

저항-캐패시터, 인덕터-저항 2 단 다중 위상필터를 이용한 7-9GHz 대역 가변 이득 위상 천이기의 설계

왕승훈, 공선우, 장승현, 이희동, 박봉혁
한국전자통신연구원 입체통신연구소

wang@etri.re.kr

Design of a Variable Gain Phase Shifter for the 7-9 GHz Band Using a Two-Stage Resistor-Capacitor and Inductor-Resistor Poly-Phase Filter

Seunghun Wang, Sunwoo Kong, Seunghyun Jang, Hui-Dong Lee, Bong-Hyuk Park
ETRI

요 약

본 논문에서는 Upper-mid band를 위한 7-9GHz 대역에서 동작하는 가변 이득 위상 천이기를 65nm CMOS 공정을 이용하여 설계하였다. 시뮬레이션 결과 8GHz 에서 이득은 3.5dB, 360 도 10bit 의 위상 제어 분해능과 24dB 의 이득 조절 범위 내에서 8bit 의 이득 제어 분해능을 가지며, 이때의 전력소모는 8mW 이다.

I. 서 론

여러 개의 안테나를 사용하는 위상 배열 안테나 시스템은 핵심인 빔포밍 회로는 유효 복사 전력(ERIP, Effective Isotropically Radiated Power)을 증가시켜서 통신 시스템에서 SNR 을 개선시킬 수 있으며 모터와 같은 기계적인 요소 없이도 빔의 방향을 빠르고 정확하게 제어할 수 있어서 미래 지향적인 RF 시스템의 핵심 기술로서 주목받고 있다. 여러 개의 RF 채널을 사용하여 복잡도가 커지게 되기 때문에 빔포밍 시스템을 이루는 기본 구성 단위는 집적회로로 구현하는 것이 유리하며 이에 따라 집적도가 높은 CMOS 공정을 사용하는 빔포밍 집적회로 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 형성된 빔의 방향을 조절하기 위해서는 각 채널에서 일정한 위상 차가 날 수 있도록 고해상도로 위상을 제어해야 한다. 그러나 원하는 성분인 주엽(Main lobe)외에도 원치 않는 성분인 부엽(Side lobe) 성분까지 커지게 되며, 이를 효과적으로 감소시키기 위해서는 각 채널에서 적절한 이득 조절을 해 주어야 한다[2]. 이를 위해 빔포밍 시스템을 이루는 빔포머의 각 채널은 고해상도의 집적회로는 위상 조절 기능 뿐만 아니라 이득 조절까지 필요로 하게 된다.

기존의 고전적인 빔포밍 집적회로에서는 위상을 제어하기 위한 위상천이기, 이득을 조절하기 위한 감쇄기, 그리고 손실을 줄이기 위한 추가적인 증폭기 등의 여러가지 요소 회로들의 조합으로 제어부가 구성되어서 면적이 커지고 전력 소모가 크다는 한계점이 있다.

벡터 합 회로 기반의 위상천이기는 4 개의 길버트 셀 구조로 구성되어 있으며 90 도의 위상차이를 가지는 4 개의 quadrature 신호를 입력으로 받게 되며 4 개의 길버트 셀 중 2 개만을 선택적으로 사용하여 I 와 Q 신호를 합성하여 원하는 위상을 만들어 내게 된다.

위상천이기를 사용하게 된다. 이 때, 길버트 셀의 꼬리 전류(tail current)의 합을 항상 일정하게 유지하며 그 비율만을 조절하는 방식으로 위상을 조절할 때, 위상 천이기의 출력 임피던스를 일정하게 유지할 수 있게 된다[3].

I/Q 생성기는 넓은 대역폭을 위하여 hybrid coupler, quadrature all pass filter, RC-RC 2stage PPF(polyphase filter)등으로 구성하게 된다. 그중 RC-RC-RC PPF 의 경우, 부하 임피던스가 50 옴에서 멀어져도 I/Q error 가 없다는 장점이 있지만, capacitive 한 임피던스끼리 서로 마주보고 있게 되는 구조이기 때문에 RF 영역에서 임피던스 미스매치에 의한 삽입손실이 크다는 단점이 있다.

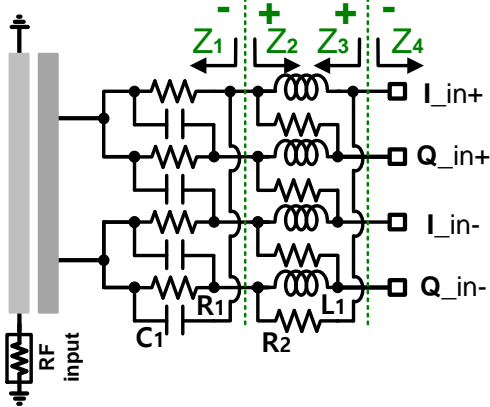
II. 본론

본 논문에서는 RC-RL PPF 를 8GHz 대역에서 설계하였고 이를 기반으로 벡터 합성기의 꼬리 전류를 적절하게 조합하여 하나의 요소회로에서 위상 뿐만 아니라 이득까지 조절하는 가변이득 위상천이기를 구현하였다.

