

RF Detecting Circuit Analysis by Using BLT Equation

黃世薰* · 朴允美** · 鄭炫教†

(Sehoon Hwang · Yoon-Mi Park · Hyun-Kyo Jung)

Abstract - Recently, there is a need for research concerning the technologies and precaution methods against electronic bomb assaults. There lays perplex constitution and much coupling phenomenon in this type of system, and thus requires much time and memory in order to translate the system with the existing translation methods. Applying the EMT (Electromagnetic Topology) would prove much more efficient. In this paper, EMT has been applied to the circuit-like micro system, previously employed in micro systems. Also, each section has been interpreted using the BLT (Baum, Liu, Tesche) equation using the EMT, then reconstructed, consequentially interpreting an entire system. In this paper, a simple circuit containing active and passive elements based on a CPW has been interpreted employing the BLT equation, and has been proven by experiment using the circuit simulation, a simulation officially recognized for its accuracy in interpreting small structures. The interpretation results have been presented by an S-parameter, and by comparing the interpretation results attained through the BLT equation and that from common simulation to that from experimentation, that the BLT equation turned out to be the most reliable interpretation method could be found.

Key Words : BLT(Baum, Liu, Tesche) Equation, Electromagnetic Topology (EMT), Junction, Scattering Parameter, Tube

1. 서 론

기존의 비교적 약한 출력의 마이크로파 출력장치를 이용하여 적의 신호를 교란하는 전자전의 개념에서 전자파를 이용하여 적의 전자장치에 물리적 파괴 또는 일시적인 장애를 유발하는 새로운 전자폭탄(E-Bomb) 공격이 가시화 되고 있다. 전자공격과 관련한 기술을 확보하기 위해서는 우선적으로 전자파가 대상위협 내부에 미치는 영향에 대한 연구가 선행되어야 한다.

전자파가 대상위협 내부에 미치는 현상은 무선 통신에서의 채널 간 상호 간섭문제, 주파수 스펙트럼 효율문제, 방송 전파의 고스트 문제, 로봇 시스템 등 컴퓨터 응용기기의 오 동작 및 안정성 문제, 정보통신 네트워크의 신뢰성 문제 등이 있으며 나아가 인체 등 생물 생태계에 대한 전자 에너지의 영향이 있다. 이러한 현상들은 물리적으로 매우 복잡한 과정을 거쳐 이루어지며, 높은 주파수 대역에서는 회로적인 해석과 구조적인 해석이 모두 필요한 실정이다. 따라서 이 과정 전체를 한 번에 모의하기에는 여러 가지 어려움이 뒤따른다. 전자파가 대상위협 내부에 미치는 현상 연구에는

과도 시간 영역에서의 Electromagnetic (EM) 필드 해석, 전자기 시스템의 커플링, 이러한 전자 공격 환경으로부터 장치를 보호하는 차폐 장치 등이 포함된다. 여기에 대한 해석은 비선형 소자 및 분산회로와 집중회로를 모두 포함한 과도해석이 필요하며 전자기파의 전도 및 복사현상까지 고려해야 하는 매우 복잡한 문제라고 할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 전자파가 대상위협 내부로 진행되는 경로를 단계적으로 해석하고 등가회로로 모델링 한 뒤, 마지막 단계에서 앞에서 모델링한 등가회로를 모두 합쳐 모의 하는 방식인 Electromagnetic Topology (EMT)가 해석에 이용되었다[1]. EMT의 장점으로는 현재 사용되고 있는 시뮬레이션 툴은 복잡한 구조를 가진 대상을 해석할 때 많은 시간이 소요되지만, EMT를 사용한 해석방법은 경로를 단계적으로 최적화된 방법으로 해석한 후 회로의 구조에 따라 재구성하는 방식이므로 해석시간을 단축할 수 있는 점이다[2][3][4].

본 논문에서는 기존에 macro system 해석에 사용되었던 EMT를 작은 회로 기판과 같은 micro system에 적용을 하였고, 전자파가 실제 대상위협 내부에 미치는 현상 연구를 하기 위해 실제 회로가 포함하고 있는 각종 수동, 능동 소자를 포함하고 있는 RF 검파회로를 해석해서 실험 결과와 비교하여 검증하였다. 비교 검증을 위해 circuit simulation tool을 사용했다. 본 논문에서는 EMT의 방법론을 기초로 한 BLT equation에 대한 검증에 초점을 두었으므로, 시간의 단축보다는 BLT equation 해석의 정확성에 초점을 맞추었다.

