

12GHz RF 트랜시버용 능동 인덕터 기반 SPST 스위치 설계

신선호, 김태영, 송익현*
한양대학교, *한양대학교

a5731020@hanyang.ac.kr, kd97050@hanyang.ac.kr, *isong@hanyang.ac.kr

Design of an Active Inductor Based SPST Switch for 12GHz RF Transceivers

Seon Ho Shin, Tae Yeong Kim, Ick Hyun Song *
Hanyang Univ., Hanyang Univ., * Hanyang Univ.

요 약

본 논문에서는 65nm CMOS 공정으로 구현한 12 GHz 대역 능동 인덕터 기반 single-pole-single-throw(SPST) 스위치 설계를 제안한다. Q-factor가 높은 능동 인덕터 특성을 이용하여 높은 S_{21} , 낮은 S_{11} , 칩 면적 감소를 구현하였고 바이어스 전압 조절을 통해 능동인덕터의 등가 인덕턴스를 가변함으로써 11 - 13 GHz 범위 내에서 중심 주파수 튜닝이 가능하다. 시뮬레이션 결과, S_{21} 은 12 GHz에서 -0.9 dB, S_{11} 은 -30 dB를 달성하여 우수한 임피던스 정합 특성을 확인하였다. 또한 능동 인덕터를 도입함으로써 스위치 블록의 칩 면적을 기존 수동 나선형 인덕터 사용 대비 약 15 배 축소하였다. 능동 인덕터는 대역폭 내 인덕턴스 조정 기능과 소형화를 동시에 제공하므로, 제안된 구조는 mmWave 송수신기의 집적도 향상과 주파수 유연성을 충족하는 고효율 RF 스위치로 활용 가능하다.

I. 서 론

5G 어레이 안테나 시스템은 양방향 RF 스위치, 저잡음 증폭기(LNA), 전력 증폭기(PA) 등의 광대역, 저비용, 고집적 프론트엔드 회로를 요구한다. 특히 송수신기가 단일 안테나를 공유하는 RF 스위치는 필수이며, 송신시 고전력 신호를 안테나에 전달함과 동시에 저전력 수신 회로를 보호하고, 수신시에는 높은 S_{21} , 낮은 S_{11} 및 낮은 노이즈 등이 필요하다. 따라서 이를 만족시키기 위한 CMOS 기반 연구가 활발히 진행되고 있다 [1-3]. 그러나 기존 연구의 상당수는 수동 나선형 인덕터를 사용하거나 보다 큰 크기의 MOSFET을 사용하여, 칩 면적 측면에서 효율적이지 못했다. 특히 수동 인덕터의 낮은 Q-factor는 면적 대비 성능을 제한하는 문제를 야기하였다.

본 논문에서는 65nm CMOS 공정에서 능동 인덕터를 이용한 공진 기법을 적용한 12 GHz 대역 차동 SPST 스위치를 제안한다. 제안된 능동 인덕터의 높은 Q-factor를 이용하여 목표 주파수에서의 스위치 특성을 개선하고 수동 인덕터 대비 칩 면적을 대폭 축소한다. 또한 가변 인덕턴스를 활용해 넓은 주파수 범위에서 스위치가 동작하도록 설계하였다. 본 논문의 설계 방법과 시뮬레이션 결과는 본문에서 상세히 설명하며, 결론에서는 응용 가능성을 논의한다.

II. 본론

본 연구에서는 Weng-Kuo cascode 능동 인덕터에 피드백 저항을 추가한 구조(그림 1)를 채택하였다[4]. 이 인덕터는 공진 주파수와 Q-factor를 독립적으로 조절할 수 있으며, 바이어스 전압에 따른 전류 제어로 11-13

GHz 범위에서 공진 주파수를 가변한다. 피드백 저항은 등가 인덕턴스와 Q를 동시에 향상시키는 역할을 한다.

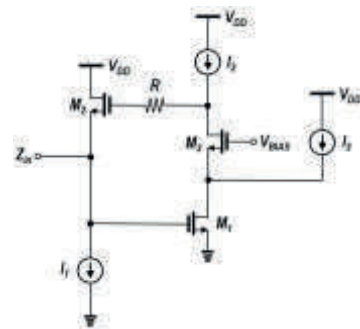


그림 1. 피드백 저항을 포함한 Weng-Kuo 캐스코드 능동 인덕터 구조

시뮬레이션 결과(그림 2)에 따르면 12 GHz에서 등가 인덕턴스는 0.9 nH, 품질 계수는 약 1500으로 매우 높다. 능동 인덕터를 차동형 SPST 스위치에 적용한 회로도도 그림 3에 제시된다. 네 개의 스위치 노드에 능동 인덕터를 연결하여 MOSFET의 기생 커패시턴스와 공진을 형성함으로써 목표 주파수(12 GHz)에서 높은 S_{21} 과 낮은 S_{11} 을 달성하였다. 성능 비교 결과(그림 4)는 Q-factor=10인 수동 인덕터 기반 스위치 대비 동일 주파수에서 더 우수한 S_{21} , S_{11} 을 나타낸다. 마지막으로 그림 5는 바이어스 전압 변화에 따른 능동 인덕터의 인덕턴스 가변 특성을 보여 주며, 이를 통해 스위치가 보다 넓은 주파수 대역에서 동작하도록 설계할 수 있음을 확인하였다.

