2005년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2005. 7. 18 - 20

유한차분적 설계민감도 해석에 의한 마이크로 스트립 라인의 형상 최적화

김치형, 한상준, 최홍순 박일한
성균관대학교 전기전자공학과

Optimization of Microstrip Line by Finite Difference Design Sensitivity Analysis

Chi-hyoung Kim, Sang-joon Han, Hong-soon Choi,and Il-han Park
Department Electronic and Electrical Engineering Sungkyunkwan University

Abstract - 마이크로 스트립 선로는 제작상의 편의성으로 인해 많은 형태의 초고주파 회로에 다양한 구조로 적용된다. 하지만 실제 설계과정에서 다양한 형상에 따른 전자기적 해석이 쉽지 않고, 구조상의 불연속성은 시스템의 성능을 감쇄 시키는 원인이 된다. 본 논문은 마이크로 스트립 라인의 전자파 특성을 해석하고, 이로 인해 최적의 형상을 찾는 방법을 제시한다. 이 최적화 방법으로 유한 차분법 설계민감도 해석 방법을 도입하여 형상을 변화 시키며, 전자파 해석 툴을 이용하여 해석된 결과를 바탕으로 설계민감도를 계산하고 수정하므로 형상 최적화를 이룬다.

1. 서 론

전자파공학은 마이크로파 영역을 비롯한 고주파수 영역에서의 에너지의 발생, 전송, 수신 등에 대한 전반적인 시스템을 다루고 있다. 근래에는 급격한 기술적 발전을 이루고 있는 반도체 집적 기술이 적용되면서 Monolithic Microwave Integrated Circuits (MMIC)등과 같은 고속 양질의 전자파 소자의 대량 생산을 가능케 했으며, 이들을 응용한 다양한 System On Chip (SOC) 개념의 전자파 소자 부품의 연구가 활발히 진행되어지고 있다.

이들 고성능의 전자파 소자 및 시스템들의 요구조건으로 최소의 return loss를 가지는 범위 안에서 각각의 수동 및 능동 소자의 집적이 필수적이다. 일 예로, 마이크로 스트립 회로는 제작하기 쉽고 능동 및 수동 소자를 편리하게 집적할 수 있기 때문에 많은 형태의 초고주파 회로에 마이크로 스트립의 형태를 적용하게 된다. 그러나 마이크로 스트립 회로의 기존 설계에서의 문제점중의 하나는 휘어진 부분과 폭에서의 계단형 변화, 그리고 접합점에서의 피할 수 없는 불연속점을 포함하고 있고, 이것이 원인이 되어 이 회로의 성능을 감쇄시킨다. 이러한 효과를 제거시키기 위해 도체의 모서리를 죽이는 방법 등으로 불연속성 효과를 최소화하는 것이다.

이러한 일련의 설계과정은 지금까지는 직접 제작하여 계속적인 측정과 재조정 등의 수작업과 함께 전자기장 해석 시뮬레이터 등의 컴퓨터소프트웨어 도구를 이용하여 수행되어져 왔다. 그러나 이들 결과물이 최적 설계 상태인지에 대한 판단에도 명쾌한 방법이 없이 실험과 해석에 따른 경험적인 판단에 의지하고 있다. 또한 이와 같은 과정이 후속 모델의 개발에 반복되면서 이로 인한 설계 비용의 증가 및 개발 속도의 저하를 야기하게 된다. 이는 설계 및 개발 과정의 효율 극대화에 중요한 문제점으로 지적되고 있다[1,2].

따라서 본 논문은 전자파 해석 툴을 최대한 활용하면서, 최적화 이론 중에서 특히 설계 민감도 해석이 적용된 최적화 기법을 제시하고, 이를 마이크로 스트립 라인의 형상최적화에 응용하였다.

2. 본 론

2.1 설계민감도 해석을 이용한 최적화 형상 디자인

전자파소자에 적용된 대표적인 최적화 방법으로 민감도 계산 결과를 이용한 최적화 기법이 있다. 특히 본 논문에서는 유한 차분적 설계 민감도 해석을 적용하였다.

최적화 방법의 주요 내용은 다음과 같다. 형상을 결정하는 곡선이나 곡면들로 구성된 전자파 시스템은 CAD 도구등으로 컴퓨터 모델링이 되어진 후 FEM이나 FDTD등의 수치해석방법을 통해 전자장 해석이 이루어진다. 그리고 이 field결과들로부터 해석 영역에서의 입력에너지에 대한 출력에너지의 비를 각 포트당 반사계수와 전달계수의 값으로 계산되어진다. 그 다음 이들로부터 시스템의 특성을 파악하게 된다. 이때 곡선이나 곡면들의 형상을 결정하는 다수의 포인트 들을 설계변수로 정하고 이들 설계 변수들의 미소 변위에 대한 반사계수와 전달계수의 변화를 얻어 민감도 값을 얻게 된다. 특히 마이크로스트립 라인의 경우 반사계수의 값이 브로드 밴드의 주파수 영역내에서 최소가 되도록 해야 한다.

