

마이크로스트립 미앤더 선로의 신호 왜곡 현상 연구

두진경, 홍영표, 김정민, 육종관
연세대학교 Advanced Computational Electromagnetics Lab.
e-mail : jgyook@yonsei.ac.kr

The Study on Signal Distortion of Meander-shaped Microstrip Line

Jin-kyoung Du, Young-pyo Hong, Jung-min Kim, Jong-gwan Yook
Advanced Computational Electromagnetics Lab, Yonsei University

Abstract

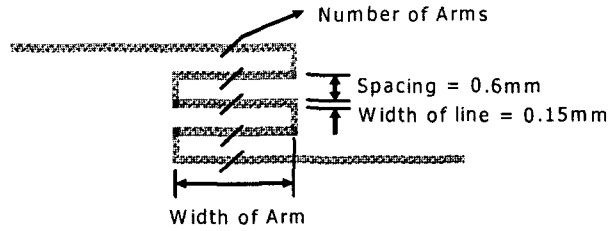
In this paper, we analyzed the signal distortion incorporating meander-shaped transmission line on PCB in broadband frequency range, up to 50GHz. This broadband characteristic provides reasonable analysis of digital pulse having very short rising time. Simulation results reveal suppression characteristic at multiband which is dependent on only the width of meander arm. This width of arm also can be adjusted using different permittivity because it provides different effective wave-length. It is found that the suppression characteristic shows sharpness with as a function of the number of arms. However, these characteristics shown limitation for microstrip line structure rather than for stripline structure, so we can avoid these unwanted phenomena using stripline structure.

Key words : Meander, Broadband, Suppression

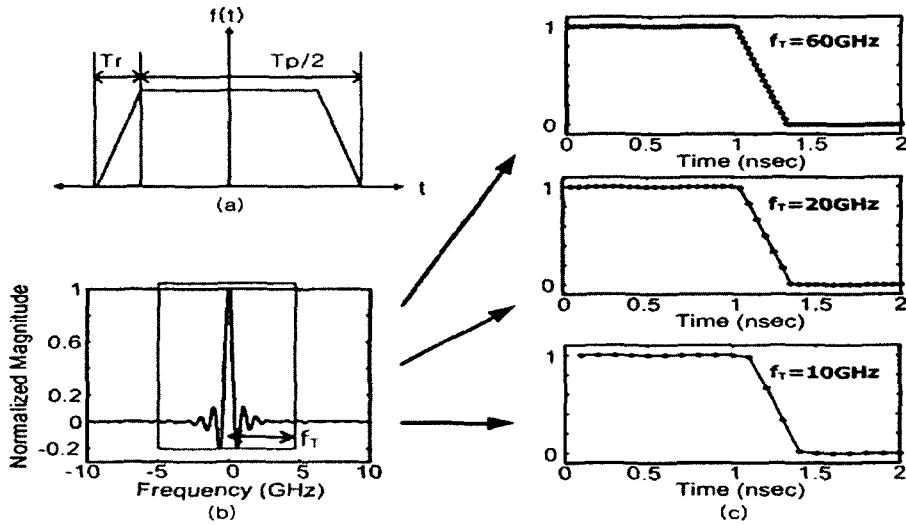
I. 서론

PCB(Printed Circuit Board)상에서 동일한 층의 두 지점을 연결하기 위해서는 전송 선로가 사용되며, 서로 다른 층을 연결하기 위해서는 via가 사용된다. 이 때 via를 통해 전달되는 신호와 전송 선로를 통해 전달되는 신호 사이에는 속도 차이가 발생하기 때문에 전체를 동기화시키기 위해서는 전송 선로의 길이를 조절하여야 한다. 이로써 정해진 길이의 선로를 제한된 크기의 PCB 위에 설계할 경우, 일직선 형태만을 사용할 수는 없으며 다양한 모양이 요구된다. 현재 가장 널리 사용되는 형태가 [그림1]과 같은 미앤더(meander) 선로이다. 그러나 이와 같은 형태는 근접한 선로

들 사이의 커플링이 발생하기 쉬우며 실제로 이러한 커플링을 이용한 안테나가 사용되고 있는 만큼 그 특성을 무시할 수 없다. 선로에서 발생하는 커플링은 SI (Signal Integrity) 문제의 원인이 되기 때문에 전송 선로로써 미앤더 형태를 이용하기 위해서는 이러한 커플링이 신호 왜곡에 어느 정도 영향을 미칠 수 있는지를 먼저 알아보아야 한다 [1-3]. 본 논문에서는 커플링에 의한 신호 왜곡 특성을 50 GHz의 넓은 주파수 영역까지 확장하여 알아보았다. 다음 절에서 이와 같은 광대역에서의 연구가 필요한 이유를 설명하였으며, 여러 가지 구조의 미앤더 선로를 시뮬레이션 하여 그 결과를 통해 신호 왜곡 특성을 분석하였다.



