

외부 전자파에 의해 발생하는 PCB 상의 노이즈 해석

한승문*, 황선목*, 허창수*, 서유진**, 최진수***
 인하대학교*, 서진설계기술단**, 국방과학연구소***

Analysis for Noise on PCB due to External Electromagnetic-Wave Penetration

Seung-Moon Han*, Sun-Mook Hwang*, Chang-Su Huh*, Yu-Jin Seo**, Jin-Su Choi***
 INHA University*, Seo-Jin Engineering and Consultancy company**, ADD***

Abstract - External electromagnetic penetration occurs hazard effects on electronic and electrical systems. complementary full wave analysis method need much of analysis time, memory. But BLT method need less time, memory. BLT method need to decouple the system into each volumes and surfaces for setting tubes and junctions. When 1 V/m impulsive EMP noise penetrates into PCB strip line(w=2mm, L=6cm), ringing wave appears at each loads attached in strip-line. Its frequency is 91.8MHz.

1. 서 론

현대 전자회로 및 전기 및 전자 시스템의 핵심이 되는 요소는 집적 회로소자(Integrated Circuit; IC)다. IC는 기본적으로 PCB 혹은 PCB의 소켓상에 장착되어 있다. EMI/EMC 문제에서 외부에서 발생하는 고의적 혹은 우발적 전자파가 전기 및 전자 시스템이 미치는 영향은 결과적으로 IC의 입력 및 출력 핀에 인가되는 비이상적 과전압 및 전류에 기인한다. 실제로 2kV/m의 임펄스성 노이즈에 의해 노트북 컴퓨터가 오동작을 일으켰다는 보고가 있다. [1]

시스템에 대한 EMI/EMC 문제에 대한 해석은 실제적인 실험과 컴퓨터 시뮬레이션이 병행된다. 실험은 EMI/EMC 시뮬레이터와 여러 가지 계측장비를 통해 EUT에 대한 영향을 평가한다. 또한 컴퓨터 시뮬레이션의 경우 FDTD, FEM, FIT, MoM 등의 Full wave 컴퓨터 해석방법을 통해 예측하게 된다. 실제 실험의 경우 실험을 하기 위한 시뮬레이터의 크기가 매우 크고 계측 장비 역시 고가이기 때문에 필연적으로 모델링을 통한 컴퓨터 시뮬레이션이 필요로 하게 된다.

그러나 위에서 언급한 full wave 컴퓨터 해석방법은 컴퓨터의 수많은 저장공간과 해석시간을 요구하므로 해석할 수 있는 경우가 제한적이다. 안테나를 비롯한 RF관련 소자들은 full wave 해석방법으로 해석할 때 데이터 저장공간과 해석시간이 상대적으로 적으나 배, 비행기, 자동차 등 수 많은 전송선과 부하들로 구성된 시스템의 경우 그 해석이 매우 어렵고 때때로는 불가능하기도 하다.

실제로 외부에서 인가된 전자기파가 시스템 내부로 침입할 때 대부분의 전자기파는 전송선에 전압 및 전류를 유기한다. 즉 외부에서 발생하는 전자기파에 의한 시스템에 대한 해석은 주로 전송선에 의존하게 된다. 따라서 시스템이 전송선과 부하로 구성된 회로로써 고려된다면 도체 전송선 이론과 전송선의 커플링 이론을 통해 시스템에 발생하는 전압 전류 노이즈를 계산할 수 있다. 이것은 1970년대부터 Carl. E. Baum 및 Tom. K. Liu 그리고 Fred. M. Tesche에 의해 제안된 BLT(Baum-Liu-Tesche) 해석방법으로 제안되었다. [2]

BLT 해석방법은 시스템을 양파와 같은 하부계층구조로 나누게 된다. 전자파가 침투하는 최상위 레벨에서 가장 하층 레벨까지 volume과 surface로 구성하게 되고 각각의 volume은 외부 노이즈가 이동할 수 있는 다양한 경로들로 이어져있다. 경로는 크게 전도성 경로와 방사성 경로로 구성된다.

