

수동소자를 이용한 마이크로스트립 구조의 등가회로 모델링에 관한 연구

백 현*, 김군태*, 권소현*, 강승택**, 김형석*
 중앙대*, 인천대**

Study of equivalent circuit modeling for microstrip structure using passive component

Hyun Paek*, Kun-Tae Kim**, So-Hyun Kwon**, Sung-Tek Kahng**, Hyeong-Seok Kim**

Chung Angn University*, Chung Ang University**, Chung Ang University**, Incheon University**, Chung Ang University**

Abstract - In this paper, we propose a method that applies Vector Fitting(VF) and Adaptive Frequency Sampling(ASF) technique to the equivalent circuit model for RF passive components. VF and ASF schemes are implemented to obtain the rational functions. S parameters of the equivalent circuit model is compared to those of EM simulation in case of the microstrip structure with coupled bandpass filter.

(2),(3),(4)와 같다.

$$Y1 = \frac{D-1}{B} \tag{2}$$

$$Y2 = \frac{1}{B} \tag{3}$$

$$Y3 = \frac{A-1}{B} \tag{4}$$

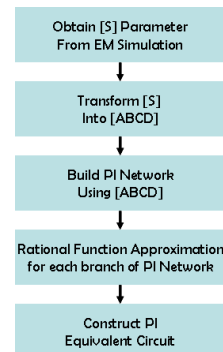
1. 서 론

오늘날 휴대용 무선 통신기기는 디지털 화로부와 RF 회로부를 하나의 PCB에 통합하면서 소형화 되어가고 있다. 이런 흐름으로 점점 EMI/EMC 문제가 커지고 있다. EMI/EMC 문제 중의 하나인 PI(Power Integrity)/SI(Signal Integrity)를 해석하기 위해서는 3D EM Simulation을 통한 주파수 응답데이터와 입력신호의 주파수 응답데이터의 곱의 IFFT를 구해서 시간영역에서의 입력신호 응답을 찾아내는 방법을 이용하였다. 하지만 이러한 방법은 시간 소요가 오래 걸린다는 단점이 있다. 이러한 문제점의 해결방안으로 수동소자를 이용한 등가회로 모델링에 관한 연구가 가속화되고 있다.[1] 본 논문에서는 Vector Fitting(VF)과 Adaptive Frequency Sampling(ASF)를 MATLAB에 적용하여 마이크로스트립 구조의 3D EM Simulation결과를 유리함수 근사화하고 이 결과를 이용해 수동소자의 등가회로 모델링하는 방법을 제안한다.

ASF를 이용해서 구한 초기 Pole 집합을 유리함수 표현인 Foster canonical partial fraction expression 인 식(5)에 대입한 후 VF방법을 사용하여 유리함수를 근사화 한다.

$$[Y(s)] = [A_0] + [A_{\infty}]s + \sum_{k=1}^N \frac{c_k}{s-a_k} [A_k] + \sum_{k=1}^N \left(\frac{c_k}{s-a_k} + \frac{c_k^*}{s-a_k^*} \right) [A_k] \tag{5}$$

다음 그림 2는 등가회로 모델링의 전체적인 Flow Chart를 나타내었다.



〈그림 2〉 등가회로 모델링의 Flow Chart

2. 본 론

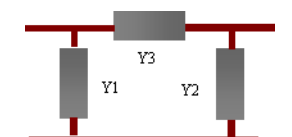
2.1 Adaptive Frequency Sampling, Vector Fitting 을 이용한 유리함수 근사

3D EM Simulation결과를 유리함수로 근사화 시키는 방법으로는 VF를 이용하였다. VF는 초기 pole의 정보를 가지고, 식(1)을 반복적으로 풀어서 근사화 시키는 방법이다. 따라서 초기 Pole이 좋을수록 계산시간이 단축된다.[2] 초기 Pole을 결정하기 위해서 본 논문에서는 ASF방법을 도입하였다.

$$f(s) = \sum_{n=1}^N \frac{c_n}{s-a_n} + d + sh \tag{1}$$

ASF 방법을 통해서 최소차수와 초기 Pole 집합을 구하도록 한다. ASF방법은 2개의 서로 다른 유리함수를 정해진 차수에 따라 두 함수의 차가 일정 조건에 수렴하도록 반복하는 방법과, EM Simulation의 주파수 응답과 어떤 유리함수의 차수를 증가시키면서 비교하여 일정 조건을 만족할 때 멈추는 방법이 있다. 본 논문에서는 두 번째의 EM Simulation의 주파수 응답과 어떤 유리함수의 차수를 증가시키면서 비교한 방법을 사용하였다.