† 교신저자, 正 會 員 : 서울대 공대 전기컴퓨터공학부 정교수
E-mail : hkjung@snu.ac.kr

* 學生會員 : 서울대 공대 전기컴퓨터공학부 석사졸업

** 學生會員 : 서울대 공대 전기컴퓨터공학부 박사과정
接受日字 : 2007年 5月 22日
最終完了 : 2007年 6月 28日

2. 본 론

2.1 BLT 방정식

BLT 방정식은 회로를 아래 그림과 같이 junction과 tube 로 구성된 topological network를 구성하여 해석을 수행한다. 네트워크상에서의 커플링 식은 전체 네트워크의 scattering equation과 propagation equation에 의해 아래와 같이 일반화 된다. 이러한 일반화 식에서 $W(0)$ 는 junction에서의 반사파를 의미하며 $W(L)$ 은 junction에서의 입사파를 의미한다. BLT equation (Baum, Liu, Tesche)에서는 scattering matrix와 propagation matrix 그리고 supvector 를 식 (1), (2), (3)에 대입하여 각 junction으로 들어가는 전압인 $W(0)$ 와 각 junction에서 나오는 전압인 $W(L)$ 을 구하고 두 전압을 합하면 선로의 각 지점에서의 전압을 구할 수 있다[4].

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

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

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

여기서 $[S]$ 는 scattering matrix, $[T]$ 는 propagation matrix, $[W_s]$ 는 supvector를 말한다[5].

2.2 BLT 방정식을 이용한 RF 검파회로 해석

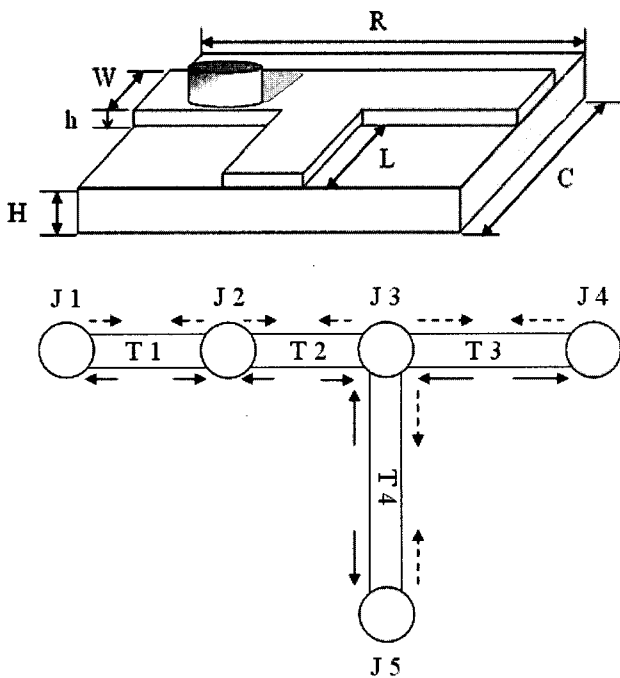


그림 1 해석 모델과 토폴로지 네트워크 예
Fig. 1 The analysis model and example of topological network

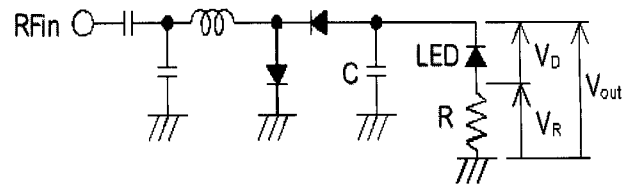


그림 2 검파회로
Fig. 2 The schematic of the analysis model

2.2.1 회로 구조 및 해석 flow

그림 2는 쇼트키 다이오드를 포함한 검파회로이다. 회로는 RF 소스 입력단과 매칭단, 다이오드와 출력단으로 구성되어 있다. 회로의 구성은 RF power를 받는 안테나 부분인 RFin 부분과 안테나에서 받은 RF power를 효율적으로 뒀단으로 전송시키기 위한 matching 부분, matching 부분을 거친 RF 신호를 정류하기 위한 diode 단과 voltage ripple을 최소화하기 위한 C와 LED 및 LED에 너무 큰 전압이 걸리는 것을 막기 위해 최종에 저항을 둔 회로이다. RFin에서의 입력되는 값은 시간 영역이므로 BLT equation에 적용하기 위해서 주파수 영역으로 빠른 Fast Fourier Transform을 이용한다. 다이오드는 능동 소자이므로 등가회로를 구성해서 각 소자의 값을 추출한 후 수동소자로 구성된 등가회로에서 scattering parameter를 추출하여 BLT equation에 대입한다. 그림 3은 전반적인 해석차례에 관한 flow chart 이다.