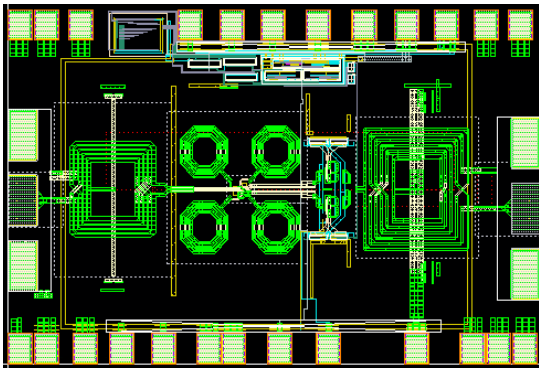
<그림 1>과 같이 차동 I/Q generator 로 구성된 PPF 중 2 번째 단은 R,C 가 아닌 L 과 R 로 구성되어 있으며 이 단의 PPF 는 I/Q 생성에만 관여하는 것이 아니라 앞단의 RC PPF 로 보이는 capacitive 한 임피던스 (Z1), 뒷단의 MOSFET 의 gate 로 보이는 capacitive 임피던스 (Z4)를 양의 허수부를 가지는 inductive 임피던스를 가지는 inter-stage 매칭 네트워크로서의 역할까지 가져가게 되어 기존의 RC-RC PPF 대비 임피던스 미스 매치에 의한 삽입 손실을 크게 개선할 수 있다[4]. <그림 2>는 65nm CMOS 공정으로

설계된 가변 이득 위상 천이기의 레이아웃이며 1240 um X 826 um 의 크기를 가진다.

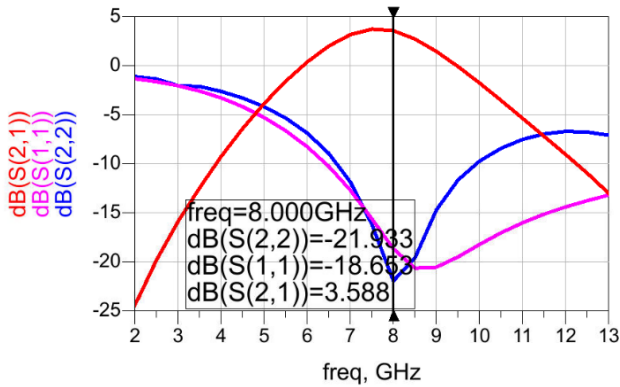
360 도를 10bit 분해능으로 위상 제어 할 수 있고, 24dB 정도의 이득 제어 range 를 8bit 분해능으로 제어할 수 있으며, 이중 9 개의 이득 조절 state 만을 골라서 plot 한 결과를 <그림 4>에 나타냈다.



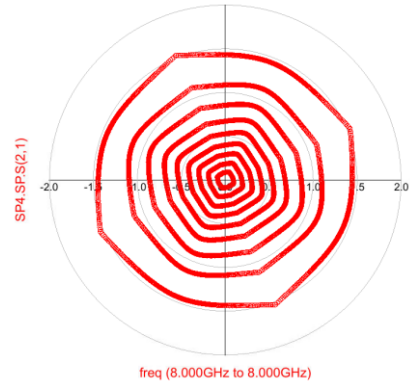
<그림 1> RC-RL 2 단 다중 위상 필터의 회로도



<그림 2> 설계된 가변 이득 위상 천이기의 레이아웃



<그림 3> 최대 이득, 0 도 위상 제어 상태에서의 S-parameter 시뮬레이션 결과



<그림 4> 위상 및 이득 제어 벡터 constellation 시뮬레이션 결과

III. 결론

본 논문에서는 하나의 요소 회로에서 위상과 이득을 모두 조절 할 수 있는 가변 이득 위상 천이기를 8GHz 대역에서 설계하였고 그 시뮬레이션 결과에 대해 나타낸다. 시뮬레이션 결과 8GHz 에서 이득은 3.5dB, 360 도 10bit 의 위상 제어 분해능과 24dB 의 이득 조절 범위 내에서 8bit 의 이득 제어 분해능을 가지며, 이때의 전력소모는 8mW 이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2024 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을받아 수행된 연구임 (No. RS-2024-00397336, Upper-mid Band 통신단말용 빔포머 IC 포함 안테나 통합 모듈 기술 개발)

참 고 문 헌

- [1] B. Sadhu et al., "A 28-GHz 32-element TRX phased-array IC with concurrent dual-polarized operation and orthogonal phase and gain control for 5G communications," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 52, no. 12, pp. 3373- 3391, Dec. 2017.
- [2] P. Delos, B. Broughton, and J. Kraft, "Phased-array antenna patterns (Part 6)- Sidelobes and tapering," Microwaves&RF, Nashville, TN, USA, Oct. 2020.
- [3] K.-J. Koh and G. M. Rebeiz, "0.13-μ m cmos phase shifters for X-, Ku- and K-band phased arrays," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 42, no. 11, pp. 2535- 2546, Nov. 2007.
- [4] S. Wang, J. Park and S. Hong, "A K-Band Variable-Gain Phase Shifter Based on Gilbert-Cell Vector Synthesizer With RC- RL Poly-Phase Filter," in IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 31, no. 4, pp. 393-396, April 2021