

---

# 직류 오프셋 제거 기능을 가진 저 전력 PGA 설계

김철환\* · 성명우\* · 최성규\* · 최근호\* · 김신곤\* · 한기정\* · Habib Rastegar\* · 류지열\* ·  
노석호\*\*

\*부경대학교 · \*\*안동대학교

## Design of Low-Power Programmable Gain Amplifier with DC-offset Cancellation

Cheol-Hwan Kim\* · Myeong-U Seong\* · Seong-Kyu Choi\* · Geun-Ho Choi\* · Shin-Gon Kim\* ·  
Ki-Jung Han\* · Habib Rastegar\* · Jee-Youl Ryu\* · Seok-Ho Noh\*\*

\*Pukyong National University · \*\*Andong National University

E-mail : compuny@gmail.colm

### 요 약

본 논문에서는 직류 오프셋 (DC-offset) 제거 기능을 가진 저 전력 자동 이득 조절 증폭기 (PGA, Programmable Gain Amplifier)를 제안한다. 이러한 회로는 직류 오프셋 문제점을 해결하기 위해 기존의 gm-boosting 증폭기를 변형한 디지털 이득 제어 방식으로 설계되어 있기 때문에 우수한 선형성을 가진다. 또한 특수 목적에 맞도록 그 이득을 6dB에서 60dB까지 7단계로 조절 가능하며, 밀러효과를 이용한 AC-coupling 방식으로 큰 값의 유동적인 커패시터와 저항을 구현하여 직류 오프셋을 제거한다. 제안한 PGA는 기존 회로에 비해 0.2dB 보다 작은 이득오차와 0.47mW의 낮은 소비전력 특성을 보였다.

### 키워드

직류 오프셋, 디지털 이득 제어, PGA, 선형성, 저 전력

### I. 서 론

아날로그 정보들을 디지털 정보로 변환과정에서 중요한 기술 중 하나가 미약한 신호를 증폭시키는 기술이며 이때 증폭된 신호를 왜곡없이 전송을 하여야만 원하는 정보를 얻을 수 있다. 신호를 증폭시키기 위하여 자동 이득 조절 증폭기(Programmable Gain Amplifier, PGA)를 사용한다. 이 때 증폭된 신호를 왜곡없이 전송하기 위하여 직류 오프셋(DC-offset)을 제거하고 칩 면적을 줄여 소비전력을 줄이고자 연구가 활발히 진행 중이다[1-2].

본 논문에서 제안하는 PGA는 스위치 어레이를 사용한 디지털 이득 제어방식을 사용하였고 직류 오프셋을 제거하기 위하여 칩 면적을 줄이면서 직류 오프셋을 제거할 수 있는 밀러효과(Miller effect)를 활용한 AC-coupling 방식을 사용하였다.

본 논문의 PGA는 차동 증폭기와 CMOS 스위치로 구성되며 직류오프셋을 제거하기 위하여 밀러 효과를 활용한 AC-coupling 방식을 사용하였다. 본론에서는 PGA의 핵심인 이득을 조절하는 CMOS 스위치에 대해 소개하고 직류 오프셋 회로를 소개 후 결론을 맺었다.

## II. 본 론

### 가. 제안된 PGA 이득 조절 CMOS 스위치

제안된 직류 오프셋 제거 PGA에서 신호의 증폭 역할을 하는 차동 증폭기의 동작은 축퇴 저항(degeneration resistor)을 사용하는 차동 증폭기를 분석하여 변형된 gm-boosting 증폭기를 활용한 제안된 직류 오프셋 제거 PGA를 설계한다. 그림 1은 일반적인 PGA의 축퇴저항을 활용한 차동 증폭기 구성을 나타낸 것이다. 그림 1에서 축퇴저항은  $R_S$ 를 의미하며, 기본적인 축퇴저항 차동증폭기 구조의 차동 전압 이득(G)은 식 (1)과 같다.

$$G = \frac{V_{out1} - V_{out2}}{V_{in1} - V_{in2}} = \frac{R_D}{R_S + \frac{1}{g_m}} \quad (1)$$

변형된 축퇴저항의 gm-boosting 증폭기는 높은 이득과 회로의 안전성을 가지며, 이득 조절단은 제안된 PGA의 이득이 결정되며 이득 제어를 위해 스위치와 저항으로 구성된다. 여기서 설계된 이득 조절단은 DSP 회로로부터 총 8개의 제어 신호를 받아 이득을 조절한다.

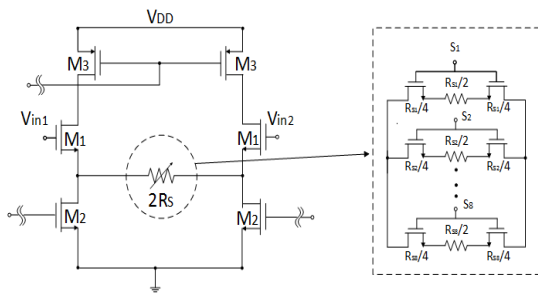


그림 1. 축퇴저항 차동증폭기의 제안된 이득조절단

본 논문에서는 제안하는 PGA의 이득 조절단을 통해 총 8단계의 이득을 얻기 위해서 총 8단계의 서로 다른 저항 값이 되도록 설계하였으며, PGA 출력단에 신호감쇠가 발생하지 않도록 저손실 MOS 스위치를 설계하였다. 이를 통하여 전류가 0일 때도 스위치가 켜지고, 게이트 전압에 따라 소스 또는 드레인 전압이 같이 변할 필요가 없는 장점을 가진다[3].

