

Electromagnetic Topology를 이용한 PCB상에서의 EMC 해석

권오록*, 박윤미*, 정현교*, 소준호**, 장훈**
 서울대학교 전기공학부*, 국방과학연구소**

Analysis of printed circuit boards based on electromagnetic topology

Oh-Wook Kwon*, Yoon-Mi Park*, Hyun-Kyo Jung*, Jun-Ho So**, Hun Jang**
 Seoul National University*, Agency for Defense Development**

Abstract - PCB상에서의 집중정수 소자를 분석하기 위해 Electromagnetic Topology를 이용한다. 복잡한 시스템에서 EM Coupling 문제를 수치해석이나 실험을 통해 구하기는 어렵다. 이런 복잡한 시스템에서 Electromagnetic Topology 방법을 통하여 EMC 해석을 하는 것은 유용할 것이다. 간단한 회로로 된 PCB를 통하여 이 방법에 대하여 검증해볼 것이다.

1. 서 론

Electromagnetic topology(EMT)의 목적은 복잡한 시스템의 EM Coupling 문제를 간단히 분석하기 위함이다. EMT의 해석과정은 우선 복잡한 시스템을 해석하기 쉬운 작은 단위로 나누는 것에서부터 시작한다. 그리고 나뉘어진 각 단위의 특성값을 구한 후 전체 시스템으로 다시 각 단위를 합친다. 합쳐진 시스템을 해석하기 위하여 junction과 tube로 이루어진 네트워크를 사용한다. 규모가 큰 시스템에서의 해석을 용이하게 하기 위하여 사용된 topology를 EM 해석문제에 적용하여 topology 해석의 장점을 이용하는 것이다.

Baum-Liu-Tesche(BLT) 방정식은 1980년대 Baum, Liu, Tesche 3명에 의해 연구된 EM 해석 방법이다. 복잡한 시스템에서 전송 선로 이론을 이용한 시스템 행렬방정식을 통해 전송 선로 이론만을 이용한 해석보다 좀 더 쉽게 해석할 수 있게 한다. High power microwave(HPM)이나 ultra wide-band(UWB)의 해석에 적용하여 해석을 쉽게 할 수 있으며, high power electromagnetic(HPEM)과 같은 군사적인 공격무기 개발에서도 EM 해석에 적용시킬 수 있다[1].

위와 같은 방법으로 PCB 기판을 분석한 결과를 확인하기 위하여 상용 시뮬레이션툴을 사용하여 검증하였다.

2. 본 론

2.1 BLT 방정식

이 논문에서는 PCB상에서 각 소자를 네트워크 상에서의 junction으로 보았으며 각 소자 사이의 연결선을 tube로 보았다. 회로에 인가된 소스의 coupling은 tube에 인가되는 generator W_s 로 표시하였다. 네트워크에서 분석을 통하여 각 junction에서의 입사파 $W(L)$ 과 반사파 $W(0)$ 을 구한다. 각 junction에서의 특성으로 입사파와 반사파 사이의 coupling을 표시하는 scattering supermatrix $[S]$ 로 표시한다. tube에서의 전파되는 신호를 나타내는 것으로 propagation supermatrix $[\Gamma]$ 로 하며 source term으로 $[W_s]$ 로 나타낸다.

전송선로 이론을 이용하여 한 지점에서의 입사파, 반사파와 전원에 의한 영향을 전압식으로 유도한다. 손실 값이 있는 경우 전송선로 위치에 따른 손실도 고려한다. 전송선로의 특성임피던스, S파라미터, 반사계수는 이미 주어졌다고 본다. 그리고 각 노드, 즉 junction에서의 전압식을 구하고 행렬식으로 정리될 수 있다. 마찬가지로 전류에 대해서도 전송선로 이론을 이용하여 구할 수 있다. 그리고 이를 이용하여 각 junction에서의 식을 구하고 전체 시스템에 관한 행렬식으로 구성될 수 있다.

이렇게 유도된 네트워크의 coupling을 설명한 BLT 방정식은 다음 식과 같다[1-3].

$$[W(0)] = ([I] - [S] \times [\Gamma])^{-1} \times [S] \times [W_s] \quad (1)$$

$$[W(L)] = [\Gamma] \times [W(0)] + [W_s] \quad (2)$$

$$[W_{total}] = [W(0)] + [W(L)] \quad (3)$$

BLT 방정식은 propagation supermatrix $[\Gamma]$, scattering supermatrix $[S]$ 와 supervector $[W_s]$ 로 구성된다. Propagation supermatrix $[\Gamma]$ 는 전체 회로에서 tube에서의 모든 전파상수를 나타낸다. Scattering supermatrix $[S]$ 는 junction에서의 scattering 상수를 나타낸다. 즉, 전체 회로에서 junction에서의 입사파와 반사파의 관계를 나타낸다. Supervector $[W_s]$ 는 junction에 인가된 source를 나타낸다.

