



# 삼중 결합 트랜스포머 기반 초광대역 CMOS 저잡음 증폭기

김연수\*, 이남경, 오준택  
 숭실대학교 지능형반도체학과  
 E-mail : kingojt@ssu.ac.kr

## Introduction

- ▶ 밀리미터파 5G의 높은 직진성으로 인한 한계를 극복하기 위해, 7~24 GHz(Upper-mid) 대역을 활용한 6G 통신의 필요성이 증가하고 있음
- ▶ 이에 따라 이동 통신에 적용되는 저잡음 증폭기의 경우 광대역에서 안테나로부터 수신된 신호를 낮은 잡음 지수를 가지며 증폭할 수 있는 설계 기술이 요구됨
- ▶ 본 논문에서는 삼중 결합 트랜스포머를 적용하여 광대역에서 동작 가능한 저잡음 증폭기를 제안함

### 광대역 동작 특성을 갖는 저잡음 증폭기

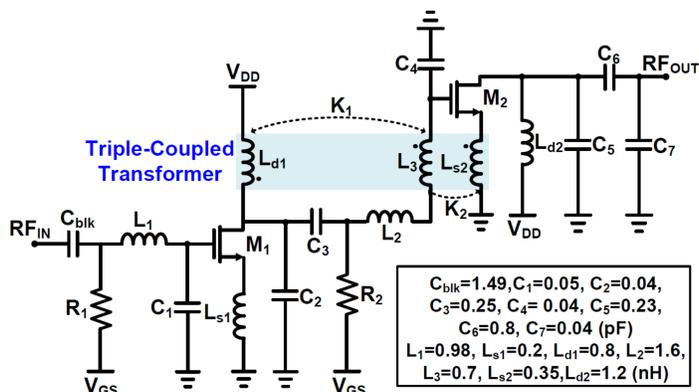


그림 1. 제안한 저잡음 증폭기 도식도

### ▶ 광대역 동작 특성을 갖는 저잡음 증폭기

- 제안하는 저잡음 증폭기는 높은 이득 특성을 확보하기 위하여 공통 소스(common source) 증폭기를 기반으로 한 케스케이드(cascade) 구조로 구성됨
- 입력 및 노이즈 매칭을 동시에 만족하기 위해 직렬 인덕터와 병렬 캐패시터를 이용한 매칭 네트워크를 구성하며, 각 증폭 단계 소스 축퇴 인덕터(source degeneration inductor)를 추가하여  $S_{opt}$ 를 매칭시켜 노이즈를 개선하며, 회로의 안정성 지수(stability factor, K)를 1 이상으로 유지함
- 삼중 결합 트랜스포머는 두번째 증폭단의 0.8 nH의 gate 인덕터( $L_3$ )와 0.35 nH의 source 인덕터( $L_{s2}$ )의 커플링을 형성함과 동시에 첫번째 증폭단의 drain 인덕터( $L_{d1}$ )와 중간 매칭 네트워크의 인덕터( $L_3$ )의 커플링으로 구현됨
- 두번째 증폭단의 gate와 source 인덕터로 구성된 트랜스포머의 경우 gate에 음의 이득을 갖는 피드백 경로를 제공함으로써  $g_m$  boosting을 가능하게 함. 이는 기존의 MOSFET을 통하여 이득을 증대시키는 구조와는 달리 별도의 전력 소모 없이 저잡음 증폭기의 전체 이득을 효과적으로 증폭함
- 첫번째 증폭단의 drain과 중간 매칭 네트워크의 인덕터로 구성된 트랜스포머의 경우 커플링 계수(coupling coefficient, K)값이 커질수록 저주파 peaking 지점의 주파수를 낮추며, 이득의 평평도를 조정하여 광대역 특성을 갖도록 설계함

