

고속라우터용 백플레인 설계 및 구현

이 상 우, 이 강 복, 이 형 섭, 이 형 호
한국전자통신연구원 라우터기술연구부
전화 : 042-860-5254 / 핸드폰 : 017-220-8519

Design and Implementation of Backplane for High Speed Router

Sang-Woo Lee, Kang-Bok Lee, Heyung-Sub Lee, Hyeong-Ho Lee
Dept. of Router Technology, ETRI
E-mail : swlee@etri.re.kr

Abstract

As the operating frequency of digital modules in network system becomes fast, integrity of signals between modules is regarded as a important factor in high speed system design. To guarantee the signal integrity, many factors that deteriorate quality of signal should be considered. In this paper, we survey many factors which be considered while in designing and implementing the backplane for high speed router and analyze the simulation result and experimental result.

I. 서론

네트워크 환경이 점차 고속화됨에 따라 네트워크 시스템내의 모듈 상호간의 데이터 전송속도도 고속화 되고 있다. 이에 따라 모듈 상호간 신호의 충실성(integrity)이 중요한 요인으로 인식되고 있다. 즉 디지털 신호가 전송될 때 전송되는 비트의 에러율(BER)을 최소화하여 신호의 충실성을 보장하여야 한다.

전송되는 신호의 주파수가 수~수십GHz 범위로 높아짐에 따라 신호가 전달되는 선로를 전송선으로 해석해야 한다. 이때 skin effect와 dielectric loss로 인한 주파수에 의존하는 신호의 감쇠를 고려하여야만 한다.

또한 전송선의 특성임피던스에 따른 파형의 반사(reflection)와 근접한 선로와의 전자기적 결합에 따른 누화(crosstalk)도 고려하여야 한다. 전송선의 배치시 물리적인 구조도 신호의 충실성에 영향을 미친다.

본 논문에서는 고속 라우터에 사용되는 2.125Gbps의 전송속도를 가지는 백플레인을 설계, 구현하면서 고려되었던 여러가지 요인들을 살펴보고 전송선로를 Hspice로 모델링하여 시뮬레이션한 결과와 실제 측정 한 결과를 비교 분석하였다..

II. Skin effect와 dielectric loss를 고려한 전송선 모델

전송선은 일반적으로 그림 1과 같은 등가회로로 나타낼 수 있으며 직렬손실소자(series loss elements), 션트손실소자(shunt loss elements)를 가진다.

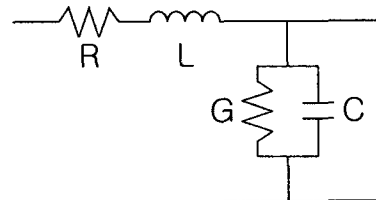


그림 1. 전송선 등가 회로

전송선의 전파 상수는 식(1)과 같고 감쇠 상수는 식(2)와 같다.

$$\gamma \cong \frac{1}{2} \left(R\sqrt{\frac{C}{L}} + G\sqrt{\frac{L}{C}} \right) + j\omega\sqrt{LC} \dots\dots\dots(1)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(R\sqrt{\frac{C}{L}} + G\sqrt{\frac{L}{C}} \right) \dots\dots\dots(2)$$

또한 특성임피던스 Z_0 는 식(3)과 같다

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \approx \sqrt{\frac{L}{C}} \dots\dots\dots(3)$$

감쇠상수 α 를 식(3)과 $1Np=8.686dB$ 의 변환요소를 이용하여 다시 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{attenuation}{unit\ length} = 4.343 \left(\frac{R}{Z_0} + GZ_0 \right) \text{ dB/m} \dots\dots(4)$$

conductance G 와 capacitance C 의 관계는 다음과 같다.

$$\frac{G}{C} = \frac{\omega \epsilon''}{\epsilon'} = \omega \tan \delta \dots\dots\dots(5)$$

여기서 $\tan \delta$ 는 loss tangent이고 ϵ'' 는 dielectric loss를 나타낸다.

또한 전송선으로 전달되는 주파수가 높아짐에 따라 skin effect도 고려하여야 한다.

$$R_s = \sqrt{\omega \mu / 2\sigma} \dots\dots\dots(6)$$

식(5),(6)에서 G 는 f 에 비례하고 R_s 는 \sqrt{f} 에 비례함을 알 수 있고 결국 주파수가 높아짐에 따라 신호의 감쇠가 발생함을 알 수 있다. 또한 전체 감쇠에서 dielectric loss가 더 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 그러므로 고속신호의 전송시 skin effect와 dielectric loss를 고려하여 설계하여야 한다.

III. 시뮬레이션

전송선 시뮬레이션은 Avanti의 Hspice를 사용하여 시뮬레이션을 하였고 시뮬레이션 모델은 그림 2와 같다.