전도성 경로(conduction path)는 도체선으로 이루어진 실제적인 시스템 내부의 전송선로를 의미한다. 전도성 경로는 외부에서 발생하는 노이즈가 전송선에 전압 및 전류를 유기시키는데 이때 발생하는 전압 및 전류가 흐르는 경로로 이해하면 쉽다. 방사성 경로(radiation path)는 전자기파 에너지가 통과하는 경로다. BLT 해석법에서 각각의 volume은 최상위 volume을 제외하고는 모두 surface로 둘러싸여져 있는데, surface는 금속 shield를 의미한다. 즉 surface는 전자파가 통과할 수 없는 영역이다. 그러나 컴퓨터와 같은 금속 케이스도 기능상의 이유와 제작시의 불완전으로 인해 개구(aperture)를 필연적으로 가지게 되므로 전자기파가 침투할 수 있다. 이와 같이 전자기파가 침투할 수 있는 경로들을 방사성 경로라고 한다.

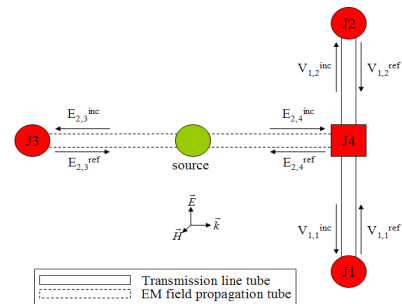
결국 외부에서 인가된 EMI 노이즈는 시스템 외부의 도체전송선에 전압 및 전류를 유기하게 되고 또한 외부 shield에 존재하는 개구로 침

입하게 된다. 따라서 최종적으로 시스템의 가장 핵심인 여러 가지 소자들에 다양한 경로를 통해 EMI가 침입하는 모든 가능성을 고려하여 시스템을 해석하는 방법이 바로 BLT 해석법이다.

실제 BLT 해석법을 통해 항공기에 대한 해석이 타당하다는 것을 실험적으로 보였으며[3] 그 이외에 여러 가지 경우들이 보고되었다. 이 논문에서는 BLT 해석법을 통해 외부에서 EMI노이즈가 PCB에 인가되었을 경우 PCB에 나타나는 이상 전압 및 전류를 예측하고자 한다.

2. 본 론

2.1 BLT 해석법



<그림 1> BLT energy flow diagram

BLT 해석법은 전자기파에너지가 이동할 수 있는 전도성 경로와 방사성 경로를 tube의 형태로 표현한다. <그림 1>에서 실선으로 표시된 tube는 전도성 경로(전송선)를 의미하고 점선으로 표시된 tube는 방사성 경로(자유공간, 도파관, cavity 등)를 의미한다.

BLT 해석법은 tube외에도 tube를 서로 연결하는 종단 junction도 필요하다. junction은 전송선 끝에 연결된 각종 부하를 의미한다. 방사성 경로와 연결된 junction의 경우 안테나 혹은 전송선을 의미한다. 전송선이 방사성 경로의 junction이 되는 이유는 방사된 전자기파는 전송선과 전자기파 결합을 하여 전송선 상에 전압과 전류를 유기하기 때문이다. J1과 J2는 전송선 양단에 연결된 수동소자, 내지는 능동소자를 의미한다. J3은 계산을 위한 임의의 junction이며 J3에서는 외부의 전자기파를 관측할 수 있다. J3과 연결된 J4는 source에 의해 발생된 전자기파가 tube인 전송선과 결합됨을 의미한다.

BLT 해석법은 각각의 tube를 각각의 전파속도로 흐르는 전계, 자계, 전압, 전류 진행파, 반사파가 각각 junction에서 반사하는 상황을 행렬의 형태로 표현하게 된다.

