대해 원하는 필터 특성을 입력하면 자동으로 SAW 공진기의 물리적 값을 찾아주는 프로그램이다. 해당 프로그램을 작성하기 위해서 특정 구조의 필터의 Package로 인한 기생성분을 해석하는 연구가 선행되었다. 프로그램 동작 중 SAW 공진기와 기생성분에 대한 소자를 연결하여 회로를 그리는 부분이 있는데, AEDT 프로그램을 사용하지 않았더라면, 기생성분 해석에 대한 부분도 수식적으로 작성해야 하는 수고가 필요하다.

과 같이 3개의 section으로 나누어, S11과 S21의 정보를 입력하게 되어있다. 원하는 특성이 입력되면 AEDT에서 자동으로 필터 회로를 그리고 해석하여 필터의 S2P를 저장한다. 저장된 S2P 정보가 입력한 필터의 특성을 만족하는지 판별한 후 만족하는 파일은 저장하고, 그렇지 않은 파일은 삭제가 된다. 해석해야 할 공진기의 SnP 파일이 모두 소진되면 프로그램은 종료가 된다.



[그림 6] 3개의 필터 section

6. 결 론

본 연구에서는 SAW 공진기 및 필터 설계를 위한 시뮬레이션 방법을 제시하였다. SAW 공진기 해석을 위해서는 COM 접근법을 사용하였다. 편리한 사용자 인터페이스를 제공하기 위해 윈도우 창 형식을 사용하였으며, SAW 공진기와 외부 회로 연결 시 불편함을 없애기 위해 기존의 상용화된 AEDT 도구를 이용하는 방법을 사용하였다. 단일 SAW 공진기를 해석하는 프로그램과 Tuning 프로그램 그리고 필터 자동화 프로그램을 소개하였다. 소개된 방법을 각 산업체 요구에 맞게 발전시킨다면 실제 SAW 필터 개발에 충분히 사용할 수 있을 것으로 사료 된다.

감사의 글

본 연구는 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 현장맞춤형 이공계 인재양성지원사업(2019-HID8A1105622)의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

[1] O. L. Balysheva, "SAW Filters for Mobile Communications: Achievements and Prospects," In 2019 Wave Electronics and its Application in

[그림 5] SAW 필터 자동화 프로그램

그림 5는 프로그램의 진행 순서도를 나타낸 것이다. 본 연구에서 사용된 필터구조는 5개의 공진기를 사용한다. 프로그램을 실행시키면 2개의 tab으로 이루어진 데이터 입력창이 생성된다. 먼저 tab1에서는 필터에 사용되는 공진기들의 물리적 파라미터값을 입력하는데, 최솟값과 최댓값 그리고 변화량을 입력하게 되어있다. 입력이 완료되면, 공진기의 S-parameter를 계산하고, 공진기들에 대한 SnP가 생성된다. tab2는 필터 특성을 입력하는 창으로, 필터의 특성은 그림 6

- Information and Telecommunication Systems (WECONF), pp. 1-4. IEEE, 2019.
- [2] R. Zhang, M. Abdelfattah, L. Yang, R. Gómez-García, and D. Peroulis, "A hybrid low-cost bandpass filter with SAW resonators and external lumped inductors using a dual-coupling scheme," IEEE Trans. Microw. Theory Techn., early access, Feb. 17, 2020
- [3] X. Lu, K. Mouthaan, and Y. T. Soon, "Wideband bandpass filters with SAW-filter-like selectivity using chip SAW resonators," IEEE Trans Microw, Theory Techn., vol. 62, no. 1, pp. 28 - 36, Jan. 2014.
- [4] V. Plessky and J. Koskela, "Coupling-of-modes analysis of SAW devices," in Advances in Surface Acoustic Wave Technology, Systems and Applications. vol. I, C. C. W. Ruppel and T. A. Fjeldly, Eds. Singapore: World Scientific, pp. 1 - 81, 2000.
- [5] KNakamura and K.Hirota, "Considerations on SAW coupled-mode equations and equivalent circuit representation of interdigital transducers," Proc. 1992 IEEE Ultrason. Symp., pp.189-193, 1992.
- [6] C.C.W. Ruppel et al., "Review of Models for Lowloss Filter Design and Applications", IEEE Ultrasonics Symp. Proc. pp. 313-324, 1994.