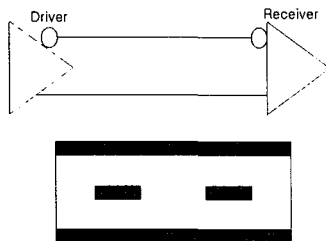


그림 2. 시뮬레이션 모델

그림 2에서 Driver와 Receiver는 vitesse의 VSC880/870 LVDS I/O model을 나타내고 connector 사이의 구간이 백플레인의 신호선을 나타낸다. 유전체는 유전상수 3.75인 FR-4를 사용하였다. 설계된 전송선은 선폭 8mil, 전송선 사이의 거리 14mil, GND와의 거리 7.88mil, 1oz copper를 사용하였다.

그림 3은 $\pm 300mV$, 1Gbps 차동신호를 10" 길이의 전송선으로 시뮬레이션한 결과이다. 위 2개는 송신단 출력이고 아래 2개는 수신단 입력을 나타낸다. 신호선에 의한 신호의 감쇠를 확인할 수 있다.

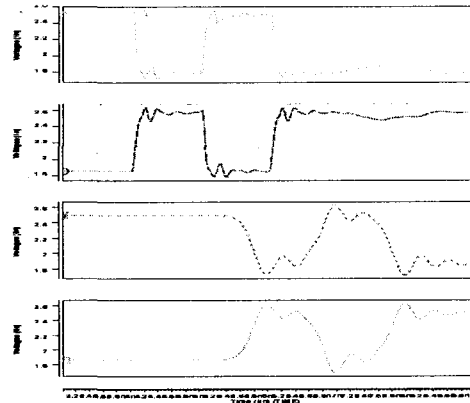


그림 3. 시뮬레이션 결과 I

그림 4는 그림 3과 같은 조건에서 신호의 전송속도를 2.5Gbps로 한 경우의 시뮬레이션 결과이다. 1Gbps의 경우 보다 신호의 폭이 작음을 알 수 있다. 이는 신호의 전송속도가 증가함에 따라 신호의 감쇠도 증가함을 보여준다. 또한 receiver에서 정확한 값을 추출하기가 어렵다는 것을 의미한다.

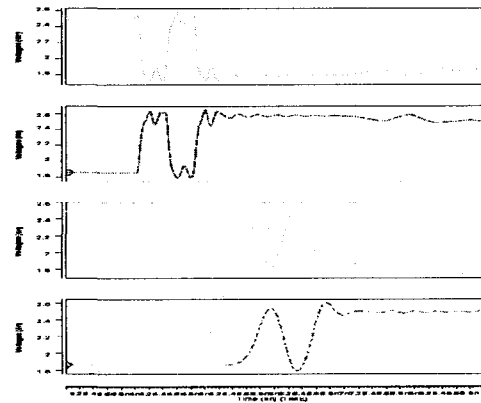


그림 4. 시뮬레이션 결과 II

그림 5는 그림 4와 같은 조건에서 전송선의 길이를 25"로 한 경우의 시뮬레이션 결과이다. 전송선의 길이가 길어짐에 따라 신호의 감쇠가 많이 발생하고 전송 지연 또한 커짐을 알 수 있다.

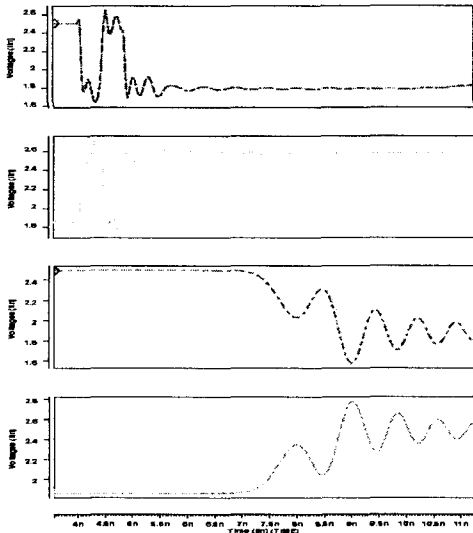


그림 5. 시뮬레이션 결과 III

IV. Stripline의 특성임피던스 및 Routing

stripline의 임피던스 매칭이 바르지 않을 경우 신호의 반사(reflection)가 발생하므로 요구되는 임피던스와 같도록 설계하여야 한다. Stripline의 특성임피던스는 trace의 폭, 두께 및 유전체의 유전율의 함수로 표현되며 이는 PCB 제조업체에서 제공되는 값들과 stripline의 stackup 구조에 따라 다른 값을 갖는다.

구현된 백플레인은 16 layer로 구성되어 있고 신호 플레인은 파워,그라운드 플레인에 위치해 있다.