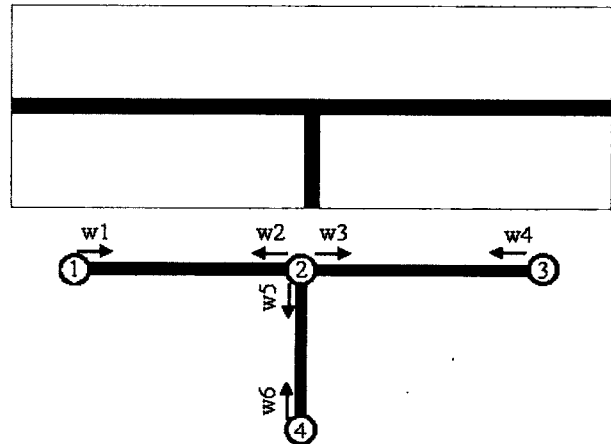
BLT 방정식을 통해 네트워크에서 모든 연결과 coupling을 나타낼 수 있다.

2.2 해석 모델

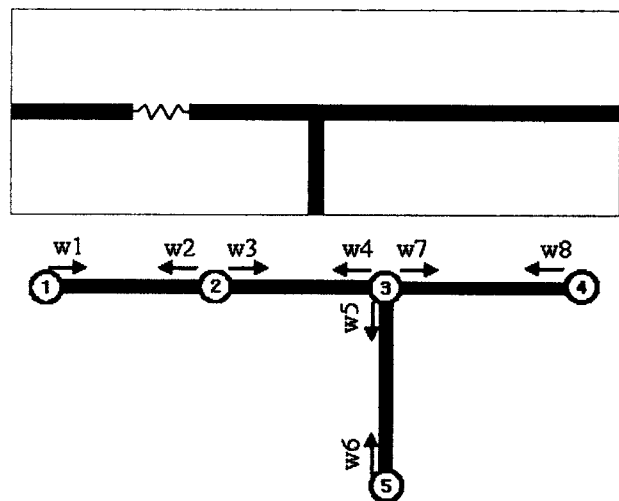
이 논문에서 해석할 모델은 T모양의 라인만 있는 마이크로스트립 라인 모델과 하나의 집중소자로 50Ω 저항이 포함된 마이크로스트립 라인 모델이

다. <그림 1>이 기본 마이크로스트립 라인 모델이다. 이 모델은 T모양의 3개의 마이크로스트립 라인으로 구성된다. 라인의 끝단은 모두 termination 되어 50Ω으로 임피던스 정합되어 있으며 1,3,4번 junction으로 정한다. 전송선이 만나는 중앙점을 2번 junction으로 정하며 각 junction을 이어주는 연결선을 tube로 한다. <그림 2>가 50Ω 저항이 포함된 마이크로스트립 라인 모델이다. 첫 번째 모델에서 1번과 2번 junction 사이에 50Ω 집중소자 저항이 위치하며 저항은 2번 junction으로 표현된다.

각 tube에는 서로 다른 방향으로 전파하는 두 가지 파 w_i, w_j 가 있다. 첫 번째 모델에서 보았을 때 1번 junction의 경우 w_2 가 입사파가 되며 w_1 은 반사파가 된다.



<그림 1> 저항이 없는 모델



<그림 2> 50Ω 저항이 있는 모델

2.3 해석 방법

2.3.1 Matrix 구성 방법

첫 번째 모델을 바탕으로 BLT 방정식에 쓰이는 행렬을 구해보면 Junction에서의 scattering supermatrix는 <표 1>과 같다. 입사파 $w(j)$ 와 반사파 $w(i)$ 의 관계 S_{ij} 를 하나의 행렬로 표시한 것이다. 1번 junction의 경우 w_2 로 들어가고 w_1 으로 나오는 반사계수 S_{11} 이 1행 2열에 $1(S_{11})$ 로 표시되

며 w1, w4, w6로 입사하여 w2, w3, w5로 나올 때 2번 junction의 S파라미터가 표시된다. 3번, 4번 junction의 경우는 1번 junction과 마찬가지로 S₁₁ 만이 쓰인다. 행렬의 채워지지 않은 부분은 모두 0인 6×6 행렬이다.

각 tube의 특성값을 나타내는 propagation supermatrix는 <표 2>와 같다. w1과 w2사이의 S₁₂파라미터가 tube1이 되며 w3, w4 사이의 S₁₂파라미터가 tube2, w5, w6사이의 S₁₂파라미터가 tube3가 된다.

Junction에 인가되는 source를 나타내는 Supervector는 <표 3>과 같다. 전압원이 1번 tube 상에 있으므로 그 tube에 연결된 junction에만 영향을 준다. 그래서 1번, 2번 junction에 같은 전압이 인가되는 것으로 표현된다.