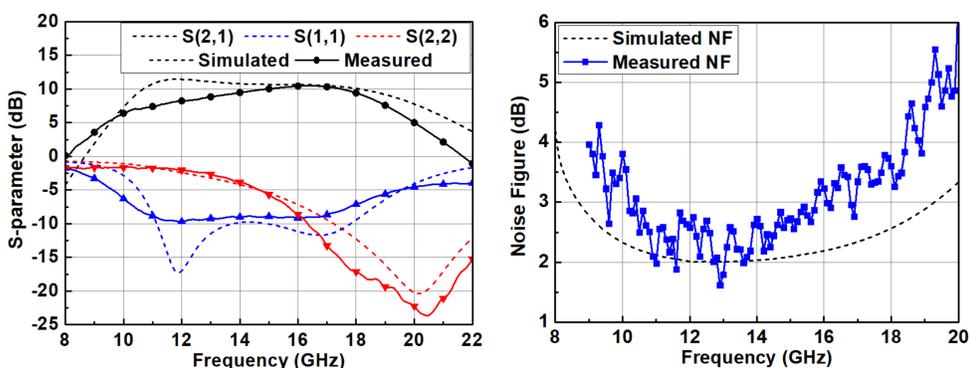


그림 2. 시뮬레이션 및 측정 결과 (좌)주파수 별 S-parameter, (우)잡음 지수

### 저잡음 증폭기의 시뮬레이션 및 측정 결과

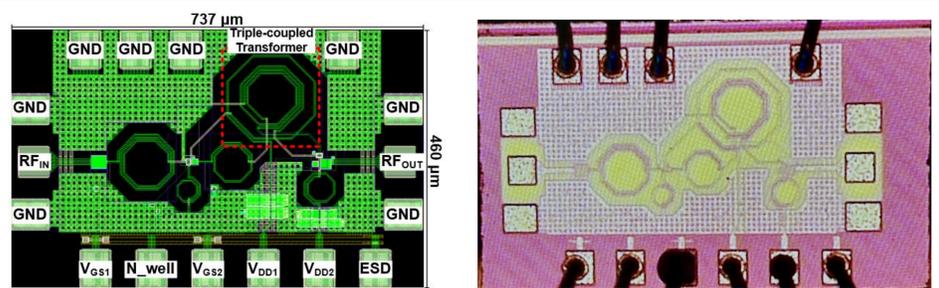


그림 3. 제작된 저잡음 증폭기의 (좌) 레이아웃, (우) 칩 사진

### ▶ 제안한 저잡음 증폭기의 시뮬레이션 및 측정 결과

- 제안한 삼중 결합 트랜스포머 기반 광대역 저잡음 증폭기는 TSMC 65nm CMOS 공정을 사용하여 제작되었으며, 전체 칩 크기는 측정용 패드를 제외한 0.2 mm<sup>2</sup>의 active area를 가짐
- 제안한 저잡음 증폭기는 0.4 V의  $V_{gs}$  및 1V의  $V_{dd}$ 가 인가하여 8 mW의 전력을 소비하며, 이때 16.5 GHz에서 10.5 dB의 최대 이득 및 11.3~19.4 GHz의 3-dB 주파수 대역폭을 가짐
- 측정된 잡음 지수는 3-dB 주파수 대역에서 1.8~3.8 dB임
- 제안한 저잡음 증폭기의 IP1dB는 11~19 GHz에서 -19.6~-14.1 dBm의 값을 가짐

표 1. 기존 연구와 제안한 저잡음 증폭기의 성능 비교표

	[1]	[2]	본 논문*
Tech.	65nm CMOS	180nm CMOS	<b>65nm CMOS</b>
Freq. (GHz)	8.6 – 13.6	6.3 – 14.6	<b>11.3 – 19.4</b>
Gain (dB)	17 – 20	7.6 – 10.6	<b>7.5 – 10.5</b>
NF (dB)	2.3 (avg.)	3.6 – 4.2	<b>1.8 – 3.8</b>
IP1dB (dBm)	-7.8 (@13 GHz)	-19.3 – -15.4	<b>-19.6 – -14.1</b>
$P_{DC}$ (mW)	10	6.3	<b>7.9</b>
Active area(mm <sup>2</sup> )	0.21	0.29	<b>0.2</b>

[1] M.-S. Baek, et al, *IEEE Microw. Wireless Techn. Lett.*, vol. 34, no. 3, pp. 306–309, 2024.

[2] X. Yuanrong, et al, *Microelectron. J.*, vol. 155, no. 106497, 2025

## Conclusion

- ▶ 제안하는 저잡음 증폭기는 광대역 고이득 특성을 구현하기 위하여 삼중 결합 트랜스포머 기반의 매칭 네트워크를 적용함
- ▶ 저잡음 증폭기의 측정 결과, 8 mW의 낮은 전력이 소모될 때, 16.5 GHz에서 10.5 dB의 최대 이득 및 11.3~19.4 GHz의 3-dB 대역폭을 가지며 해당 대역폭에서 1.8~3.8 dB의 NF 및 -19.6~-14.1의 IP1dB를 가짐

## ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호 RS-2023-00218972).

본 연구는 IDEC에서 MPW를 지원받아 수행하였습니다.