

초고속 디지털 신호 전송이 가능한 평형선로 기반의 차세대 디지털 전송선로

민병철, 이정석, 김문주, 최정식, 최현철, 김강욱

경북대학교

minbc4658@knu.ac.kr

Super-High-Speed Digital Transmission Line based on Balanced Line for the Next Generation

Min Byung Cheol, Lee Jung Seok, Kim Mun Ju, Choi Jung Sik, Choi Hyun Chul, Kim Kang

Wook

Kyungpook National Univ.

요 약

본 논문은 차세대 디지털 전송선로인 평형선로와 초광대역 차동선로-평형선로간 전이구조의 효능 및 장점을 소개하였다. 최첨단 기술들의 발전에 따라, 초고속 디지털 전송 수요가 증가하고 있다. 기존 디지털 선로인 차동선로는 차동신호를 전송할 수 있는 가장 간편한 선로로써 많이 사용되고 있으나, 근본적인 한계로 복잡한 디지털 회로 환경에서 주파수 대역이 제한된다. 평형선로는 전기적, 구조적 장점을 통해 차동선로의 한계를 극복할 수 있는 새로운 초고속 디지털 전송선로로 활용될 수 있다.

I. 서 론

4차 산업혁명의 본격화로 인해 IoT, 인공지능 등 최첨단 기술들이 발달하고 있으며, 이에 따라 나날이 데이터 전송량 수요가 증가하고 있다. 기존 디지털 회로는 높은 데이터 전송량 수요를 해결하기 위해 수많은 선로가 사용되며, 이로 인해 곡선 구조, 매우 인접한 선로 간 간격, 그리고 다른 층으로의 전이 등이 빈번하게 사용된다. 복잡한 회로 환경에서도 우수한 신호 전송 품질을 위해 고속 신호 전송에 차동신호를 주로 사용하며, 차동신호를 전송할 수 있는 대표적인 전송선로는 차동선로이다. 그러나 차동선로는 복잡한 디지털 회로 환경에서 여러 가지 문제가 발생할 수 있는데, 곡선 구조에서 차동선로 내 경로 차이를 일으켜, 신호의 Skew 현상을 유발할 수 있으며, 인접 차동선로 간 간섭으로 인해 차동선로의 두 선로에 다른 크기로 영향을 주어 공통모드 잡음을 유발할 수 있다.

평형선로는 Coplanar Stripline(CPS)와 Parallel Stripline(PSL)로 구성되어 있으며, 차동신호를 전달할 수 있는 전송선로이다. 차동선로와 달리 평형선로는 별도의 접지면이 없으며, 두 선로가 서로의 접지선로가 되어 신호가 전송되며, 매우 강한 결합력이 작용한다. 평형선로는 구조적, 전기적 장점을 기반으로 차동선로의 근본적 한계를 극복할 수 있다. 강한 전기적 결합력을 가진 평형선로는 손상된 차동신호의 위상을 복구할 수 있는 특성을 가지고 있다. 또한, 평형선로 중 PSL은 구조적 특징을 통해 곡선 구조에서도 경로 차가 발생하지 않으며, 선로간 간섭에 매우 강하다. CPS는 전기적으로 차동선로에 비해 낮은 유효유전율을 가져 차동선로보다 빠른 속도로 신호를 전송할 수 있는 특징이 있다. 다양한 장점을 가진 평형선로를 차동선로 기반의 디지털 회로에 평형선로를 적용시키기 위해서는 차동선로-평형선로 간 전이구조가 요구되며, 이 전이구조의 성능에 따라 평형선로의 성능이 좌우된다.

본 연구진은 초광대역 전이구조 설계 기술을 토대로 차동선로-평형선로 간 초광대역 전이구조를 개발한 바 있으며[1], 이를 활용하여 디지털 회

로상에 우수한 특성의 평형선로를 적용시킬 수 있다. 본 논문에서는 평형선로를 디지털 회로 상에 적용할 경우 얻을 수 있는 장점에 대해 소개하고자 한다.

II. 본론

그림 1은 기존 디지털 선로인 차동선로의 구조를 나타내었다. 차동선로는 2개의 신호선과 접지면으로 구성되어 있으며, 마이크로스트립 선로 2개를 특정 간격을 두고 배치한 것과 같은 형태이다. 제작이 용이하고, 칩과 인터페이스 등의 설치가 용이한 장점이 있다. 그러나, 복잡한 디지털 회로 환경에서 구조적, 전기적 한계로 인해 주파수 대역이 제한되어 디지털 전송속도를 향상하는데에 한계가 있다.



그림 1. 기존 디지털 선로(차동선로)의 구조

그림 2는 경로차가 발생한 차동선로의 선로 간 위상차와 기존 보상구조가 연결되었을 때의 위상차를 나타내었다. 경로차가 약 0.7 mm 발생하였을 때, 선로간 전기적 결합이 없는 이상적인 차동선로의 경우 위상차가 주파수에 따라 선형적으로 변한다. 그러나, 디지털 회로에 사용되는 차동선로는 좁은 간격으로 인해 선로간 전기적 결합이 존재하고, 이로 인해 불균형한 차동신호가 비선형적인 영향을 받게 된다. 선로폭이 0.25 mm, 선로 간격이 0.12 mm, 0.1T 두께의 FR-4 기판위에 설계된 차

동선로를 시뮬레이션에 사용하였다. 0.7 mm의 경로 차가 먼저 발생하고, 이를 복구할 보상구조를 12.7 mm 이후에 연결한 경우, 그림 2(a)와 같이 20 GHz 이후 위상차가 급격하게 변화하는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 20 GHz 이후의 높은 주파수에서는 기존의 보상구조로는 차동신호의 훼손된 균형을 복구할 수 없다. 또한, 그림 2(b)는 선로폭과 간격이 모두 0.25 mm인 0.1T FR-4 기판의 차동선로가 0.76 mm의 간격을 두고 다른 차동선로와 배치되었을 때, 차동선로의 각 선로가 받는 간섭의 세기를 나타내었다. 약 7 dB의 간섭 세기의 차이가 발생하며, 이는 곧바로 공통모드 잡음으로 이어지게 된다. 따라서, 차동선로는 위상 불균형 및 불평등한 선로 간섭으로 인해 주파수 대역이 제한된다.

