

부분방전 모니터링 시스템에 적용 가능한 LNA 및 믹서 설계

이제광, 고재형, 김군태, 김형석
 중앙대학교

LNA and Mixer Design for Partial Discharge Monitoring System

Je-Kwang Lee, Jea-Hyeong Ko, Kun-Tae Kim, Hyeong-Seok Kim
 School of Electrical and Electronics Chung-Ang University

Abstract - 본 논문에서는 300MHz~500MHz대역에서 -80dBm~-30dBm의 레벨로 발생하는 초고압 전력기기의 부분방전을 감지 할 수 있는 RF 모듈에 적용 가능한 LNA와 믹서를 설계하였다. 모니터링이 가능하도록 시스템 버전을 실시하고, 설계된 부품들을 하나의 모듈로 합쳐 시뮬레이션 함으로써, 시스템의 목표에 맞게 설계 되었음을 확인하였다. LNA와 필터, 두단의 믹서를 통해 BPF로 가는 헤테로다인 방식을 사용하였으며 이중 설계된 가장 첫 단의 LNA와 주파수 합성 역할을 하는 첫 단 믹서를 다른 이상적인 소자들과 함께 시뮬레이션 하였으며, 그 결과 300MHz~500MHz대역에서 가변이득증폭기의 가변이득 폭이 14dB ~ 56dB까지 변할 때 출력신호가 20MHz에서 3 ~ 5dBm으로 일정하게 나오는 것을 확인하였다.

LNA의 설계 목표는 표 1과 같다.

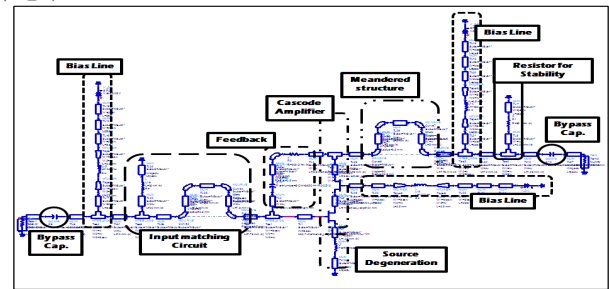
〈표 1〉 LNA의 목표 설계 스펙

	목표 스펙
대역	300MHz~500MHz
이득	15dB
잡음지수	Under 1dB
IIP3	0dBm

설계된 LNA는 케스코드 구조로 설계하였으며, 설계된 회로도는 그림 2와 같다.

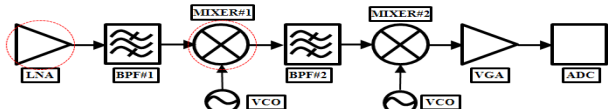
1. 서 론

산업이 발달함에 일반 가정에서나 산업체에서 전기에 대한 의존도가 날로 증가하고 있다. 또한 전력설비의 대형화, 밀집화, 다기능화에 따라 전력설비의 고장으로 인한 전기사고 발생 시에는 그 경제·산업적 피해가 막대하다. 전력의 안정적인 운영을 위해서는 전력기기의 예방진단이 필수적으로 요구되어진다고 할 수 있다. 부분방전 모니터링 시스템이란 초고압 전력 설비에서 다양한 원인에 의해 발생하는 부분방전 스파크(300MHz ~ 500MHz, -80dBm ~ -30dBm)를 모니터링 하는 시스템이다[1][2]. 이를 통해 전력설비 운전, 유지보수 및 예방 정비 분야 개념을 기존의 시간 기준 정비 개념에서 초고압 전력설비를 모니터링하고 상태를 파악함으로써 상태기준 정비 개념으로 바꿀 수 있다. 또한 초고압 기기 내부의 다양한 원인에 의해 발생하는 부분방전을 검출함으로써 고장의 원인과 위치 판단 및 사고를 미연에 방지 할 수 있게 된다. 본 논문에서는 이를 헤테로다인 방식을 사용하여 시스템 버전을 하고, 이중 LNA 및 첫 단의 믹서를 설계하였다. 시스템의 블록도는 그림 1과 같다.



〈그림 2〉설계된 LNA와 각 단의 설명

설계된 LNA의 바이어스 선로 설계에는 목표대역인 300MHz~500MHz 대역을 차단할 수 있도록 설계하였으며, 입출력단에는 LC 소자 및 마이크로 스트림 라인을 이용하여 매칭 하였다. 이때 길어진 선로길이를 줄이기 위하여 입출력단에 미엔더 구조를 삽입하여 설계하였다. 또한 피드백 구조를 사용하여 저항을 통한 출력신호 부궤환으로 광대역 특성이 나타나도록 하였고, 커패시터를 같이 삽입하여, 직류 성분이 흐르는 것을 막아주었다. 출력단에는 병렬로 저항을 달아줌으로써 회로가 안정적으로 동작할 수 있도록 하였다.



