

고속 적외선 통신(IrDA)용 Transimpedance Amplifier 설계

조상익, 황철중*, 황선영*, 임신일
서경대학교 컴퓨터공학과
*서강대학교 전자공학과

A Design of Transimpedance Amplifier for High Data Rate IrDA Application

Sang-Ik Cho, Chul-Jong Hwang*, Sun-Young Hwang*, Shin-Il Lim
Dept. of Computer Engineering, Seokyeong Univ.
Dept. of Electronics Engineering, Sogang Univ.*
E-mail : sicho00@dreamwiz.com

Abstract

본 논문에서는 고속 적외선 무선 데이터통신(IrDA)에 사용되는 트랜스임피던스 증폭기(Transimpedance Amplifier)를 설계하였다. 트랜스임피던스 증폭기는 잡음을 최소화하기 위해 PMOS 차동 구조로 설계하였으며 입력과 출력의 피드백을 통해 주위의 빛에 의해 발생하는 photocurrent 에 의한 DC 옵셋을 제거하였다. 또한 공통 게이트(CG)와 Regulated Cascode Circuit (RGC)을 추가하여 대역폭(Bandwidth)을 향상시켰다. 설계한 회로는 0.25 μm CMOS 공정을 이용하였으며 트랜스임피던스 이득은 200 MHz의 대역폭에서 10 K Ω (80 dB Ω)이다. 전체 전력 소비는 18 mW이다.

후 약 200 Mbps 이상의 초고속 데이터 통신도 취급할 수 있도록 확대될 전망이다. 본 논문에서는 100 ~ 200 Mbps 정도의 고속 적외선 무선 데이터 통신(IrDA)에 사용할 수 있는 트랜스임피던스 증폭기(TIA) 설계에 관한 것이다.

본문에서는 기존의 트랜스임피던스 증폭기의 장단점을 간단하게 소개하고 공통 게이트(CG)에 Regulated Cascode Circuit(RGC)[1]을 추가하여 대역폭을 향상시킨 구조에 대해서 알아보겠다.

I. 서론

최근 광 통신(Optical Communication)과 휴대폰, 디지털 카메라, PDA, 컴퓨터 주변기기 등의 무선 데이터 통신(Wireless Data Communication)의 활용도가 높아지면서 광 송수신기의 수요가 증가하고 있다. 무선 데이터 통신에서 1M 내외의 근거리 무선 통신은 적외선을 이용하기 때문에 전파를 이용한 통신 방식처럼 상호 간섭이나 다른 기기를 오작동 시키는 예기치 않은 현상이 거의 발생하지 않는 장점이 있다. 현재 IrDA 1.1 표준에서는 최고 16 Mbps의 데이터를 사용하고 있으나 추

II. 기존 트랜스임피던스 증폭기

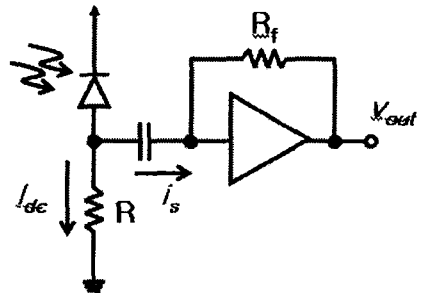


그림 1. 기존 트랜스임피던스 증폭기

그림 1에서 보는 것과 같이 단순한 구조를 가지

는 기존의 트랜스임피던스 증폭기는 캐패시터와 저항의 사용으로 면적이 커지게 되며 이 값에 의해 넓은 대역폭을 가지기 위한 설계에 맞지 않는다. 또한 photocurrent 에 의해 발생하는 DC 전류(I_{dc})로 인해 트랜스임피던스 증폭기의 동작점이 변한다. 그림 2 는 그림 1 의 단점을 보완하기 위한 회로이다.