In \ Out	w1	w2	w3	w4	w5	w6
w1		1 (S ₁₁)				
w2	2 (S ₁₁)			2 (S ₁₂)		2 (S ₁₃)
w3	2 (S ₂₁)			2 (S ₂₂)		2 (S ₂₃)
w4			3 (S ₁₁)			
w5	2 (S ₃₁)			2 (S ₃₂)		2 (S ₃₃)
w6					4 (S ₁₁)	

<표 1> Scattering supermatrix

tube1	0	0	0	0	0
0	tube1	0	0	0	0
0	0	tube2	0	0	0
0	0	0	tube2	0	0
0	0	0	0	tube3	0
0	0	0	0	0	tube3

<표 2> Propagation supermatrix

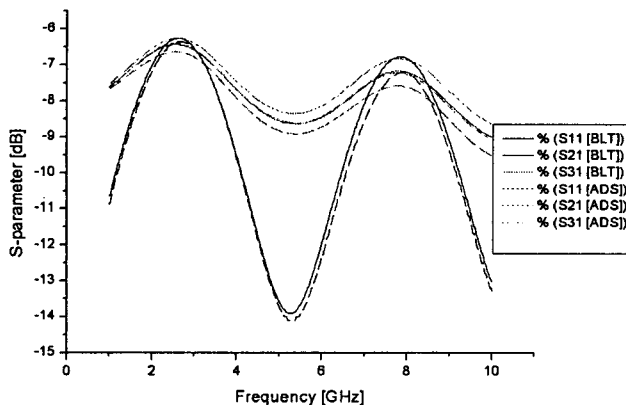
W _s
W _s
0
0
0
0

<표 3> Supervector

2.3.2 저항이 없는 모델

BLT 방정식을 만들기 위해 모든 tube에서의 전파상수, junction에서의 scattering 파라미터와 junction에 인가되는 소스에 관한 파라미터가 필요하다. 그리고 라인의 손실 값이 고려되어야 한다. Junction은 T-junction과 라인 termination으로 구성된다. 라인의 termination에서는 임피던스 정합을 통해 반사계수가 0이다. 이 모델에서는 병렬 전압원을 포함한다. 그래서 tube에 연결된 전압원은 그 tube에 연결된 양쪽 junction으로 동일한 전압이 인가된다.

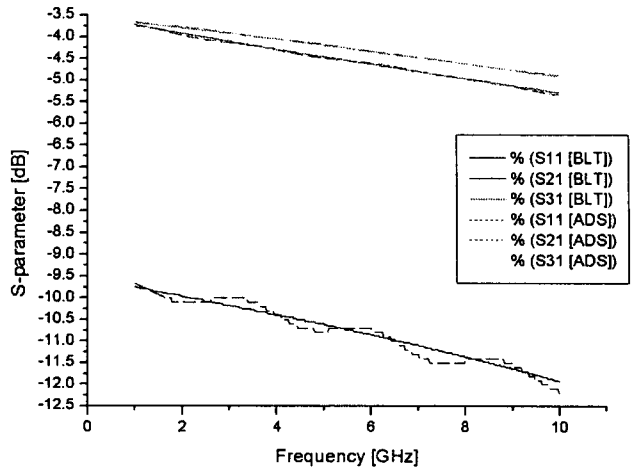
이렇게 구해진 파라미터들은 BLT 방정식의 supermatrix를 구성한다. 그리고 BLT 방정식에 의한 결과는 <그림 3>에 나타나있다. 그리고 시뮬레이션 결과를 통해 BLT 방정식으로 나온 결과에 대해 검증해 볼 수 있다.



<그림 3> 저항이 없는 모델의 해석 결과

2.3.3 50Ω 저항이 있는 모델

집중소자로 50Ω 저항을 추가하여 저항이 없을 때와 같은 방법으로 BLT 방정식을 이용하여 해석하였다. 그리고 역시 시뮬레이션 물에 의한 결과를 통해 검증해 볼 수 있다. <그림 4>를 통해 결과를 볼 수 있다.



<그림 4> 50Ω 저항이 있는 모델의 해석 결과

3. 결 론

이 논문에서는 Electromagnetic topology를 위한 BLT 방정식이 scattering supermatrix, propagation supermatrix와 supervector을 이용하여 구성되었다. 그리고 PCB 상에서의 EM coupling 문제를 분석하는데 적용하여 시뮬레이션 결과를 통해 검증하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] F.M. Tesche, and C.M. Butler, "On the Addition of EM Field Propagation and Coupling Effects in the BLT Equation", Interaction Note submitted to AFRL, Dec. 2003
- [2] F.M. Tesche, J.M. Keen and C.M. Butler, "Example of the user of the BLT equation for EM field propagation and coupling calculation", Radio Modern Science, March. 2005
- [3] David M. Pozar, "Microwave Engineering", pp. 176, 185-187, WILEY, 2005