〈그림 1〉헤테로다인 방식의 모니터링 시스템 블록도

다이렉트 컨버전 방식을 이용한 광대역 모듈의 경우와 비교하여 소자수가 늘어나는 단점이 있지만, 첫 번째 단의 믹서에 들어가는 LO신호인 VCO의 주파수를 조절함으로써 출력단에 주파수를 10MHz~20MHz의 협대역으로 가져가도록 하여 시스템 전체의 민감도 및 SNR을 더욱 유리하게 설정 할 수 있다. 이는 식 1에 나타내었다.

$$Sensitivity = -174dBm/Hz + NF + 10\log(BW) + SNR_{min} \quad (1)$$

본 시스템에서는 헤테로 다인 방식의 모니터링 시스템 중 그림 1에 표시되어 있는 LNA와 첫 단의 믹서를 설계하였다.

2. 본 론

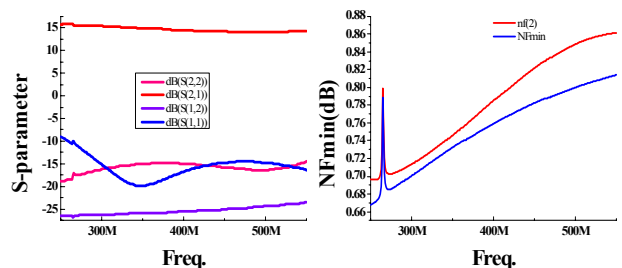
2.1 LNA 설계

부분방전 모니터링 시스템의 가장 첫 단계에 위치하는 LNA는 RF 수신 시스템의 첫 단계에 위치하여 시스템 전체의 잡음을 감소시키는 역할을 한다. 식 2와 같이 시스템 잡음은 첫 단의 잡음과 이득에 가장 민감하게 반응하기 때문에 이를 위해 RF 시스템에 LNA를 설치한다.

$$F_{total} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} \dots \quad (2)$$

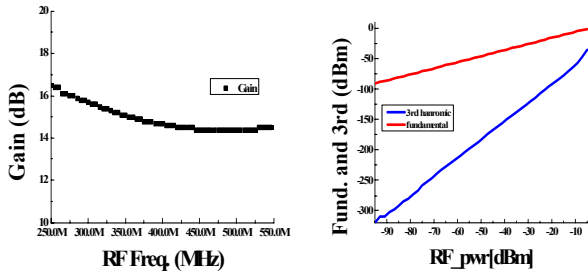
2.1.1 LNA 결과

설계된 LNA의 시뮬레이션 결과는 그림 3~4와 같다.



〈그림 3〉설계된 LNA의 S-par. 및 잡음지수

시뮬레이션 결과 전체적으로 15dB±1dB정도의 평평한 이득곡선을 나타내었으며 S-parameter의 경우 300MHz~500MHz대역에서 S11 및 S22가 -10dB이하의 값을 유지하여 매칭이 되었음을 확인하였다. 잡음지수는 500MHz에서 최대값 0.86dB로 설계목표인 1dB 이하를 만족하였으며 선형성을 나타내는 IIP3값 역시 0dB정도의 값으로 초기 목표에 만족한다.



<그림 4> 설계된 LNA의 이득 및 IIP3

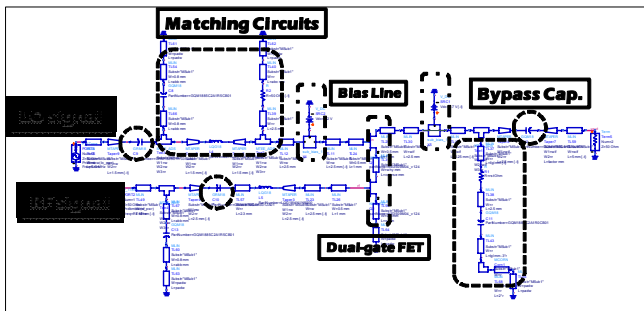
2.2 믹서 설계

설계할 목표는 그림 1의 블록도에서 첫 번째 믹서이다. 300MHz~500MHz의 광대역 입력 신호에 대하여 그에 매칭되는 LO신호를 인가해줌으로써, 검출하고자 하는 신호대역을 선택하게 된다. 믹서의 설계목표는 표 2와 같다.

<표 2> 믹서의 목표 설계 스펙

	목표스펙
대역	300MHz~500MHz
이득	10dB
LO 밴드	2370MHz~2570MHz
IF 밴드	2070MHz
IIP3	-10dB

설계된 믹서는 RF신호와 LO신호 간 격리도가 단일 FET를 사용할 경우보다 우수한 특성을 가지는 이중게이트의 믹서구조를 택하였으며 설계된 회로도에는 그림 5와 같다.