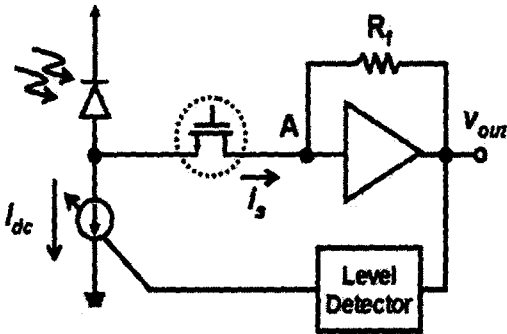


그림 2. 공통 게이트를 추가한 트랜스임피던스 증폭기

위 그림에서 보면 우선 넓은 대역폭을 가지기 위해 공통 게이트를 추가했다. 이 공통 게이트를 추가하면 입력 임피던스($1/gm$)나 입력 캐패시터(C_{gs})에 의해 트랜스임피던스 증폭기의 대역폭을 어느 정도 향상시킬 수 있다. 입력 캐패시터(C_{gs})는 작은 값을 가지기 때문에 입력 임피던스에 의해 대역폭이 결정된다. 따라서 본 논문에서 제시한 200 MHz 의 대역폭을 얻기에는 입력 임피던스가 더 작아야 하므로 공통 게이트 구조에 다음 절에서 소개하는 Regulated Cascode Circuit 을 추가하여 입력 임피던스를 줄일 수 있다.

다음으로 출력 전압의 피드백에 의해 입력 DC 전류를 조절하기 위한 회로(Level Detector)의 추가로 오프셋을 제거할 수 있다. 입력 DC 전류가 많이 흐르면 출력 전압이 높아지므로 Level Detector 에 의해 DC 전류가 접지(ground)에 흐르게 하고 DC 전류가 흐르지 않을 때는 Level Detector 는 동작하지 않는다.

III. 설계한 트랜스임피던스 증폭기

본 절에서는 앞 절에서 설명한 기존 트랜스임피던스 증폭기의 단점을 보완한 넓은 대역폭을 가지는 트랜스임피던스 증폭기에 대해서 알아보겠다. 그림 3 은 설계한 트랜스임피던스 증폭기의 전체 회로이다.

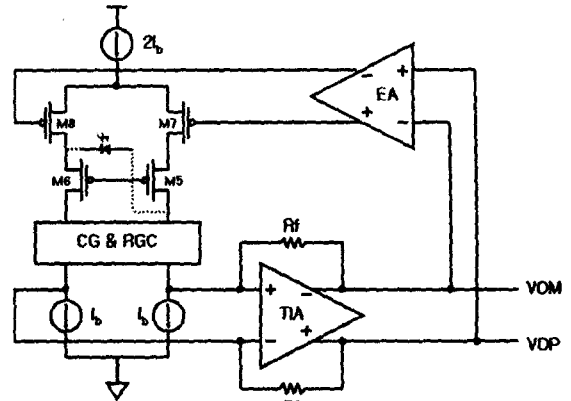


그림 3. 설계한 트랜스임피던스 증폭기의 전체 회로

위 그림에서 보는 것과 같이 설계한 회로는 대역폭을 향상시키기 위한 공통 게이트 (CG) 와 Regulated Cascode Circuit (RGC)이 포함된 입력단, 트랜스임피던스 증폭기(TIA), Offset 을 제거하기 위해 사용된 Error Amplifier(EA)로 구성되어있다.

1. 입력단 설계

넓은 대역폭을 얻기 위해 설계한 입력단은 공통 게이트(CG) 와 Regulated Cascode Circuit (RGC)로 구성되어 있다. 그림 4 를 보면 트랜지스터 M5,6 은 Photodiode 의 바이어스를 위해 사용 되었으며 여기서 V_{ds} 전압이 1V 가 되게 하였다. DC 바이어스 전류(I_b)는 ambient light 에 의해 발생하는 photocurrent 보다 훨씬 큰 전류가 흘러야 한다. M1,2 가 공통 게이트로 사용되었고 이 M1,2 와 RGC 를 통해 입력 임피던스를 줄일 수 있다. 입력 임피던스는

$$R_{in} \approx \frac{1}{gm1(1 + gm3 \cdot RD)} \quad (1)$$

이다. 위 식(1)에서 보면 앞 절에서 설명했던 Common Gate 만 사용한 구조보다 입력 임피던스를 더 줄일 수 있어 대역폭을 향상시킬 수 있다. 트랜스임피던스 증폭기의 대역폭을 결정하는 극 주파수는

$$\omega_{3dB} = \frac{1}{2R_{in}C_{PD}} \quad (2)$$

이다. 식(2)에서 200 MHz 의 대역폭을 얻기 위해서는 photodiode capacitor(C_{PD}) 가 5 pF 라 했을 때 입력 임피

던스는 62.5 Ω 이 되어야 한다. 그러기 위해서는 식(1)에서 충분한 트랜스컨덕턴스와 작은 저항값을 가져야 한다.