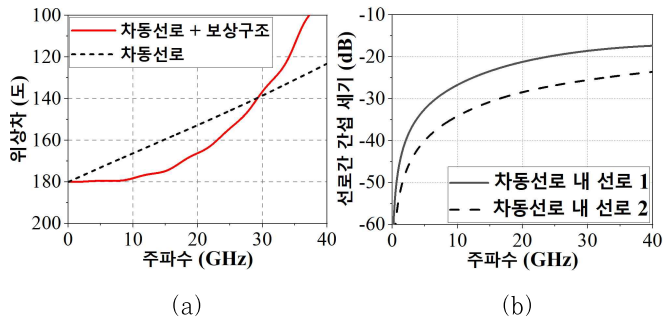


그림 2. (a) 차동선로 내 경로차로 인해 발생하는 위상차와 보상구조를 통해 복구한 위상차, (b) 인접 선로로 인한 불균등한 신호 간섭

그림 3은 기존 차동선로의 한계점을 극복할 수 있는 평형선로의 구조를 나타내었다. 평형선로는 CPS와 PSL로 구성되어 있으며, 선로간 강한 전기적 결합을 가지고 있다. CPS와 PSL은 차동선로 기반의 디지털 회로에 적용되기 위해서는 적당한 연결구조가 요구된다. 이 전이구조는 평형선로의 성능을 좌우할 수 있으며, 특히 주파수 대역폭은 전이구조에 의해 결정된다. 본 연구진이 개발한 초광대역 차동선로-평형선로간 전이구조와 연결된 평형선로의 효능을 소개하고자 한다.



그림 3. 차세대 디지털 선로(평형선로)의 구조

평형선로는 강한 전기적 결합과 초광대역 전이구조를 통해 들어진 차동신호의 균형을 복구할 수 있는 특징이 있다. 그림 4(a)에 기존 차동선로의 보상구조와 평형선로를 통한 위상 복구 성능을 비교하였다. 앞서 경로차가 발생하는 경우와 동일한 조건에서 (0.7 mm의 경로차) 20 GHz 이후 위상이 급격하게 변화하는 차동선로 및 보상구조와 달리, 평형선로는 20 GHz 이내로 위상이 복구가 되는 것을 확인할 수 있다. 또한, 그림 4(b)는 평형선로, 특히 PSL이 인접 선로에 의한 간섭의 세기를 나타내었다. 차동선로와 동일하게 0.76 mm의 간격을 두고 다른 PSL 선로가 배치되었을 때, 두 선로의 간섭 세기가 동일하며, 차동선로보다 간섭의 세기가 약한 것을 확인할 수 있다. 이외에도 PSL은 구조적 특성을 통해 곡선 구조에서도 경로차가 발생하지 않으며, CPS는 전기적 특성으로 유효전율이 높아 차동선로보다 빠른 속도로 신호를 전송할 수 있다.

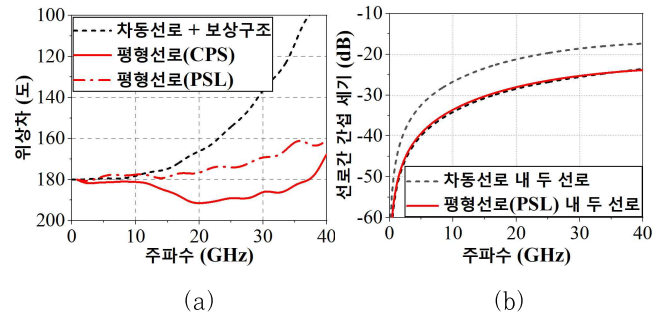


그림 4. (a) 평형선로의 위상복구, (b) 평형선로의 선로간 간섭

따라서, 평형선로는 차동선로가 갖는 한계를 넘어 다양한 장점을 기반으로 복잡한 디지털 회로 환경에서 초고속 신호 전송이 가능한 차세대 디지털 선로로 활용될 수 있을 것이다.

III. 결론

본 논문에서는 차세대 초고속 디지털 전송선로로써 활용될 수 있는 평형선로의 효능에 대해 소개하였다. 평형선로는 구조적, 전기적 특성을 기반으로 복잡한 디지털 회로 내에서도 초광대역의 주파수 특성을 가질 수 있으므로, 향후 200 Gbps 급의 디지털 신호 전송에 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(NRF-2022R1I1A3064460)과 교육부가 지원하는 한국연구재단 4단계 BK21 사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 4199990113966).

참 고 문 헌

- [1] Min, B.C.; Lee, G.H.; Lee, J.S.; Nashuha, S.H.; Choi, H.C.; Kim, K.W. "Ultra-Wideband Differential Line-to-Balanced Line Transitions for Super-High-Speed Digital Transmission," *Sensors* 2022, 22, 6873.