

# 캐비티필터 자동 튜닝을 위한 등가회로 기반 시뮬레이션 프로그램

이싸무 프레드 응왈로, 전준영, 손성호, 안달, 김동민\*  
순천향대학교

issamu@sch.ac.kr, kjr05149@naver.com, son@sch.ac.kr, dahnkr@sch.ac.kr, \*dmk@sch.ac.kr

## Equivalent Circuit-based Simulation Program for Automatic Tuning of Cavity Filter

Issamu Fred Ngwalo, JunYeong Jeon, Seong-Ho Son, Dal Ahn and Dong Min Kim\*  
Soonchunhyang University

### 요 약

본 논문에서는 Cavity Filter 의 자동 튜닝을 위한 등가회로 기반 시뮬레이션 프로그램에 대해 연구하였다. 시뮬레이터를 통해 매우 섬세하고 전문적인 기술이 필요한 Cavity Filter 튜닝 과정을 물리적인 튜닝 과정 없이도 여러 튜닝 시나리오를 빠르게 시험하면서, 필터의 성능에 미치는 다양한 요소들을 체계적으로 연구하였다.

#### I. 서 론

Cavity Filter 는 무선통신에서 중요한 역할을 하는데, 특정 주파수대역의 전자기파를 통과시키고 다른 주파수를 차단하여 무선 신호가 자신에게 허용된 주파수대역에서만 유의미한 에너지를 가지도록 도와준다. 그러나 이러한 필터의 생산과정에서는 제품의 일관성과 품질을 유지하기 위해 많은 어려움이 있다. 생산된 제품은 섬세한 튜닝 작업을 거쳐야 하는데, 이 작업은 전문적인 기술과 경험이 필요하며, 작은 변화도 큰 차이를 만들어내므로 매우 민감하다. 이를 해결하기 위해 전문적인 튜닝 작업자를 구하는 것은 어렵고, 이에 대한 자동화 기술에 대한 연구가 필요하다[1][2].

#### II. 본 론

프로그램 외부에서 설정파일을 활용하여 등가회로를 구현함으로써 시뮬레이션 프로그램이 특정 회로에 종속되지 않고 다양한 회로를 지원한다. 프로그램 구동을 위해 circuit1.txt 와 circuit2.txt 두 개의 설정파일이 필요하며, 각 파일은 소자 정보 및 회로 연결 위치에 관한 정보를 담고 있다. circuit1.txt 에는 소자의 이름, 일련번호, 유효임피던스값의 하한과 상한값, 초기값 등을 입력하고, circuit2.txt 에는 등가회로 연결 위치와 관찰 영역의 주파수 범위 등을 입력한다. 사용자는 튜닝 시뮬레이션 프로그램에서 초기 변화량과 허용 오차를

설정하여 튜닝을 조절할 수 있으며, Capacitor Only 옵션을 통해 회로 소자 중 Capacitor 만을 튜닝할지를 결정할 수 있다. 이를 통해 사용자는 튜닝 시뮬레이션을 자신의 요구에 맞게 조절할 수 있다.

튜닝에 사용된 알고리즘은 passband 와 stopband 에 대한 목표치와 현재 S parameter 응답값 사이의 오차를 계산하여 에러 함수를 도출하였다. 이 에러 함수는 passband 와 stopband 각각에 대해 조건을 만족하는 경우 0 의 값을 취하고, 그렇지 않은 경우 0 보다 큰 값을 반환하도록 설계되었다. 또한, 에러 함수의 계산에는  $\alpha$  및  $\beta$  라는 가중치 요소가 적용되었으며, 이들은 각각 0 과 1 사이의 값을 가지며, 합이 1 이 되도록 조절되었다. 이러한 에러 함수는 passband 와 stopband 내에서 조건을 충족하는지 여부에 따라 다르게 적용되었다. 또한, 모든 소자에 대해 적용되어야 하는 부분을 병렬처리 루프로 구현하여 속도 향상을 도모하였다. 이는 전체적인 연산의 효율성을 높이고 계산 속도를 향상시키는 데 기여하였다.

