

설계과제 1

전자공학도의 윤리 강령 (IEEE Code of Ethics)

(출처: <http://www.ieee.org>)

나는 전자공학도로서, 전자공학이 전 세계 인류의 삶에 끼치는 심대한 영향을 인식하여 우리의 직업, 동료와 사회에 대한 나의 의무를 짐에 있어 최고의 윤리적, 전문적 행위를 수행할 것을 다짐하면서, 다음에 동의한다.

- 1. 공중의 안전, 건강 복리에 대한 책임:** 공중의 안전, 건강, 복리에 부합하는 결정을 할 책임을 질 것이며, 공중 또는 환경을 위협할 수 있는 요인을 신속히 공개한다.
- 2. 지위 남용 배제:** 실존하거나 예기되는 이해 상충을 가능한 한 피하며, 실제로 이해가 상충할 때에는 이를 이해 관련 당사자에게 알린다. (이해 상충: conflicts of interest, 공적인 지위를 사적 이익에 남용할 가능성)
- 3. 정직성:** 청구 또는 견적을 함에 있어 입수 가능한 자료에 근거하여 정직하고 현실적으로 한다.
- 4. 뇌물 수수 금지:** 어떠한 형태의 뇌물도 거절한다.
- 5. 기술의 영향력 이해:** 기술과 기술의 적절한 응용 및 잠재적 영향에 대한 이해를 높인다.
- 6. 자기계발 및 책임성:** 기술적 능력을 유지, 증진하며, 훈련 또는 경험을 통하여 자격이 있는 경우이거나 관련 한계를 전부 밝힌 뒤에만 타인을 위한 기술 업무를 수행한다.
- 7. 엔지니어로서의 자세:** 기술상의 업무에 대한 솔직한 비평을 구하고, 수용하고, 제공하며, 오류를 인정하고 수정하며, 타인의 기여를 적절히 인정한다.
- 8. 차별 안하기:** 인종, 종교, 성별, 장애, 연령, 출신국 등의 요인에 관계없이 모든 사람을 공평하게 대한다.
- 9. 도덕성:** 허위 또는 악의적인 행위로 타인, 타인의 재산, 명예, 또는 취업에 해를 끼치지 않는다.
- 10. 동료애:** 동료와 협력자가 전문분야에서 발전하도록 도우며, 이 윤리 현장을 준수하도록 지원한다.

위 IEEE 윤리현장 정신에 입각하여 report를 작성하였음을 서약합니다.

학 부: 전자공학부

제출일: 2023.05.11(월)

교수명: 권 익진 교수님

학 번: 202021025

성 명: 안준영

1) Design Problem

(a)

(1) $V_{DD} \times I_{DSS} \leq 2mW$ 설계 조건에서, $I_{DSS} \leq 1.11mA$ 이므로 $I_{DSS}=1mA$ 로 설계하였다.

(2) (단순 연산과정은 생략하였다.)

위 차동 증폭기의 Gain은 Half circuit의 Gain과 같으므로, Half Circuit(위 회로도 좌측 부분을 Half circuit으로 사용)에서 $|A_V| = 10 = G_m R_{out}$ 이다.

$G_m = g_{m1}$ 이고, $R_{out} = (\frac{1}{g_{m3}} \parallel r_{o1} \parallel r_{o3} \parallel r_{o5})$ 이므로, $10 = \sqrt{2K_1 0.5mA} \times (\sqrt{2K_3 I_{D3}} + 0.1I_{D3} + 0.2I_{D5} + 0.5mA)$ 이다.

$g_m r_o \gg 1$ 로 가정하여도 되지만 그냥 r_o 를 고려해보기로 하였다.

W_1 은 $I_{D1} = \frac{1}{2} u_n C_{OX} \frac{W_1}{L} (V_{GS1} - V_{Th.N})^2$, $I_{D1} = 0.5mA$, $V_{GS1} = V_{in}$ 에서 $V_{in} = 0.6V$ 로 설정하면 $W_1 = 45\mu m$ 이다.

(3) 아래 표에 각 조건과 그에 해당하는 수식을 적어놓았다. M3의 경우, $V_{DD} - V_{S3} > V_{DD} - V_{S3} - V_{Th.N} \geq 0$ 가 성립되면 Saturation region에서 동작한다.

$10 = \sqrt{2K_1 0.5mA} \times (\sqrt{2K_3 I_{D3}} + 0.1I_{D3} + 0.2I_{D5} + 0.5mA)$	Gain = 10
$I_{D1} = I_{D3} + I_{D5}$	Output쪽 노드에서 KCL
$I_{D3} = \frac{1}{2} u_n C_{OX} \frac{W_3}{L} (V_{DD} - V_{S3} - V_{Th.N})^2$	M3 Drain Current
$I_{D5} = \frac{1}{2} u_p C_{OX} \frac{W_5}{L} (V_{b1} - V_{DD} - V_{Th.P})^2$	M5 Drain Current
$V_{in} - V_{Th.N} < V_{S3}$	M1 Saturation
$V_{S3} - V_{DD} < V_{b1} - V_{DD} - V_{Th.P} < 0$	M5 Saturation

$I_{D3} = 75\mu A$ 로 설계하였을 때 위 표의 설계 조건에 맞추어, $W_3 = 1.6\mu m$ 이다.