### 나. 직류 오프셋 제거 회로

그림 2는 직류 오프셋 문제를 해결하기 위하여 밀러효과를 이용한 AC-coupling 방식을 다이어그램으로 나타낸 것이다. 밀러효과를 이용하여 다양한 크기의 커패시터 값과 저항을 구현하였으며 기존의 방식인 연속피드백 방식과 밀러효과를 이용한 AC-coupling 방식의 차이점을 살펴보면, 연속 피드백 방식은 먼저 고역통과 특성을 나타내기 위해 사용되어지며 큰 값의 커패시터를 만들 수 있다는 점과 낮은 차단 주파수를 갖는 고역통과 필터를 구현할 수 있다는 장점이 있는 반면, 칩 면적을 최소화하기 위하여 큰 저항과 커패시터는 반드시 설계된 칩 밖에서 구현해야 된다는 단점이 있다. 뿐만 아니라, 수동 소자를 사용하면 추가적인 편이 필요로 하기 때문에 모듈의 면적이 증가하는 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 연속 시간 피드백 기술을 기반으로 밀러 효과를 이용한 AC-coupling 방식을 제안한다. 제안된 처리방식은 낮은 주파수를 갖는 고역통과 필터의 구현을 위해 다양한 크기의 커패시터와 저항으로 실현할 수 있다[4].

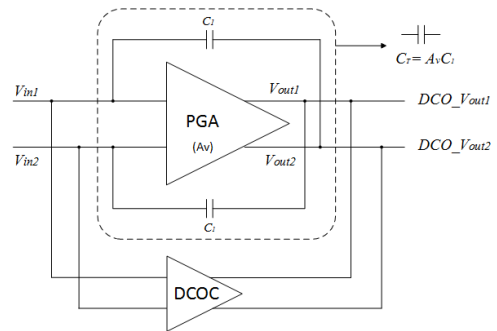


그림 2. 제안된 직류 오프셋 제거 PGA 블록다이어그램

밀러 효과를 이용한 AC-coupling 방식은 커패시터의 값을 증가시켜주는 효과가 있으며 등가 커패시터의 값은 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$C = (1 + A_v)C_1 \approx A_v C_1 \quad (2)$$

다. 제안된 직류 오프셋 제거 PGA 시뮬레이션

그림 3은 PGA의 최종 출력 값에 약 0.7볼트의 직류신호가 함께 증폭되어 나온 결과이다. 출력 값은 52dB, 약 400배의 증폭된 값을 보여 준다.

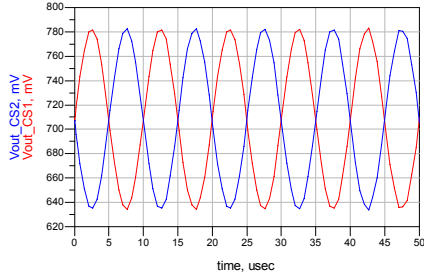


그림 3. 제안된 PGA의 52dB 증폭 그래프

그림 4는 직류 오프셋이 제거된 PGA의 증폭 값을 출력 그래프로 나타낸 것이다.

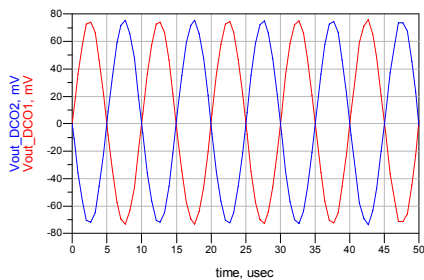


그림 4. 직류 오프셋을 제거한 PGA의 52dB 증폭 그래프

III. 결 론

본 논문은 0.18  $\mu\text{m}$  CMOS 1poly-6metal 공정을 이용하여 PGA를 설계하였다. 외부에서 인가되는 노이즈를 줄이기 위해 완전 대칭 차동증폭기를 이용하고, 직류 오프셋을 제거하기 위하여 밀러효과를 이용한 AC-coupling 방식을 사용하여 칩의 크기 및 선형성을 고려하였고 CMOS 스위치-온 저항 효과와 저항을 이용해 이득 조절단을 설계하였다. 4dB ~ 60dB 총 8가지 이득 조절이 가능하고 최대 0.18dB의 우수한 이득오차 특성을 보였으며 전체 칩 크기는  $0.016 \mu\text{m}^2$ 으로 작은 면적을 차지하였다.

Acknowledgement

본 논문은 반도체설계교육센터(IDECE)의 지원을 받았다.

참고문헌

[1] 박승훈 외, “강판 결함 검출 시스템을 위한 저 전력 이득 조절 증폭기 설계” 한국정보기술학회 논문지, 제12권, 제4호, pp. 9-15, 2014.4.  
 [2] H. -H. Nguyen, “A Binary-Weighted Switching and Reconfiguration-Based Programmable Gain Amplifier”, IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, p. 699-703, 2009.  
 [3] S. Y. Kang, “A 2.16 mW Low Power Digitally-Controlled Variable Gain Amplifier,” Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 20 no. 3 pp. 172-174, 2010.  
 [4] Xiaojie Chu, “A CMOS Programmable Gain Amplifier with a Novel DC-offset Cancellation Technique”, Custom Integrated Circuits Conference (CICC), 2010 IEEE, pp. 1-4, 2010