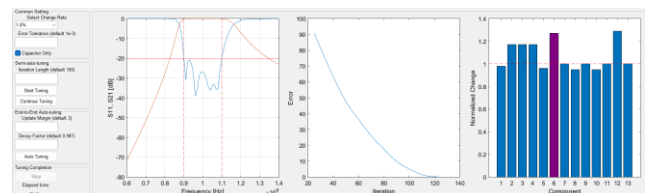


그림 1. 자동 튜닝 진행

그림 1 에 나타난 것처럼 자동 튜닝을 진행하면 3 개의 그래프가 나타난다. 주파수 응답 그래프를 통해 S11 과 S21 을 함께 나타내어 회로의 주파수 응답을 시각적으로 분석하였다. 또한, 에러 현황 그래프를 통해 튜닝된 값과 목표값 사이의 평균 오차를 시각화하여 튜닝 과정의 정확성을 확인하였다. 마지막으로, 소자의 임피던스값 변화 비율을 나타내는 그래프를 통해 업데이트된 소자값과 원래 소자값의 비율을 시각적으로 분석하여 소자의 변화 정도를 평가하였다. E2E 자동튜닝 모드는 Common Setting 그룹의 설정만으로 진입하고, Error Tolerance 가 만족될 때까지 초기 Change Rate 를 점차적으로 줄여가며 자동으로 튜닝이 계속된다. 이 과정에서 업데이트 마진 설정을 통해 에러 변화가 없을 때 조정율 업데이트까지 기다리는 iteration 을 설정할 수 있으며, 감쇠 계수 설정을 통해 조정율을 감쇠시키는 비율을 조절할 수 있다. 튜닝이 중단되면 Stop 버튼을 눌러 중단되며, 다시 Auto Tuning 버튼을 누르면 새로운 초기값으로 다시 튜닝이 시작된다.

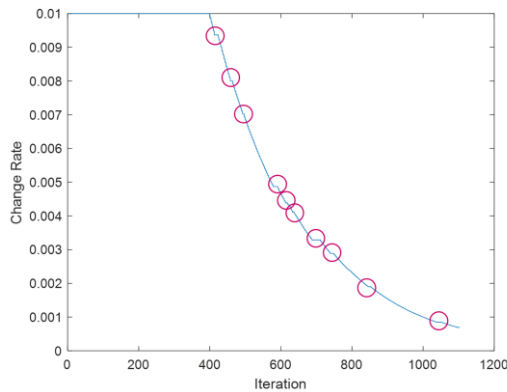


그림 2. 조정율 변화 추척

그림 2 에 나타난 것처럼 E2E 자동튜닝에서는 에러가 감소하지 않을 경우 자동으로 조정율을 줄이고 튜닝을 계속하여 에러를 감소시킨다. 이때 에러의 변화를 추적하여 목표치와의 에러가 허용치 이내가 될 때까지 튜닝을 진행한다. 튜닝 가능한 소자들에 대한 에러 계산 부분은 병렬처리를 통해 효율적으로 진행된다. 또한, 한계마진을 설정하여 튜닝의 보수적인 정도를 조절하며, 이를 통해 안정적인 튜닝 또는 빠른 튜닝을 선택할 수 있다.

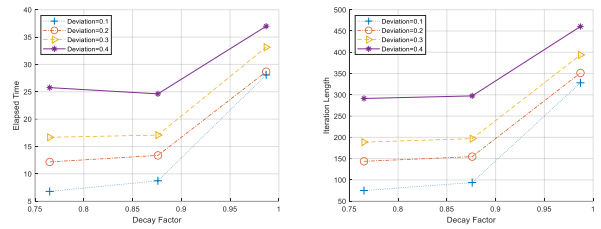


그림 3. 감쇠계수 파라미터의 영향

감쇠계수는 조정율을 감쇠시키는 비율을 나타내며, 다양한 감쇠계수를 실험하여 튜닝시간과 반복횟수를 확인한다. 더 큰 감쇠계수는 더 섬세한 조정을 가능하게 하지만 튜닝 시간을 늘릴 수 있다. 초기값 설정은 골든샘플로부터 랜덤하게 초기값을 설정하는데, 변화량이 클수록 튜닝 시간이 증가하는 것을 확인한다. 이러한 실험을 통해 튜닝 성능을 평가하고 개선한다.

### III. 결론

본 논문에서는 Cavity Filter 자동 튜닝을 위한 등가회로 기반 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다. 시뮬레이터는 물리적인 실험 과정 없이도 다양한 튜닝 시나리오를 빠르게 테스트할 수 있으며, 실험 환경에서의 위험을 없애준다. 또한, 다양한 시나리오를 테스트하여 필터의 성능을 체계적으로 분석하고 이해할 수 있으며, 교육 및 훈련에도 유용하게 사용될 수 있다. 이러한 자동화 기술을 통해 전체적인 개발 시간과 비용을 절감할 수 있으며, 연구 및 개발 활동을 촉진시킬 수 있을 것이라 기대된다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 학석사연계 ICT 핵심인재양성사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2024-2020-0-01832). 본 연구는 ㈜이랑텍의 지원을 받아 수행된 연구임.

### 참고 문헌

- [1] H. Kim et al., "Cavity Filter Design and Tuning for Wireless Communication Systems," Journal of Electrical Engineering, vol. 10, no. 3, pp. 123-131, 2023.
- [2] L. Smith and J. Doe, "Advances in Automated Tuning of RF Filters," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 68, no. 9, pp. 8503-8512, 2022.