먼저 EM Simulation의 주파수 응답 결과 S-Parameter를 이용해 ABCD Parameter를 구하고 그 결과를 이용해서 그림 1의 PI형 등가회로의 Y1, Y2, Y3를 구한다.



〈그림 1〉 PI형 등가회로의 구성

Y1, Y2, Y3를 ABCD Parameter를 이용해서 표현하면, 다음 식

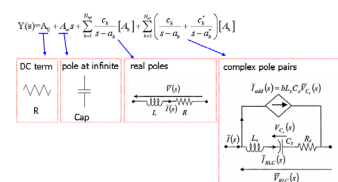
ASF 방법을 적용할 때 업데이트 되는 주파수 지점은 식(6)과 (7)을 만족하는 2개의 주파수 점을 선택하여 ASF 주파수 집합에 추가하였다.

$$\begin{aligned} \text{Mag}(\text{estimated fitting error}) &> \text{magnitude - threshold}(-60\text{dB}) \tag{6} \\ \text{Phase}(\text{estimated fitting error}) &> \text{magnitude - threshold}(5\text{deg}) \tag{7} \end{aligned}$$

식(6), (7)을 만족하는 지점을 선택하여 주파수 지점을 업데이트 한 후 식(8)을 만족할 때까지 유리함수 모델의 차수를 증가시켜 유리함수의 차수와 VF에 사용될 초기 pole 값을 결정하였다.

$$dB(|Y_{ref}(jw) - Y_{fit}(jw)|) < -60 \tag{8}$$

2.2 유리함수 근사를 이용한 등가회로 구성



〈그림 3〉 유리함수 근사를 통한 각각의 등가회로 구성

PI형 등가회로 모델의 각각의 Banch 구성이 그림 3에 나타나 있다.[5] complex conjugate pairs 에 관한 설명은 아래의 식과 같다. complex conjugate pole pairs에 대한 주파수 응답에 대한 전달함수를 표현하면 식(9)와 같이 된다.

$$F(s) = \frac{res_1}{s-p_1} + \frac{res_2}{s-p_2} \quad (9)$$

$$= \frac{(res_1 + res_2)s - (res_1p_2 + res_2p_1)}{s^2 - (p_1 + p_2)s + p_1p_2}$$

$$= \frac{as}{s^2 + sc + d} + \frac{b}{s^2 + sc + d}$$

여기서 $a = res_1 + res_2$, $b = -(res_1p_2 + res_2p_1)$ 이다. 식 (9)의 결과 식에서 첫 번째 항은 직렬 RLC 회로로 변환이 되고 2번째 항은 커패시터 양단에 걸리는 전압을 이용한 VCCS로 표현이 된다. Complex pole pairs 에 대한 등가회로가 L_s , R_s , C_s , 그리고 VCCS 로 구성 된다고 하면, 각각의 소자값은 식(10),(11), (12), (13)으로 표현 된다.

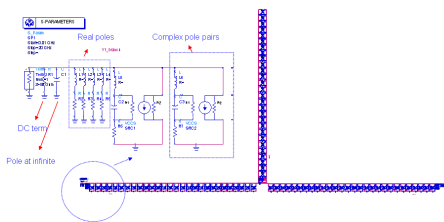
$$L_s = \frac{1}{(res_1 + res_2)} \quad (10)$$

$$R_s = -\frac{p_1 + p_2}{res_1 + res_2} \quad (11)$$

$$C_s = \frac{res_1 + res_2}{p_1p_2} \quad (12)$$

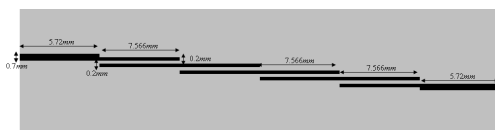
$$VCCS_{controlling\ factor} = bL_sC_s \quad (13)$$

다음 그림 4는 유리함수 근사를 통해 각각의 Branch를 구성하고 ADS를 이용해 PI형 등가회로 모델링을 한 그림이다.