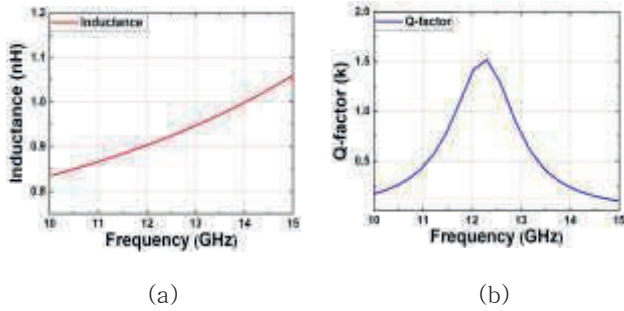


그림 2. 능동 인덕터의 (a) 등가 인덕턴스 및 (b) 품질 계수(Q-factor) 시뮬레이션 결과

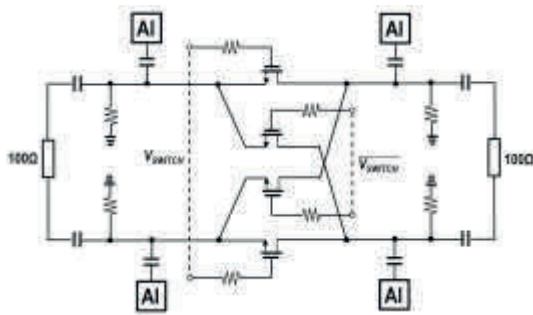


그림 3. 능동 인덕터를 적용한 차동형 SPST 스위치 회로

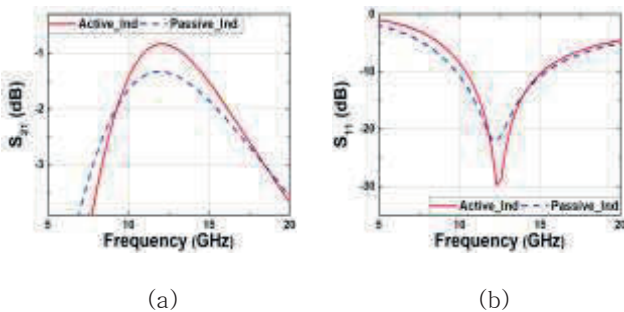


그림 4. SPST 스위치의 시뮬레이션 결과: (a) S_{21} , (b) S_{11} - 수동 인덕터 대비 비교

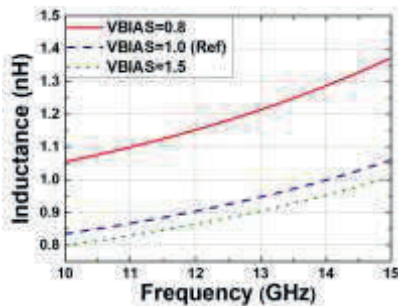


그림 5. 바이어스 전압에 따른 능동 인덕터의 인덕턴스 가변 특성

III. 결론

본 논문에서는 능동 인덕터 기반의 차동형 SPST 스위치를 65 nm CMOS 공정에서 설계하고, 고주파 대역(12 GHz)에서의 성능을 분석하였다. 시뮬레이션 결과 수동 인덕터 대비 S_{21} 과 S_{11} 모두 향상된 성능을 보여주었으며,

따라서 본 구조는 5G 및 밀리미터파(mmWave) 대역 RF 송수신기에서 소형화 및 고선형성 RF 스위치 설계에 효과적으로 활용될 수 있으며, 향후 실제 측정 기반의 실리콘 구현 및 다른 주파수 대역에 대한 확장 적용 연구가 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by Korea Basic Science Institute (National research Facilities and Equipment Center) grant funded by the Ministry of Science and ICT (RS-2024-00404624) and by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (RS-2024-00409492). The EDA tool was supported by the IC Design Education Center (IDEC), Korea.

참 고 문 헌

- [1] Yamamoto K. et al., "A 2.4-GHz-band 1.8-V operation single-chip Si-CMOS T/R-MMIC front-end with a low insertion loss switch," in IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 36, no. 8, pp. 1186-1197, Aug. 2001.
- [2] Feng H. and K.K. O., "Single-pole double-throw CMOS switches for 900-MHz and 2.4-GHz applications on p/sup-/silicon substrates," in IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 39, no. 1, pp. 35-41, Jan. 2004.
- [3] Talwalkar N. A., Yue C. P., Gan H., and Wong S. S., "Integrated CMOS transmit-receive switch using LC-tuned substrate bias for 2.4-GHz and 5.2-GHz applications," in IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 39, no. 6, pp. 863-870, June 2004.
- [4] Weng R. M. and Kuo R. C., "An ω 0-Q Tunable CMOS Active Inductor for RF Bandpass Filters," 2007 International Symposium on Signals, Systems and Electronics, Montreal, QC, Canada, 2007, pp. 571-574.