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

$$[W(L)] = [\Gamma][W(0)] + [W^{(S)}] \quad (2)$$

$$([I] - [S][\Gamma])[W(0)] = [S][W^{(S)}] \quad (3)$$

BLT 해석법에 대한 행렬식은 식 (1-3)과 같다. 식 (1)에서 \$[W^{(S)}]\$은 tube상에 존재하는 전원을 의미하고 \$[I]\$는 단위행렬, \$[S]\$는 산란행렬, \$[\Gamma]\$는 전파행렬을 의미한다. 모든 행렬들은 행렬 내부에 다수의 행렬이 존재하는 super-matrix의 형태다. \$[W(0)]\$은 J1에서의 전계, 자계, 전압, 전류를 의미하고 \$[W(L)]\$은 J2에서의 그것을 의미한다.

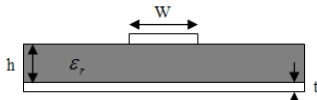
2.2 PCB 구조의 해석방법

일반적인 PCB의 경우 <그림 2>와 같다. PCB의 경우 상단의 strip-line에서 방사되는 전기장은 공기와 하층의 유전율의 차이 때문에 근사적인 quasi-TEM으로 해석이 가능하다. PCB strip-line의 유효 유전율과 근사 특성 임피던스는 식 (4-6)과 같다. [4] $h=1.75\text{mm}$, $\epsilon_r=4.9(\text{FR-4})$, $t=35\mu\text{m}(1\text{온스})$ 다.

$$\epsilon_{r,eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$Z_C = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{r,eff}}} \ln\left(\frac{8h}{w} + \frac{w}{4h}\right), w/h \leq 1 \quad (5)$$

$$Z_C = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{r,eff}} \left[w/h + 1.393 + 0.667 \ln\left(\frac{w}{h} + 1.444\right) \right]}, w/h > 1 \quad (6)$$



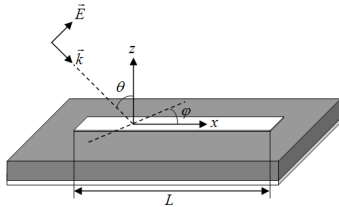
<그림 2> PCB strip line

2.3 입사 전자기파

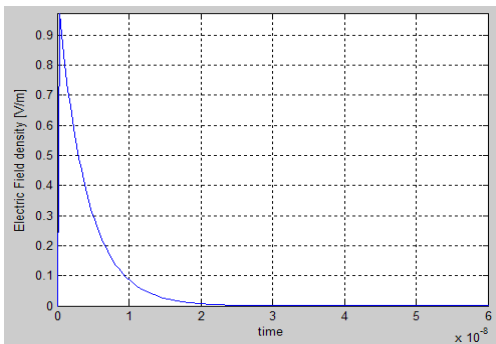
외부에서 전계강도 E 의 전자기파가 <그림 3>과 같이 각 θ 와 ϕ 의 각도로, 전계강도 입사했을 경우를 BLT 해석법으로 관측한다. PCB의 strip-line의 양단에 부착된 부하는 IC의 입력 임피던스와 출력 임피던스 각각 50Ω과 5pF의 병렬, 1MΩ과 5pF의 병렬 임피던스로 구성되어 있다. strip-line상에 입사된 전자기파는 <그림 4>와 같이 식(7)의 peak 1 V/m 임펄스성 EMP노이즈이다.

$$E(t) = E_0 k [e^{-(t-t_s)/T_1} - e^{-(t-t_s)/T_2}] \quad (7)$$

여기서 E_0 는 peak 전계강도이고 k 는 보정상수, t_s 는 지연시간, T_1 , T_2 는 시상수를 의미한다. 각각의 값은 <표 1>과 같다.