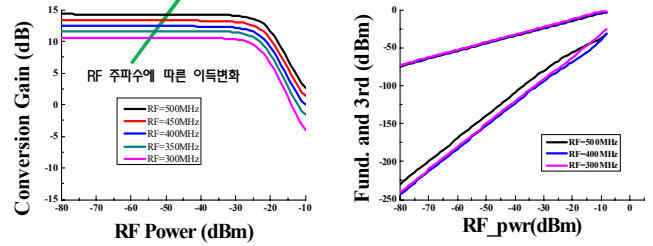
<그림 5> 설계된 믹서와 각 단의 설명

설계한 이중게이트 구조의 믹서의 동작 원리는 다음 설명과 같다. 위쪽에 위치한 LO신호가 인가되는 트랜지스터는 항상 세류레이션 영역에서 동작하게 되며, 이때 소스단의 전압은 LO신호에 맞게 변화한다. 따라서 같은 노드인 RF 신호가 인가되는 아래쪽 트랜지스터는 세류레이션 영역과 트라이오드 영역을 LO 사이클에 맞추어 반복하게 되며 이때 믹서로써 동작하게 된다. 입력신호가 각각의 게이트로 들어간다는 구조를 빼면 증폭기의 캐스코드 구조와 유사하다. 이를 믹서로 동작하게 하기 위해서는 동작점의 적절한 선택이 필요하게 되는데 두 트랜지스터가 각각의 동작영역을 만족시키면서 반드시 서로 같은 전류가 흐르도록 잡아야 한다.

설계된 믹서는 RF와 LO입력 및 IF 출력이 나오는 곳을 각각 매칭하였으며, 출력단과 LO신호단에 각각 LO신호와 출력신호의 바이패스 회로를 구성하여 서로간에 넘어가는 신호의 영향을 최소화 하였다. 또한 LO신호단에서 RF신호단으로 넘어가는 신호를 줄이기 위하여 RF 단은 LO-RF 격리도를 향상할 수 있도록 구성하였다.

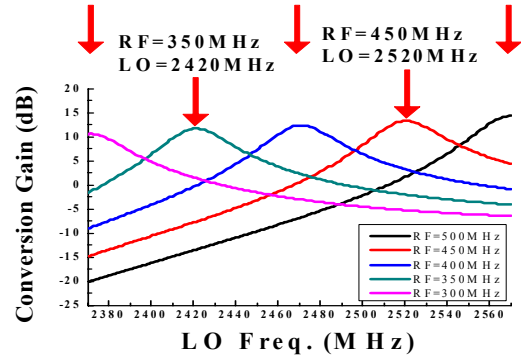
2.2.1 믹서 결과

설계한 믹서의 시뮬레이션 결과는 그림6~7과 같다. 시뮬레이션 결과 300MHz~500MHz대역에서 10dB이상을 만족하나 4dB정도의 이득 차이를 보인다. IIP3는 0dBm으로 설계 목표에 만족하며 그림 7을 통하여 LO신호에 따라서 RF신호에 대한 선택이 가능하다는 것을 알 수 있다.



<그림 6> 설계된 믹서의 변환이득 및 IIP3 결과

RF = 300 MHz LO = 2370 MHz RF = 400 MHz LO = 2470 MHz RF = 500 MHz LO = 2570 MHz



<그림 7> 설계된 믹서의 LO 주파수에 따른 변환이득

2.3 최종 회로 결과

그림 1에 설계된 LNA와 믹서를 같이 시뮬레이션 한 결과이다.

<표 3> 전체 회로 시뮬레이션 결과

RF Freq.	RF power	LO Freq.	VGA	Output power
300MHz	-30dBm	2370MHz	14dB	5.752dBm
300MHz	-80dBm	2370MHz	56dB	3.367dBm
500MHz	-30dBm	2570MHz	15dB	5.298dBm
500MHz	-80dBm	2570MHz	54dB	3.396dBm

시뮬레이션 결과 VGA의 이득 조절에 따라 출력이 3dBm~5dBm으로 일정하게 나오는 것을 확인 할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 부분방전 모니터링 시스템 버짓 후 각각 부품의 스펙을 정하고 버짓한 시스템에 적용 가능한 LNA와 믹서를 설계하였다. LNA는 15dB의 일정한 이득에 IIP3는 0dBm으로 설계목표에 부합하였다. 이중게이트 구조를 이용한 믹서는 10dB이상의 이득을 만족하였으나 주파수에 따라 4dB정도의 차이가 있어 향후 연구를 통해 개선해야 할 것으로 보이며 선형성을 나타내는 IIP3는 0dBm으로 설계 목표에 만족한다.

이후 설계된 LNA와 믹서를 포함하여 필터등을 이상적인 소자로 시뮬레이션한 결과 VGA의 이득을 조정함으로써 각 주파수에 대하여 출력 레벨이 3dBm~5dBm으로 일정하게 나타내었다. 향후 필터와 두 번째 믹서 및 VGA를 설계하여 하나의 모듈로 동작할 수 있는 연구가 필요하며 또한 제작을 통하여 결과를 시뮬레이션과 비교해야 할 것으로 보인다.

[감사의 글]

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원(2010T100100605) 주관으로 수행된 과제임

[참고문헌]

- [1] 최태식, 정재룡, 김민수, 김정배, 송원표, 이학성, "GIS 부분방전 측정 휴대용 On-line iPDM시스템 개발", 대한전기학회 고전압 및 방전 응용 기술 연구회, 춘계 학술대회, 2006년 2월.
- [2] 김정배, 정재룡, 김민수, 송원표, 김맹현, 고희석, 최인혁, "초고압 GIS용 부분방전 UHF 센서의 현장 성능시험 연구", 대한전기학회 송배전 설비 연구회 춘계학술대회, 2004년 4월.