[그림1] 미앤더 전송 선로



[그림2] 디지털 펄스 신호의 변환 관계

- (a) 디지털 회로의 클럭 신호 (T_p =주기, T_r =rising time)
- (b) 주파수 축에서 두 개의 sinc 함수의 곱으로 표현되는 클럭 신호
- (c) 주파수 범위에 따라 시간 축에서 복원되는 간격이 달라짐

II. 광대역에서 주파수 분석의 목적

미앤더 선로를 통과한 펄스의 왜곡 여부를 알아보기 위해서는 먼저 선로에 대한 EM 시뮬레이션 결과(S-parameter)를 얻은 후, 이를 펄스 신호와 함께 circuit 시뮬레이션을 해야 한다. 이 때 미앤더 선로의 EM 시뮬레이션 결과가 주파수 축에서의 특성이므로 정확한 결과를 얻기 위해서는 펄스도 주파수 축 신호로 변환시켜서 전체를 주파수 축에서 함께 시뮬레이션 한 후, 얻은 결과를 다시 시간 축으로 변환하여야 할 것이다.

디지털 회로에서 사용되는 클럭 신호는 [그림 2(a)]와 같이 일정한 크기의 rising time을 가지는 펄스이며, 이는 식(1)의 관계식과 같이 두 개의 직사각형 펄스의 convolution으로부터 얻어진다. 이를 푸리에 변환을 통해 주파수 축으로 바꾸면

두 개의 sinc 함수의 곱으로 표현되며 이를 식(2)에 나타내었다. 여기서 T_p 와 T_r 은 각각 펄스의 주기, rising time을 뜻하며 A_1 , A_2 는 두 직사각형 펄스의 진폭을 나타낸다.

$$f(t) = \left\{ A_1 \text{rect} \left(\frac{t}{T_p/2} \right) \right\} * \left\{ A_2 \text{rect} \left(\frac{t}{T_r} \right) \right\} \dots \text{식(1)}$$

$$F(\omega) = \left\{ \frac{2A_1 \sin \left(\frac{T_p/2}{2} \omega \right)}{\omega} \right\} \cdot \left\{ \frac{2A_2 \sin \left(\frac{T_r}{2} \omega \right)}{\omega} \right\} \dots \text{식(2)}$$

Rising time이 0.3 nsec인 펄스를 주파수 축으로 변환시킨 결과를 [그림 2(b)]에 나타내었다. 이 때 각각의 sinc 함수는 주파수 축에서 무한한 범위에 걸쳐 나타난다. 그러나 실제 시뮬레이션을 수행할

때에는 시간과 메모리의 절약을 위해 유한한 주파수 범위를 정해야 하므로, 이 범위를 어느 정도로 하느냐에 따라 시간 축에서 펄스를 표현하는 값들의 간격이 달라지는 것을 고려하였다. 10, 20, 60 GHz의 주파수 범위의 신호를 시간 축으로 변환시킨 결과를 [그림2(c)]에 나타내었다. SI 관점에서 신호를 관찰할 때에는 특히 rising edge에서의 변화가 중요한 요인으로 작용하기 때문에 rising time의 길이가 짧아질수록 더 넓은 주파수 영역에서 신호의 분석이 필요하다.

III. 미앤더 선로의 구조

시뮬레이션에 사용한 미앤더 선로의 형태를 [그림1]에서 나타내었다. 전체 선로의 방향과 평행하게 놓인 부분을 arm이라고 표현하였을 때, arm의 너비와 개수를 달리 하여 시뮬레이션 하였다. 이때 arm 사이의 간격은 0.6 mm이며 선로의 폭은 0.15 mm, 전체 길이는 130 mm로 모두 동일하다. 기판은 우선 4.4의 유전율(ϵ_r)을 가지는 FR4를 사용하여 마이크로스트립 라인 형태로 시뮬레이션 하였으며, 이를 Duroid($\epsilon_r=10$) 기판을 사용한 스트립라인 형태일 때와 비교하였다.