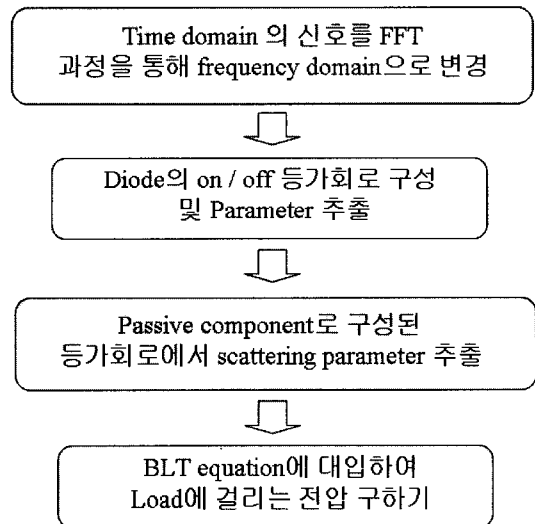


그림 3 해석 flow chart
Fig. 3 Flow chart of the analysis model

해석 모델에 사용된 다이오드는 비선형 소자로 전류-전압 입출력 간의 비선형성으로 인해 주파수 영역에서 고조파(Harmonics)가 생기고 결과적으로 주파수 영역에서 dispersion을 일으킨다. Harmonic Balance에 기초한 비선형 시뮬레이션을 위해서는 반도체 구조에 근거한 비선형 device parameter가 필요한 실정이다.

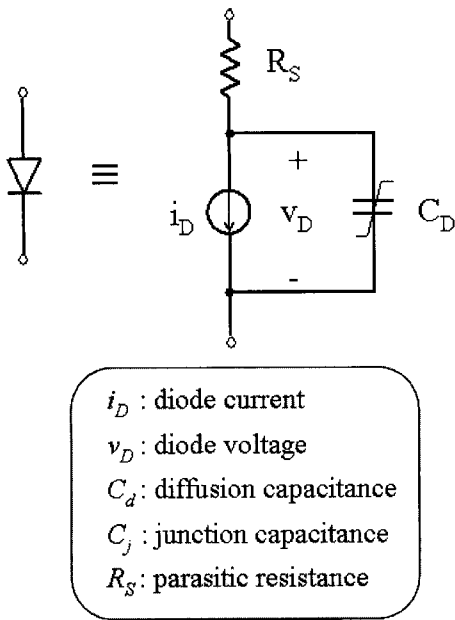


그림 4 쇼트키 다이오드의 등가회로
 Fig. 4 The equivalent circuit of the schottky diode

표 1 쇼트키 다이오드와 LED의 등가회로 파라미터
 Table 1 The equivalent parameters of the schottky diode and LED

V_T	n	I_S	i	v	C_D	R_S	$R(LED)$
0.026	1.98	0.0512 [μA]	1.28 [μA]	0.166 [V]	0.16 [pF]	5[Ω]	11.11[Ω]

다이오드 단은 그림 4와 같이 등가회로로 구성될 수 있다. 다이오드는 전류원과 커패시터 그리고 기생저항으로 구성된다. 각각의 parameter는 표 1과 같다.

2.2.2 실험

실험에 사용될 회로는 그림 5와 같이 LED를 사용하여 불빛의 밝기 변화로 RF power를 인지할 수 있는 회로이다. 회로의 실제 제작에 있어 마이크로스트립 선으로 제작했을 경우 소자와 ground 연결 시 별도의 lead line이 필요하므로, 이에 대한 영향을 받을 수 있다고 판단을 했다. 그러므로 그런 추가적으로 발생하는 기생성분의 영향을 최소화하기 위해 ground가 기판 위에 존재하는 CPW 구조를 선택하여 설계하였다. 해석의 용이성을 고려, 안테나 길이를 매칭함으로써 (그림 6 참조) 매칭단을 달지 않고도 효율적으로 RF신호를 뒷단으로 전달할 수 있게끔 설계를 하였다.