따라서 목적함수를 다음과 같이 정의한다.

$$F = \sum_{i=1}^{nf} (\Gamma_i - \Gamma_0)^2 \qquad (1)$$

여기서

nf : 최적화 하고자하는 주파수영역내의 총 주파수의 개수

i : i번째 주파수에서의 반사계수

0 : 얻고자 하는 반사계수의 최소값

이 목적함수의 민감도는 다음과 같다.

$$j = 1, 2, \ldots, np \qquad (2)$$

$$\frac{dF}{dp_j} = 2\sum_{i=1}^{nf}(\Gamma_i - \Gamma_0)\frac{d\Gamma_i}{dp_j}$$

여기서

pj : 곡선이나 면상의 j번째 설계변수

윗식 (2)의 우변의 반사계수에 대한 설계변수의 미분은 다음과 같이 근사화 했다.

$$\frac{d\Gamma_i}{dp_j} \cong \frac{\Delta\Gamma_i}{\Delta p_j} \qquad (3)$$

즉 본 논문에서는 미분치를 얻기 위해 finite difference 방법에 의해 근사적으로 얻도록 했다.

각 control point를 미소하게 변하게 한 다음 반사계수의 결과값을 얻고 이전의 반사계수값과의 차이를 계산하여 미분정보의 근사값을 얻도록 한 것이다.

그리고 이 민감도를 얻기 위한 시스템의 전자파 해석을 위해 기존의 상용 소프트웨어를 이용한다. 그리고 해석결과 얻어지는 관련 데이터를 최적화 알고리즘에 적용하여 시스템의 형상을 나타내는 설계 변수의 위치를 수정해 나간다[3,4]

2.2 해석 모델의 설정

본 논문에서 제시된 전자파 소자의 형상 최적화 방법을 적용하기 위해 간단한 모델을 정하였다.

이를 그림 1에 보였다.

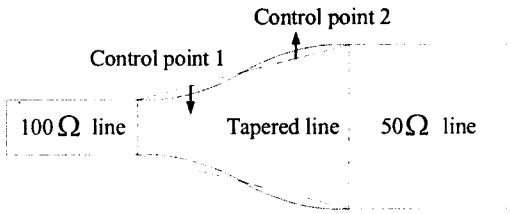

그림. 1. Tapered Line의 형상 최적화 개념도

그림1은 특성임피던스가100 인 마이크로 스트립 라인과 특성임피던스가 50 인 마이크로 스트립 라인을 연결하는 Tapered Line 의 형상을 최적화 하는 개념을 보여주고 있다.Tapered Line 의 Edge형상은 몇 개의 제어점으로 표현되는 Cubic-spline으로 그려진다.

이 모델에 적용된 마이크로 스트립 라인의 Substrate 는 thickness 가 1.27 mm 이며, 재질의 dielectric constant 는 2.2 이다. 또한 마이크로 스트립 라인의 폭은 Substrate 의thickness와 dielectric constant 와 특성임피던스에 따른 근사공식에 의해 정했다. 따라서 100 오옴 라인의 폭은 1.138 mm 이고 50오옴 라인의 폭은 3.91 mm 로 정했다. 또한 이 모델의 전자파 해석시 기준이 되는 주파수를 10GHz로 가정해 보았다. 이때 파장은 약 29.97mm 가 되는데, 이 파장의 λ/4 가 되는 길이를 Tapered Line의 길이로 정했다[2].

이 Tapered Line의 Edge형상을 정하는 spline 곡선은 적게는 3개 이상 많게는 수십개의 제어 포인트로 그려질 수 있다. 그에 따라 spline의 곡률을 조절하는 자유도도 증가하게 된다. 이들 제어 포인트들을 적절히 조절하게 되면 단순 직선으로 표현되는 형상을 부드러운 곡선의 형상으로 쉽게 조절 할 수 있다. 이와 같은 원리로 그림 1과 같이 제어 점을 변동 시켜 Tapered Line의 형상을 바꾸게 된다[5].

이와 같이 정해진 마이크로 스트립 Tapered Line은 전자기파 전용 해석 툴을 이용하여 필드 해석을 하게 되고 그 결과로 전자파 기기의 신호 전달 특성을 나타내는 기본적인 파라메터인 scattering parameter data를 얻게 된다. 특히 이 모델에서는 reflection coefficient 값을 목적함수의 인자로 정하고 제어변수를 spline 곡선을 결정하는 각 point 들로 정하게 된다.

이와 같이 해서 최적화 알고리즘에 적용하게 된다.