IV. 분석 결과

미앤더 선로의 분석 결과를 [그림3]에 나타내었다. Arm의 너비는 3, 6, 9mm로 변화시켰으며 개수는 3, 5개로 변화시켰을 때의 결과이다.

4-1. Arm의 너비와 개수에 따른 변화

[그림3]의 (a)~(f) 여섯 개 그래프는 미앤더 arm의 너비와 개수를 다르게 함으로써 얻은 결과이다. 그래프들을 살펴보면 여러 주파수 대역에서 suppression 현상이 일어나고 있음을 알 수 있다. 이 suppression 현상은 각각 어느 특정 주파수의 배수에서 연속적으로 발생하고 있는데, 그 특정 주파수는 arm의 너비에 크게 영향 받으며 arm의 개수가 증가함에 따라 suppression 특성이 점차 강해지고 있다.

Arm의 너비가 3 mm에서 6 mm, 9 mm로 두 배, 세 배 커짐에 따라 suppression이 발생하는 주파수의 간격은 약 1/2배, 1/3배로 감소하고 있다. 이로부터 미앤더 arm의 너비를 조절함으로써 suppression이 발생하는 주파수 영역을 바꿀 수 있음을 알아내었다.

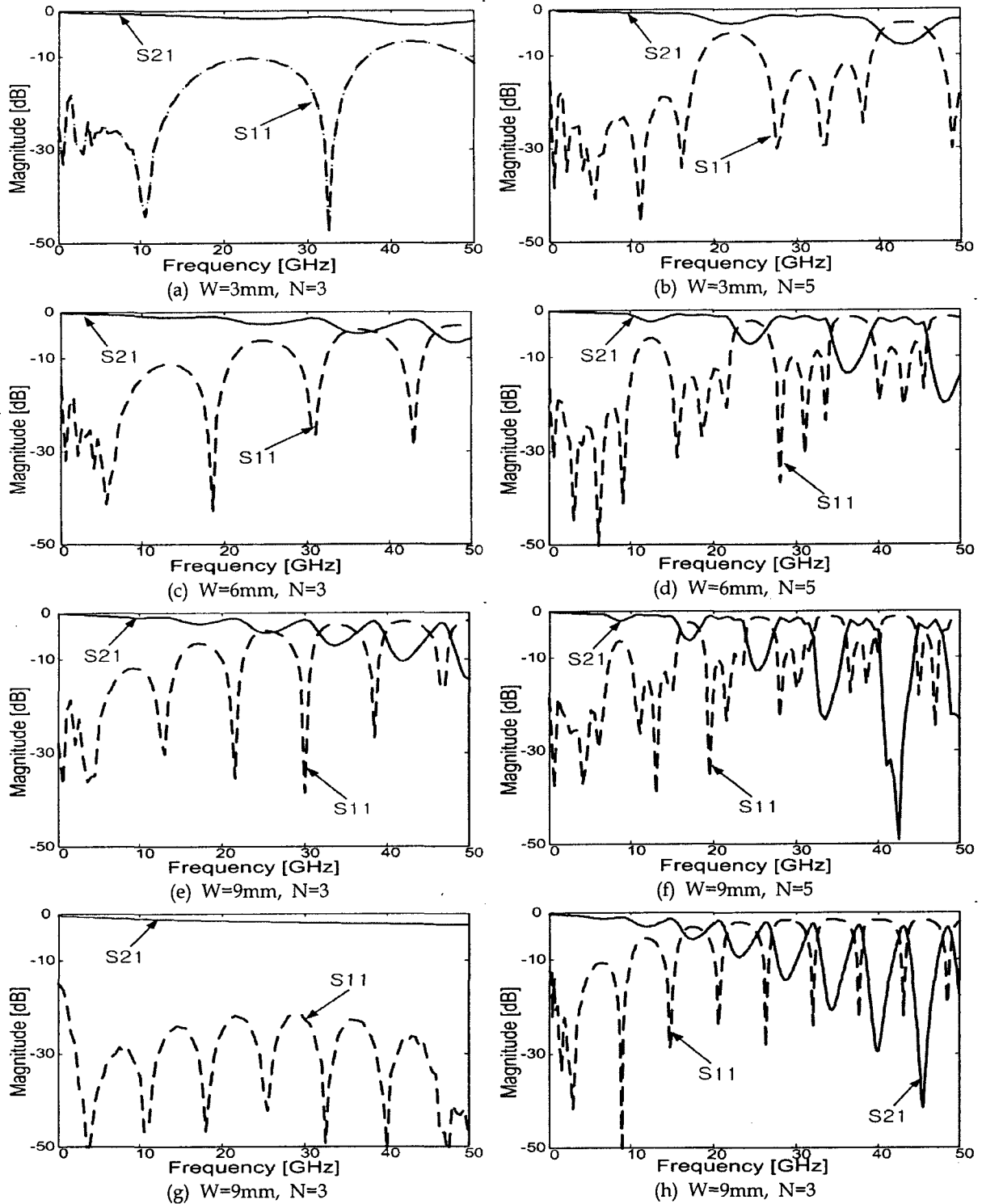
4-2. 유전율과 기판 형태에 따른 변화

이번에는 FR4가 아닌 Duroid 기판을 사용하여 시뮬레이션 하였다. Duroid는 ϵ_r 이 10이기 때문에 파장의 유효 길이가 FR4의 경우보다 약 1.5배 짧다. 즉, 동일한 길이의 선로가 Duroid 기판에서는 1.5배 더 길어 보이는 것이다. 앞서 arm의 너비에 따른 변화에서 관찰하였듯이 arm이 길어지면 suppression 주파수 간격이 좁아진다. 이를 시뮬레이션을 통해 확인하였으며 그 중 arm의 너비가 9mm, 개수가 3개일 때의 그래프를 [그림3(g)]에 나타내었다. [그림3(e)]와 비교해보면 suppression 주파수 간격이 좁아졌음을 확인할 수 있다.

다음으로 마이크로스트립 라인이 아닌 스트립라인 형태에서의 미앤더 선로를 분석하였다. GND가 한 쪽에만 있어서 공기에 의한 손실이 발생하는 마이크로스트립 라인과는 달리, 스트립라인은 양쪽에 GND를 가지기 때문에 S21 그래프에서의 왜곡 현상이 거의 발생하지 않았으며 특정 주파수에서의 suppression 현상도 없음을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. Arm의 너비가 9 mm, 개수가 3개일 때의 결과를 [그림3(h)]에 나타내었으며 [그림3(e)]와 비교했을 때 S21의 그래프가 특히 차이가 나는 것을 알 수 있다.

