

LTE MIMO(4x4) 시스템용 빔성형 버틀러 스위치 설계 Design of Beamforming Butler Switch for LTE MIMO(4x4) System

이 동 학, 서 수 덕*, 조 학 래*, 양 두 영
제주대학교, 이너트론*

Lee dong-hak, Seo soo-duk*,
Cho hak-rae*, Yang doo-yeong,
Jeju National Univ., Innertron Inc.*

요약

LTE 대역인 2.5-2.68GHz에서 동작하는 버틀러 스위치를 설계하기 위해 버틀러 매트릭스의 구성요소인 3dB 하이브리드 커플러와 크로스오버를 다단 브랜치 선로의 구조로 구성하여 광대역 특성을 갖는 평면 구조의 버틀러 스위치를 설계하였다. 설계된 버틀러 스위치는 동작대역에서 23.9dB ~ 34.18dB의 좋은 반사손실 특성과 비교적 작은 7.12°의 위상오차를 보였다.

I. 서론

스마트 안테나는 전자파 복사 방향을 트래킹 상황이나 통신신호 환경에 따라 조절함으로써 다중경로 간섭과 동일주파수채널 간섭영향을 효과적으로 감소시켜 무선 네트워크의 수용용량을 확장시키는 역할을 한다. 이러한 스마트 안테나의 장점을 극대화시키기 위해서는 구성 요소 중 하나인 빔 성형 네트워크의 설계가 중요하다.

빔성형 네트워크(Beamforming Network)에는 크게 두 가지 방법인 로트만 렌즈(Rotman lens)[1]와 버틀러 매트릭스(Butler matrix)가 있다[2]. 이 중 버틀러 매트릭스는 주로 마이크로스트립 선로를 기반으로 구현되기 때문에 쉽게 제작이 가능하며, 내부 회로를 어떻게 설계하느냐에 따라 출력 포트의 급전크기와 인접한 출력 포트 간 위상차가 결정되기 때문에 배열안테나의 빔을 성형하는데 손쉬운 장점을 갖는다. 하지만 기존의 버틀러 매트릭스는 구성요소인 3dB 하이브리드 커플러와 크로스오버의 좁은 동작대역으로 인해 대역폭의 제한을 받는다.

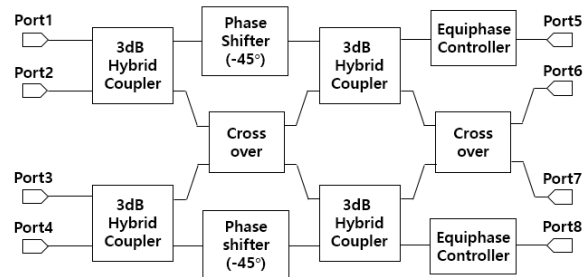
본 논문에서는 LTE 대역인 2.5-2.68GHz 대역에서 동작하는 버틀러 스위치를 설계하기 위해 버틀러 매트릭스의 내부 회로인 기존의 3dB 하이브리드 커플러와 크로스오버를 브랜치 선로 구조를 이용하여 다단으로 구성하였으며[3], 동작범위 내에서 위상오차를 줄이기 위하여 45° 위상 천이기와 등위상 조절기를 최적화함으로써 광대역 특성을 얻었다.

II. 본론

1. 빔 성형 네트워크

다중 빔 패턴을 성형시키는 버틀러 스위치는 N개의 입

력과 N개의 출력을 가지며, 일반적으로는 N=4, 8, 16 의 값으로 설계된다. 이론적인 버틀러 스위치의 특성으로 입력 포트들 간에는 서로 격리되며 하나의 입력 포트에 인가된 신호는 각 출력포트에서 1/N 만큼의 크기로 신호 에너지가 나누어지고 인접한 출력포트들 사이에는 일정한 위상차를 갖게 된다. 버틀러 스위치는 이러한 특성 때문에 다중 빔 성형 네트워크에 사용되고 있다.

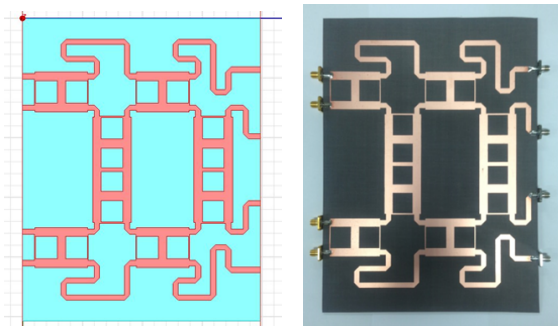


▶▶ 그림 1. 4x4 버틀러 스위치의 구조

그림 1은 4x4 버틀러 스위치의 구조와 구성요소들을 나타낸 것으로 3dB 하이브리드 커플러 4개, 크로스오버 2개, 45도 위상기와 등위상 조절기로 구성된다. 이들 구성요소 중 3dB 하이브리드 커플러와 크로스오버는 마이크로스트립에서 브랜치 선로 구조로 설계하였으며, -45도 위상 천이기와 등위상 조절기의 경우는 선로의 길이를 조정하는 것으로 버틀러 스위치의 특성을 최적화하였다.