유전체는 일반적으로 사용되는 FR-4를 사용하였고 copper는 1oz와 1/2oz를 비교하여 임피던스의 큰 차이가 없으므로 1oz를 사용하였다.

위와 같이 구성을 한 경우 layer의 임피던스를 Mentor의 boardstation으로 simulation한 결과 약 50Ω 정도를 나타내었으며 이는 요구된 임피던스에 부합되는 값이다.

또한 stripline의 배선도 고려하여야 한다. 구현된 stripline의 배선은 그림 6과 같다.

본 backplane은 switch card와 line card를 연결하는 기능을 가지며 두 card의 신호선은 각각 TX,RX의 차동신호로 구성된다. 2.125Gbps의 전송속도를 가지므로

각 선로의 길이가 다를 경우 신호의 검출이 어려울 수 있으므로 배선시 TX,RX의 길이와 간격을 일정하도록 하였고 신호선도 직선에 가깝도록 배선하였다.

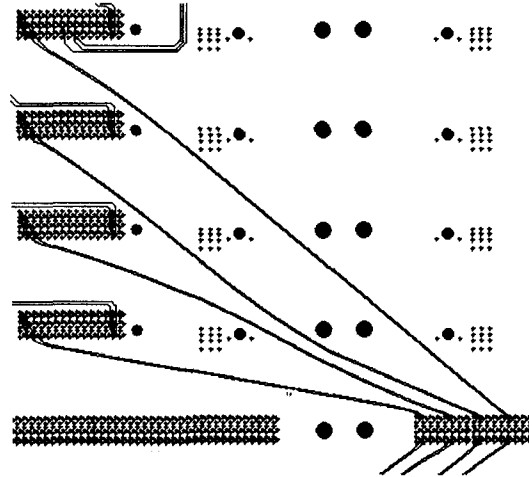


그림 6. 차동신호의 routing 예

V. 측정결과 및 고찰

그림 7과 8은 실제 제작된 백플레인 신호선의 측정 결과이다. 백플레인 신호선의 길이는 최대 10"이다.

그림에서 세로축의 단위는 500mV이고 가로축의 단위는 5nS이다. 파형의 측정은 수신단에서 이루어졌다. 신호의 level변화 초기에 발생하는 파형의 찌그러짐은 probe와 신호선 임피던스의 정합이 정확하지 않아서 발생한 것이다. 그러나 LVDS의 입력 특성을 만족하는 결과를 보이고 있다.

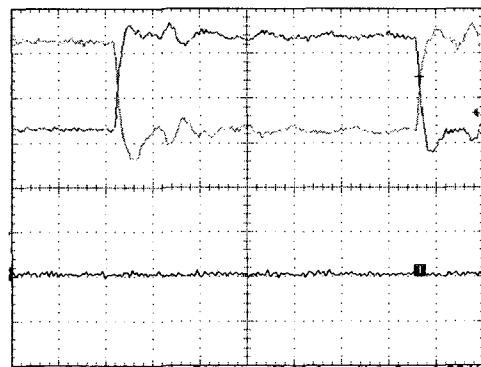


그림 7. 측정 결과 I

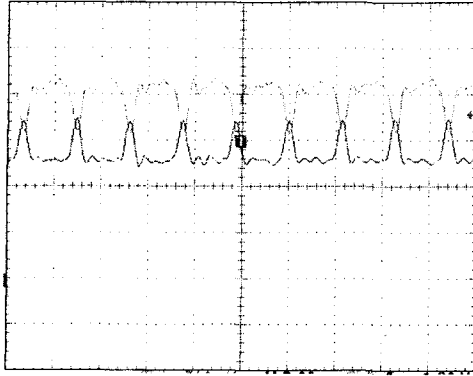


그림 8. 측정 결과 II

VI 결론

본 논문에서는 고속 라우터용 백플레인 보드의 설계 및 구현에 고려된 사항들을 기술하였고 시뮬레이션 결과와 실제 측정 결과를 살펴보았다. 신호의 전송속도가 높아짐에 따라 신호선의 단위 길이당 신호의 감쇠가 더 많이 발생함을 알 수 있고 이는 신호의 충실성을 저하시키는 요인으로 작용한다. 따라서 고속의 신호전송을 위한 전송선의 설계시 전송선로의 길이를 최소화하고 전송선의 임피던스 및 PCB의 유전율, 선로의 폭 등을 고려하여 설계하여야 신호의 충실성을 보장할 수 있다.

참고문헌

- [1] John C. Freeman " Fundamental of microwave transmission lines", John Wiley & Sons, Inc., 1996
- [2] Howard W. Johnson, Martin Graham "High-speed Digital Design", Prentice Hall, 1993
- [3] "HSPICE User Manual", Meta-Software, 1996