2.3 최적화 형상의 결과

실제 예로 Tapered line의 형상을 구성하는 spline의 중간 제어포인트 2개를 Control variable로 정하였다.

이들 중 point 1을 고정시키고 point 2를 변동 시켜서 최적치의 값을 찾도록 했다.

최적화 된 반사계수의 값을 기존의 이론적으로 제안된 Exponential Tapered line 및 초기형상과 비교하여 그림 2에 보였다.

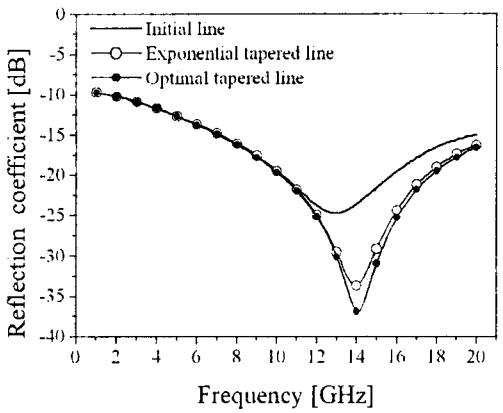

그림. 2. 초기형상, exponential tapered line과 최적화수행후의 tapered line 의 반사계수의 결과 비교

또한 이 세 경우에 해당하는 Tapered line 형상을 그림 3에 비교해 보였다.

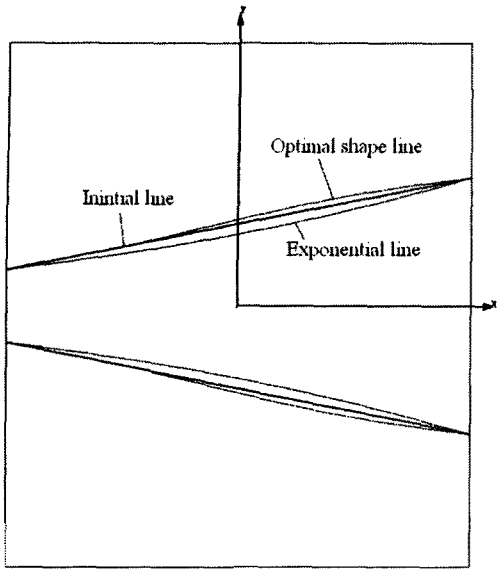

그림. 3. 초기형상, exponential tapered line과 최적화수행후의 tapered line 의 형상비교

이들 결과로부터 본 논문에서 제시된 최적화 알고리즘이 tapered line 의 성능을 향상시킴을 확인했다.

3. 결 론

본 논문은 마이크로 스트립 형상을 변화시켜 시스템 성능 저하를 최소화 시킬 수 있는 최적의 형상을 찾는 방법을 제시하였다. 이 최적화 방법으로 Finite difference 방법에 의한 근사화된 접근법을 도입하였으며 형상의 변화를 위해 다수의 제어점으로 곡률이 정해지는 spline을 사용 하였다. 특히 본 논문에 예로 보인 전형적인 Tapered line의 형상 최적화는 제어변수로 spline 곡선의 중간 두개 점을 이용하였다. 그러나 실제적인 최적화를 위해 더 많은 제어점을 이용하거나, line의 길이 및 두께까지도 설계 제어 변수로 고려 될 수 있다. 이를 통해 얻은 최적화된 결과는 이론 공식적으로 제시되어지는 설계상의 한계를 극복할 수 있으리라 보인다. 또한 전자파 해석 결과 얻게 되는 시스템의 Scattering parameter를 바로 이용하므로 상용 전자파 해석용 툴의 활용이 가능해 진다. 이와 같은 전자파 시스템의 형상최적화 방법은 스트립라인 뿐만 아니라 다양한 형태의 전자파 시스템의 형상 최적화에 응용되어질 수 있다고 본다.

[참 고 문 헌]

[1] David J. Griffiths, *Introduction to Electrodynamics*, 2nd ed.,New Jersey: Prentice Hall, 1989.

[2] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, 2nd ed., New York: John Wiley & Sons, 1998

[3] I.H. Park, *Sensitivity Analysis for shape Optimization of Electromagnetic Devices*, Ph.D. Dissertation, Seoul National University, Korea, 1990

[4] Y.S. Chung, C. Cheon, I.H. Park, and S.Y. Hahn, "Optimal Shape Design of Microwave Device Using FDTD and Design Sensitivity analysis," *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. 48, no. 12, pp. 2289-2295, December 2000

[5] Joon-Ho Lee, Dong-Hun Kim, and Il-Han Park, "Reduction of Back-EMF Harmonics of Permanent Magnet Motor by Continuum Shape Design Sensitivity with B-Spline Parametrization", *IEEE Trans. on Magnetics*, Vol.39, No.3, May 2003, pp.1269-12