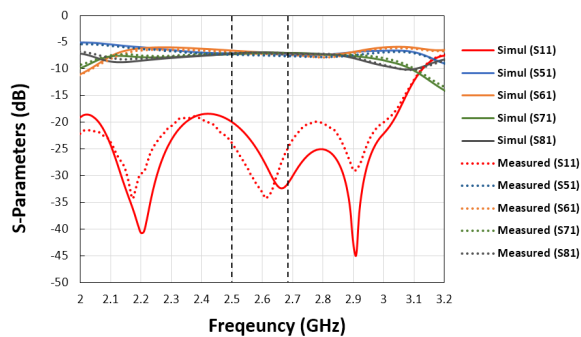
본 논문에서 설계에 사용된 기판은 Taconic TLX-9으로 유전율 $\epsilon = 2.5$, 손실 탄젠트 $\delta = 0.0019$, 기판의 높이 $h = 1.57mm$, 동판의 두께 $t = 35\mu m$ 를 사용하였으며, 상용 툴인 HFSS의 시뮬레이션 결과와 실제 제작을 통해 측정된 결과 값을 확인하고 비교하였다. 설계된 버

틀러 스위치와 실제 제작된 모델은 그림 2에 나타내었다.

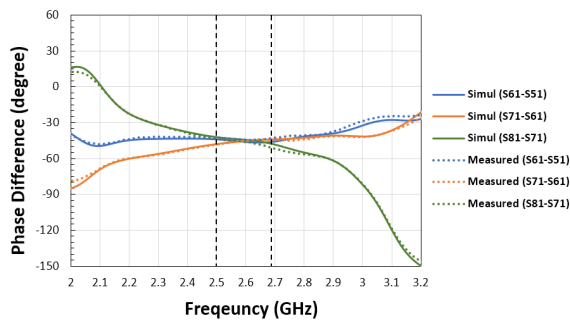


(a) 설계된 버틀러 스위치 (b) 실제 제작 모델
▶▶ 그림 2. 광대역 특성을 갖는 4x4 버틀러 스위치

2. 시뮬레이션 결과 및 측정 결과



▶▶ 그림 3. 광대역 4x4 버틀러 스위치의 신호전달 특성



▶▶ 그림 4. 광대역 4x4 버틀러 스위치의 위상 특성

그림 3은 LTE 주파수 대역에서 설계된 버틀러 스위치의 주파수 특성으로써 실선으로 표현된 값들은 시뮬레이션 결과를, 점선으로 표현된 값들은 측정에 의해 얻어진 결과 값을 나타낸다. 측정치의 경우, LTE 대역인 2.5-2.68GHz에서 설계된 버틀러 스위치의 삽입손실 특성을 나타내는 S51, S61, S71, S81은 최대 -7.1dB에서 -7.63dB로 약 0.53 정도의 오차를 가지며 반사손실 특성

을 나타내는 S11은 2.5GHz에서 최대 -23.9dB로 좋은 격리 특성을 보였다.

그림 4는 입력 포트1에 신호가 인가되었을 때, 인접한 출력 포트 간 위상차를 보여준다. 이론적으로는 -45° 의 위상차를 가져야 하지만, 광대역 특성을 갖는 버틀러 스위치는 중심주파수를 벗어날수록 위상 오차가 크게 발생한다. 측정결과 위상오차는 2.5GHz에서 5.804° , 2.59GHz에서 1.575° , 2.68GHz에서 7.124° 의 오차를 보였다.

III. 결론

본 논문에서는 버틀러 스위치의 구성요소 중 3dB 하이브리드 커플러와 크로스오버를 각각 3단 브랜치 구조와 5단 브랜치 구조로 설계하여 광대역 특성을 얻었으며, 등위상 조절기를 이용하여 인접한 출력포트 간 발생하는 위상오차를 최소화 하였다. 설계된 버틀러 스위치는 직접 제작되었으며, 성능과약을 위하여 시뮬레이션 결과와 측정결과는 서로 비교되었다. 버틀러 스위치의 동작대역 내에서 반사손실 특성은 최대 23.9dB, 삽입손실 특성은 7.1dB에서 7.63dB로 0.53정도의 오차를 보였으며, 위상 오차는 최대 7.124° 의 오차가 발생하였다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] W. Rotman, and R. Turner, "Wide-angle microwave lens for line source applications", IEEE Trans. Antenna Propag., pp. 623-632, 1963.
- [2] J. Butler, and R. Lowe, "Beamforming matrix simplifies design of electrically scanned antennas", Electron. Des., pp. 170-173, 1961.
- [3] M. Muraguchi, T. Yukitake, and Y. Naito, "Optimum Design of 3-dB Branch-Line Couplers Using Microstrip Lines", IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques. Vol. MTT-31, No. 8, 1983.