실험에 사용한 다이오드는 히다치 社의 IN4001을 사용하였으며, 저항은 chip 100 [Ω]의 저항을, LED는 Rohm 社의 SML211-UT라고 하는 SMD (표면 실장) 타입의 LED를 사

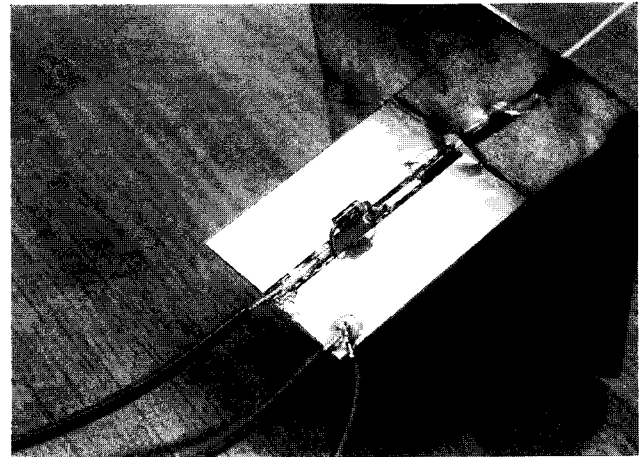


그림 5 실험에 사용된 회로
 Fig. 5 The experiment circuit

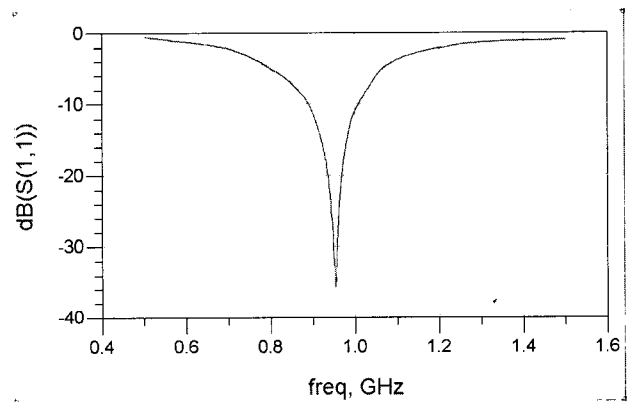


그림 6 안테나 매칭 결과
 Fig. 6 The matching result of the antennas

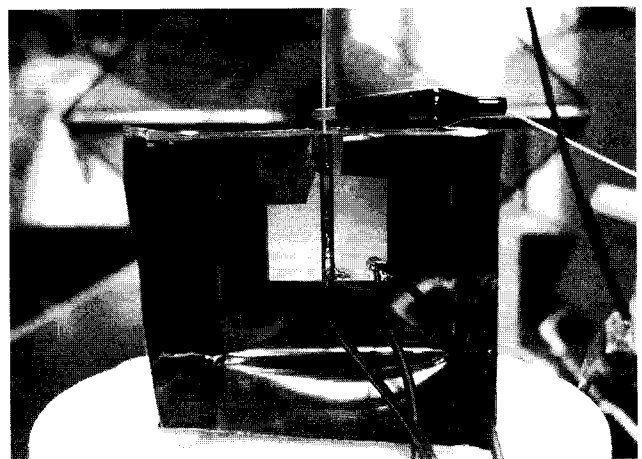


그림 7 정확한 측정을 위해 설치한 wall
 Fig. 7 The wall for avoiding interference of the external field

용하였다.

안테나는 사용할 주파수 (950MHz)에서 -35dB 이하로 설계가 되었으며 bandwidth도 대략 100MHz 정도로 설계를 하였다. 소스 안테나는 horn 안테나를 사용하였으며, source 원으로는 950MHz의 single frequency를 사용하는 signal generator를 사용하였다. Probe line 같은 line의 영향을 받을 것을 생각하여 wall을 만들어 그 뒤로 측정선을 비롯한 모든 line들을 wall 뒤에 두고 실험을 하였다 (그림 7 참조)

2.2.3 실험 결과

실험 결과는 소스 안테나에서 RF power를 on/off 시 저항단에 걸리는 전압을 측정하여 이를 실험에 의한 결과와 BLT 방정식으로 해석한 결과를 비교하여 보았다.

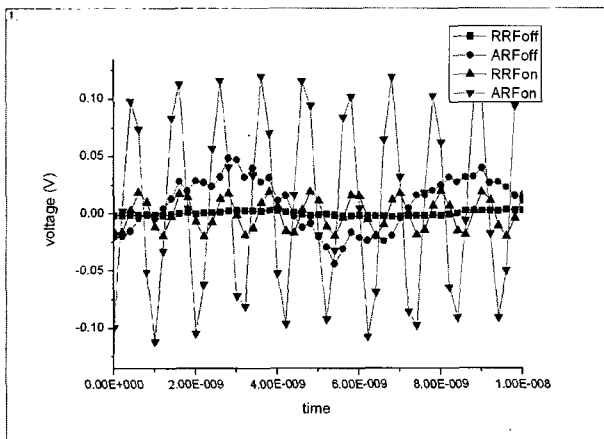


그림 8 RF power가 on/off시 저항단에 걸리는 전압
Fig. 8 The voltage on the resistor when the RF power is on and off