<그림 3> 전자기파의 입사

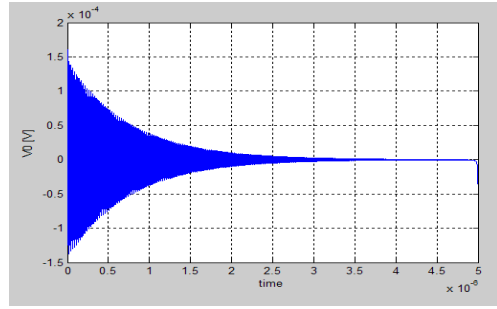


<그림 4> Strip line에 인가되는 임펄스성 EMP 노이즈

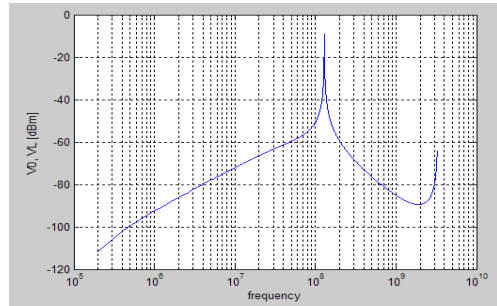
<표 1> 각 상수의 값

상수	값	상수	값
E_0	1 [V/m]	T_1	4 [nsec]
k	1.05	T_2	0.033 [nsec]
t_s	0 [nsec]		

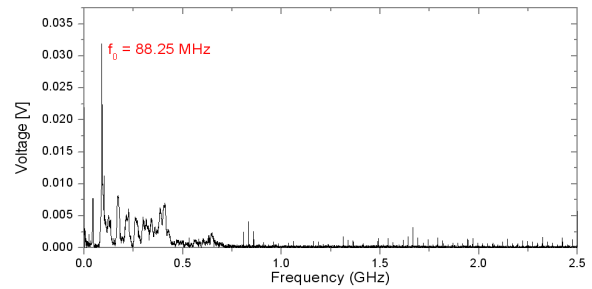
2.4 결과



<그림 5> 50Ω과 5pF의 병렬 부하에 걸리는 전압



<그림 6> <그림 5>의 스펙트럼



<그림 7> 실제 실험에서의 스펙트럼

stripline의 폭 w 는 2 mm, 길이 L 은 6 cm, 입사각 $\theta=0^\circ$, $\phi=0^\circ$ 의 경우 50Ω과 5pF의 병렬부하에 나타난 전압 파형은 <그림 5>와 같다. 시스템에 임펄스성 노이즈가 인가되는 경우 ringing(진동 감쇄형 파형)이 발생하게 된다. 이 경우 주파수는 <그림 6>과 같이 91.8MHz이며, 실제 실험의 88.25MHz와 유사한 값을 갖는다.

3. 결 론

BLT 해석법은 기존의 컴퓨터 해석법에 비해 적은 메모리 용량과 해석시간을 가지며 유사한 해석을 할 수 있다. 시스템을 모두 이해할 필요 없이 전송선과 전송선에 연결된 부하에 대한 정보만 필요하므로 코딩이 보다 간결해질 수 있다. 이 연구는 EMP공격에 대해 시스템을 해석하고 그에 대한 보호 장치를 개발하는데 도움이 될 것으로 생각된다. 그리고 cavity의 modified green 함수를 사용하여 도체 상자 내에서의 영향도 해석 되어 할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청과
국방과학연구소 지원에 의한 연구결과입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] O.H.Arnese, "High Power Microwave Effects on Civilian Equipment, Invited", URSI-GA 2005, October 2005
- [2] C. E. Baum, T. K. Liu, F. M. Tesche, "On the Analysis of General Multiconductor Transmission-Line Networks", AFRL, IN350, 1978
- [3] Parmantier, J-P, "First Realistic Simulation of Effects of EM Coupling in Commercial Aircraft Wiring," IEE Computing & Control Engineering Journal", 1998
- [4] 박동국, "초고주파회로", 도서출판 미래컴, p46, 2007년