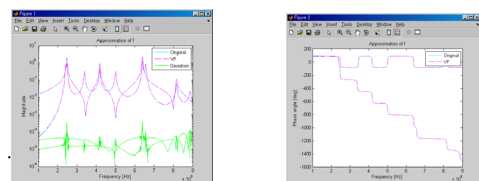
〈그림 4〉 PI형 등가회로의 구현

2.3 Microstripline 구조의 등가회로 모델링 및 시간영역 해석 결과

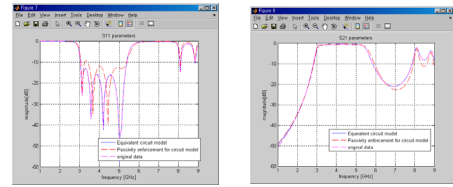


〈그림 5〉 Coupled bandpass filter

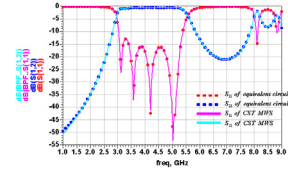
그림 5에서 $\epsilon_r = 9.9$, 두께가 0.509[mm] 인 기판이 사용되었다. 그림 5의 구조를 CST MWS로 해석 한 후 [S] Parameter를 추출 하였다. 추출한 [S]를 [ABCD]로 변환한 후 AFS 및 VF를 이용하여 유리함수로 근사한 결과를 그림 6에 나타내었다. 그림 6의 유리함수 결과를 이용하여 MATLAB에서 구한 S Parameter 결과를 그림 7에 나타내었다. 그림 8, 9는 ADS를 이용한 등가회로 주파수 응답 및 TDR 해석 결과이다. 등가회로 모델과 실제 모델의 해석 결과가 잘 일치함을 알 수 있었고, TDR 입력 신호를 인가 했을 때, 등가회로에서도 지연 특성을 볼 수 있었다.



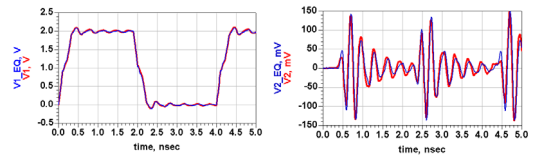
〈그림 6〉 ASF 및 VF를 적용한 유리함수 근사 결과



〈그림 7〉 유리함수 근사를 이용한 S_{11} , S_{21}



〈그림 8〉 등가회로 모델과 EM 해석의 S_{11} , S_{12} 의 비교



〈그림 9〉 등가회로 모델링의 TDR 해석 결과

3. 결 론

집지 면이 파여 있는 마이크로 스트립 선로의 0.01[GHz] ~ 12[GHz] 주파수 해석 결과에 VF와 ASF를 적용하여 유리함수 근사화한 결과를 등가회로 를 구현하였다. 실제로 EM 해석 결과와 등가회로 모델의 주파수 영역 해석 결과가 유사함을 확인할 수 있었다. 앞으로 3차원 EM 해석 대신에 등가회로 모델을 이용하면 EMI/EMC분석을 할 경우 시간단축을 할 수 있는 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2005-7-135)주관으로 수행된 과제임.

[참 고 문 헌]

- [1] Sung Hwan Mn, Swaminathan. M, "Construction of broadband passive macromodels from frequency data for simulation of dis-tributed interconnect networks,"IEEE Trans. Electromagnetic compatibility, vol. 46, no.4 pp. 544-558, Nov, 2006.
- [2] Mekonnen.Y.S, Schutt-Aine,J, Jilin Tan, Kumar. C Milosevic.D, "Combining rational interpolation with the vector fitting method", Electrical Performance of Electronic Packaging, 2005. IEEE 14th Topical Meeting on., pp. 51-54 ,Oct, 2005.
- [3] T. Dhaene.J. Ureel, N. Fache, D.De Zutter "Adaptive frequency sampling algorithm for fast and accurate S-parameter modeling of general planar structures", IEEE MTT-S int. Microwave Symp. Dig., pp. 1427- 1430, May, 1995.
- [4] Bjorn Gustavsen, Adam.S, "Rational approximation of fre-quency domain responses by vector fitting", IEEE Trans on Power Delivery, vol. 14, no.3 , July. 1999.
- [5] Giulio Antonini, "SPICE Equivalent Circuit of Frequency-Domain Responses", IEEE Trans on Electromagnetic compati-bility, vol. 45, no.3, pp.502-512, Aug. 2003.