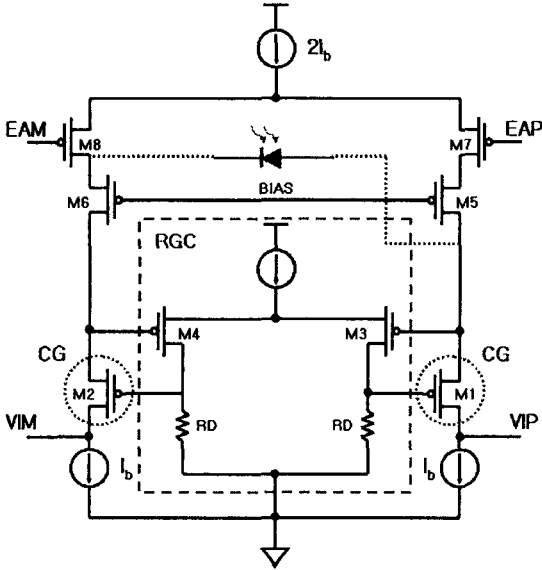


그림 4. 설계한 입력단

2. 차동 트랜스임피던스 증폭기(TIA)

그림 5 는 사용된 차동 구조를 갖는 트랜스임피던스 증폭기의 회로이다[2]. 입력 차동 쌍을 PMOS 트랜지스터로 구현하여 substrate 로부터 n-well 로 분리시켜 thermal noise 는 약간 희생해서 substrate 로부터 들어오는 noise 를 줄일 수 있다. 이 증폭기의 단위 이득 주파수 (ω_t) 는

$$\omega_t \approx \frac{A_{OL}}{R_f C_{gd}} \approx \frac{gmR1}{R_f C_{gd}} \quad (3)$$

이다. 여기서 gm 은 입력 트랜지스터의 트랜스컨덕턴스 이고 C_{gd} 는 증폭기 입력에 연결되는 공통 게이트 트랜지스터의 게이트-드레인 캐패시터 성분이다. 증폭기의 이득은

$$A_{CL} = \frac{2A_{OL}}{1 + A_{OL}} R_f = 2R_f \quad (4)$$

이다. 여기서 A_{OL} 은 Open-Loop 이득이다. Shunt feedback capacitor(C1)는 peaking 에 영향을 주며, 값이 작을수록 peaking 이 줄어든다.

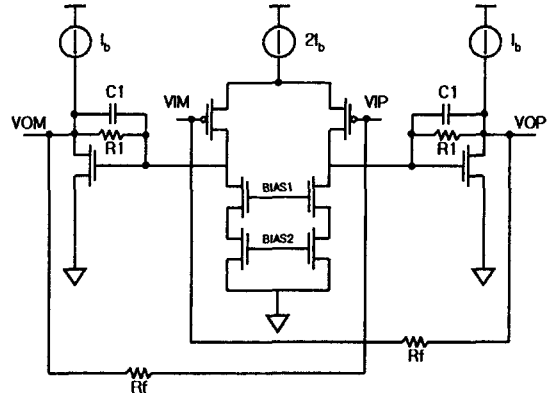


그림 5. 차동 트랜스임피던스 증폭기

3. 저주파 잡음 제거

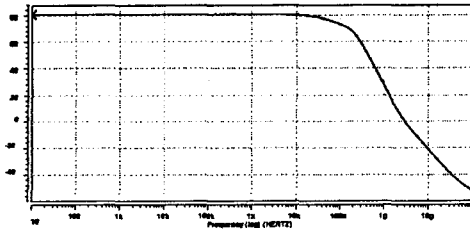
형광등과 같은 외부 빛(Ambient Light)에 의해 생성되는 photocurrent 는 저주파 대역에서 주로 나타난다. Error Amplifier(EA)를 사용하여 트랜스임피던스 증폭기의 입력과 출력을 피드백시켰더니 전달함수상에서 저주파영역의 신호가 감쇄되는 것을 확인하였다. 여기서 사용된 Error Amplifier 는 일반적인 2-Stage Opamp 를 사용하였다. EA 의 전압 이득은 85 dB 이고 단위 이득 주파수는 100 KHz 이다. 이 피드백 구조에 의해 저주파에서 Pole 주파수를 가지는 High-pass 응답을 가지게 된다. Low Pole frequency 는

$$\omega_{LowPole} = A_{TIA} \cdot A_{EA} \cdot \omega_{EA(3dB)} \cdot gm_{7,8} \quad (5)$$

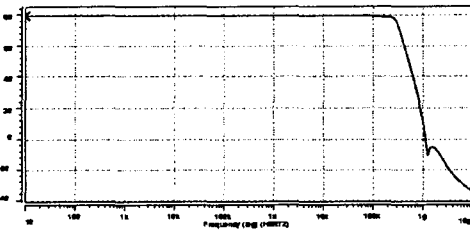
이다. 여기서 $gm_{7,8}$ 은 EA 의 출력과 연결된 트랜지스터의 트랜스컨덕턴스이다. 위 식(5)에 의해 낮은 주파수대역에서의 잡음은 감쇄되어 진다.