V. 결론

50GHz까지의 광대역에서 미앤더 선로의 특성을 분석하였다. 분석 결과, 미앤더 선로는 특정 주파수 간격을 가지고 연속 적으로 suppression 현상을 보였으며 이 특정 주파수 간격은 arm의 너비에 크게 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. Arm이 길어짐에 따라 suppression 주파수 간격은 반비례하여 작아졌으며 arm의 개수를 증가시킬수록



[그림3] 시뮬레이션 결과 그래프 (W =arm의 너비, N =arm의 수)

(a)-(f) 마이크로스트립 라인 구조, $\epsilon_r=4.4$ (FR4)

(g) 스트립라인 구조, $\epsilon_r=4.4$ (FR4)

(h) 마이크로스트립라인 구조, $\epsilon_r=10$ (Duroid)

suppression 특성이 향상되었다. 또한 Arm의 길이는 기판의 유전율을 이용하여 파장의 유효 길이를 변화시킴으로써 다르게 조절할 수도 있다.

동일한 모양의 미앤더 선로를 사용하면서 주파수 축에서의 suppression 현상을 방지하기 위해서는 마이크로스트립 라인 형태가 아닌 스트립라인 형태의 구조를 사용해야 할 것이다.

VI. 참고 문헌

- [1] 이진홍, "선로간 상호결합과 벤드의 등가회로를 이용한 마이크로스트립 미앤더 선로의 해석," 포항공과대학 대학원 석사 학위 논문
- [2] Heeseok Lee, Namhoon Kim, and Joungho Kim, "Unit Cell Modeling of Meander Delay Line based on Finite-Difference Time-Domain Method and Floquet's Theorem," in *Proc 10th Topical Meeting Electrical Performance Electronic Packaging*, 2001, pp. 193-196.
- [3] Barry J. Rubin and Bhupindra Singh, "S서요 of Meander Delay in Circuit Boards," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol.48, no.9, pp.1452-1460, Sep.2000.

M E M O