실험을 통해 측정된 안테나 단으로 들어온 전압과 저항단에서의 출력 전압 값을 얻을 수 있었다. 마찬가지로 출력 전압은 시간영역에서 측정되어서 BLT equation에서 얻은 전압 값과 비교하기 위해 FFT 과정을 통해 주파수 영역으로 변환되었다. 표 2에서 보는 것과 같이 저항 단(J5)에서의 출력 전압은 실험에서 0.012[V] 이었고 BLT equation에서 저항 단에서의 출력 전압 이와 유사한 0.015[V]를 얻을 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 모델에 대한 해석을 기존에 macro system의 해석에만 사용되었던 Electromagnetic topology(EMT)를 이용하여 회로 기관과 같은 micro system에 적용해 보았으며, 이 방법론을 실제로 구현하기 위하여 EMT의 원리를 이용한 BLT equation을 이용한 해석 프로그램을 개발하여 이를 검증하였다. EMT를 회로의 기관에 적용하기 위해 회로 내에서 모델링된 전자기파의 소스와 전자파가 회로 기관 내부의 구조에 따라 커플링 되는 경로를 junction과 tube로 나타내어 각각 특성화 시킨 후 회로 구조에 따라 다시 재

표 2 BLT, 회로 해석과 실험을 통해 얻은 저항 단에서의 출력 전압 비교

Table 2 The output voltage in the resistor by the BLT equation, circuit simulation and the experiment

	J1	J2	J3	J4	J5	J6
BLT equation	0.016 [V]	0.014 [V]	0.016 [V]	0.015 [V]	0.015 [V]	0.005 [V]
Circuit Analysis	0.016 [V]	0.014 [V]	0.016 [V]	0.015 [V]	0.015 [V]	0.005 [V]
Experiment					0.012 [V]	

구성하여 결과를 도출할 수 있었고, 이를 회로 해석을 통해 정확성을 검증하였다.

본 논문에서는 간단한 모델을 바탕으로 EMT의 본래의 장점인 해석 시간의 단축과 메모리 사용량의 감소보다는 새롭게 도입된 BLT equation의 정확성 검증에 초점을 맞추고, 실험을 통해 얻어진 결과의 유사함을 가지고 그 정확성을 논한 결과 상당히 정확한 결과를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Jean Philippe Parmantier, Pierre Degauque, Probability, Topology Based Modelling of Very Large Systems, Published for the International Union of Radio Science by Oxford University Press, 1996.
- [2] Mark I. Montrose, EMC AND THE PRINTED CIRCUIT BOARDS, IEEE Press, 1998
- [3] Henry W. Ott, NOISE REDUCTION TECHNIQUES IN ELECTRONIC SYSTEMS, 2nd Edition, Wiley, 1989
- [4] Yoon-Mi Park, Jung-Yub Lee, Sehoon Hwang, Hyun-Kyo Jung, Young-Seek Chung and Hyeong-Seok Kim, "Analysis of Printed Circuit Boards Based on Electromagnetic Topology," Journal of Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics, vol. 15, No. 3, September, 2007, will be published.
- [5] F. M. Tesche, J. Keen, C. M. Butler, "Example of the Use of the BLT equation for EM Field Propagation and Coupling Calculations." Interaction Note 591

저 자 소 개



황 세 훈 (黃世薰)

1978년 11월 8일생. 2005년 고려대 전기
전자전파공학부 졸업. 2007년 서울대 대
학원 전기컴퓨터공학부 졸업(공학석사).

Tel : 010-3099-1626

E-mail : hwangsama@paran.com



박 윤 미 (朴允美)

1982년 5월 12일생. 2004년 충남대 정보
통신공학부 졸업. 2004년~현재 서울대
전기컴퓨터공학부 석박통합박사과정

Tel : 02-880-7262

Fax : 02-878-1452

E-mail : iamyum00@snu.ac.kr



정 현 교 (鄭炫敎)

1955년 8월 17일생. 1979년 서울대 전기
공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학
과 졸업(공학박사). 1994년~현재 서울대
전기컴퓨터공학부 정교수

Tel : 02-880-7262

Fax : 02-878-1452

E-mail : hkjung@snu.ac.kr