IV. 모의 실험 결과

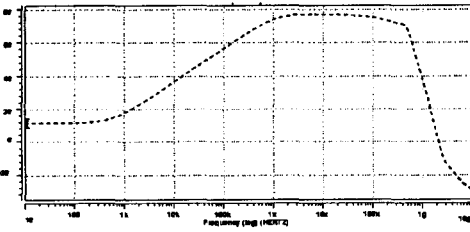
그림 6 은 (a)CG 만 사용한 것과 (b)CG 에 RGC 를 추가한 것에 옵셋 및 잡음 제거기능이 없는 것, (c)CG 에 RGC 를 추가한 것에 옵셋 및 잡음 제거기능이 있는 트랜스임피던스 증폭기의 주파수 응답 모의 실험 결과를 보인 것이다. (a)는 100 MHz 이하의 대역폭을 가지는 반면 (b)는 200 ~ 250 MHz 의 대역폭에서 10 KΩ (80 dBΩ)의 이득을 가진다. (c)는 (b)와 같은 대역폭을 가질 뿐만 아니라 저주파대역에서의 잡음을 제거할 수 있다. 최소 입력 잡음 밀도는 6.2 pA/√ Hz 이다.



(a) CG Only

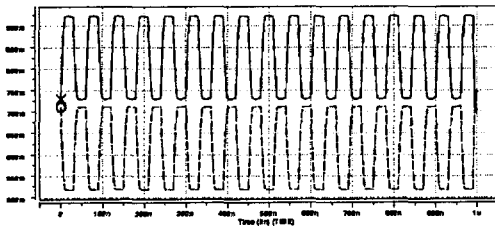


(b) CG+RGC

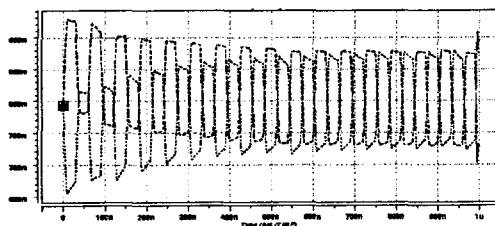


(b) CG+RGC+잡음제거

그림 6. 주파수 응답 모의 실험 결과



(a) DC 옵셋 제거가 안된 경우



(b) DC 옵셋 제거된 경우

그림 7. 펄스 응답 모의 실험 결과

그림 7 은 입력 10uA 의 펄스 신호에 대해 DC 옵셋 제거 기능을 갖지 않는 구조와 갖는 구조를 가지고 모의 실험한 결과를 보인 것이다.

성능 결과를 표 1 에 나타내었다.

표 1. 성능 결과

Technology	0.25 um CMOS
Supply Voltage	2.5 V
Power Dissipation	18 mW
Transimpedance Gain	80 dBΩ
Bandwidth	200 MHz
Input Referred Noise Current	6.2 pA/√ Hz
Photodiode Capacitor	5 pF

V. 결론

본 논문에서는 고속 적외선 통신(IrDA)에서 사용 가능한 차동 구조 트랜스임피던스 증폭기의 설계에 대해 알아보았다. 훗날 추세에 맞춰 넓은 대역폭에서 동작하기 위해 공통 게이트와 Regulated Cascode Circuit 을 추가한 방법을 사용하였다. 차동 구조로 설계하였으며 DC 옵셋을 제거하기 위한 회로를 포함시켰다.

설계한 회로는 단일 전원 전압 2.5 V 로 0.25 um CMOS 공정을 사용하였다. 증폭기 이득은 200 ~ 250 MHz 의 대역폭에서 10 KΩ (80 dBΩ)이며 전체 전력 소비는 18 mW 이다.

참고문헌

- [1] Sung Min Park and C. Toumazou, "A packaged low-noise high regulated cascode transimpedance amplifier using a 0.6 um N-well CMOS technology", ESSCIRC 2000.
- [2] B. Zand, K. Phang, and D.A. Johns, "Transimpedance Amplifier with Differential Photodiode Current Sensing," IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Orlando, FA, Vol. 2, pp. 624-627, May 1999.