그리고 $I_{D5} = I_{D1} - I_{D3} = 0.425mA$ 이고, 설계 제한 요소에 유의하여 $V_{b1} = 1.05V$ 에서 $W_5 = 50\mu m$ 이다.

(4)

Tail Current Source에서, $I_{ss} = \frac{1}{2} u_n C_{OX} \frac{W_{ss}}{L} (V_{b2} - V_{Th.N})^2$ 이다. $V_{b2} = 0.406V$ 일 때, $W_{ss} = 0.1\mu m$ 이다.

정리하면, 설계 내용은 아래 표와 같다.

W1=W2	45um
W3=W4	1.6um
W5=W6	50um
Vin(CM)	0.6V
Vb1	1.05V
Vb2	0.406V

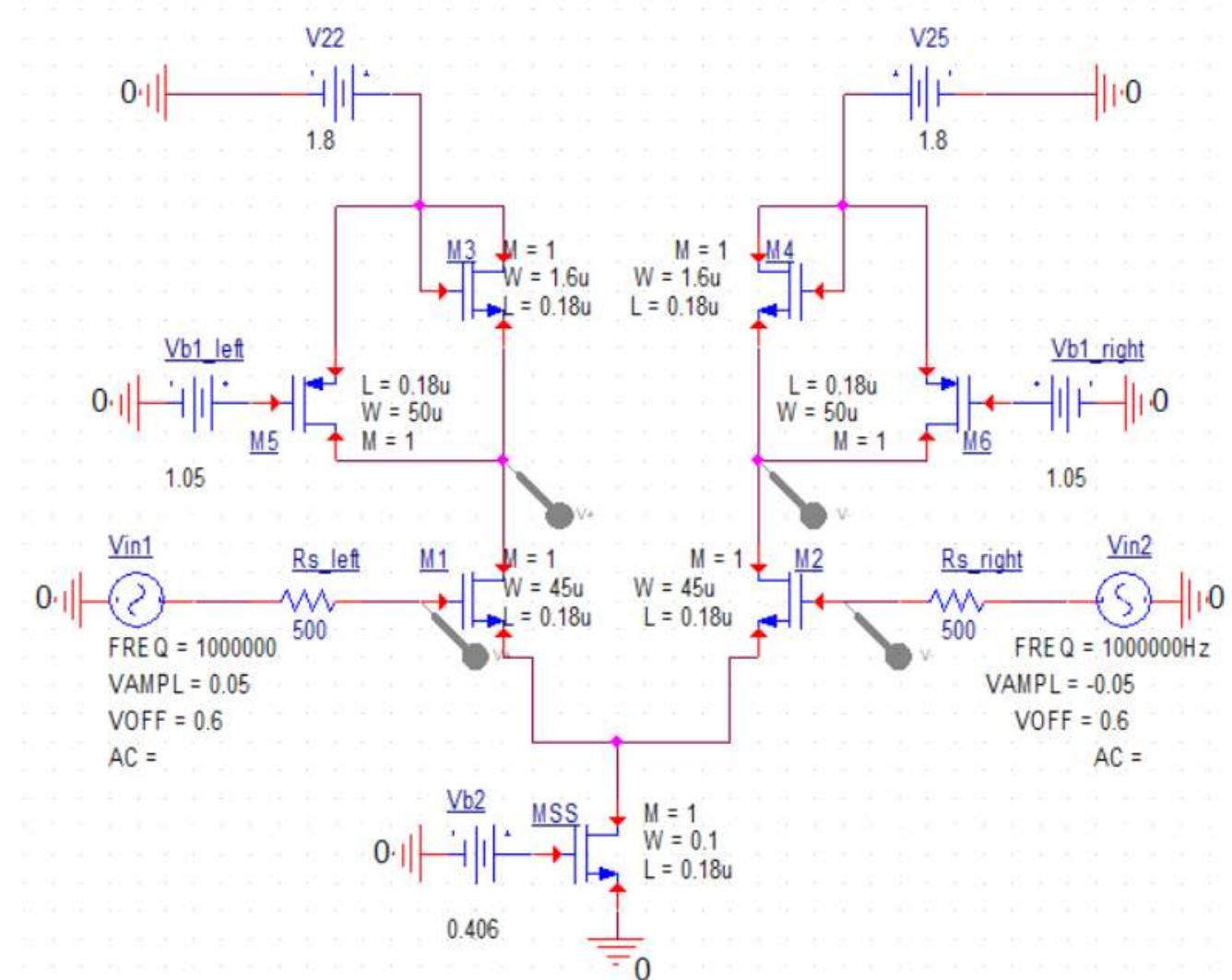
(b)

M1,2 및 MSS는 NMOS이므로 Saturation 영역에서 동작하기 위해서는 $0 \leq V_{GS} (= V_{in CM}) - V_{Thn} \leq V_{DS}$ 의 범위를 만족하여야 한다.

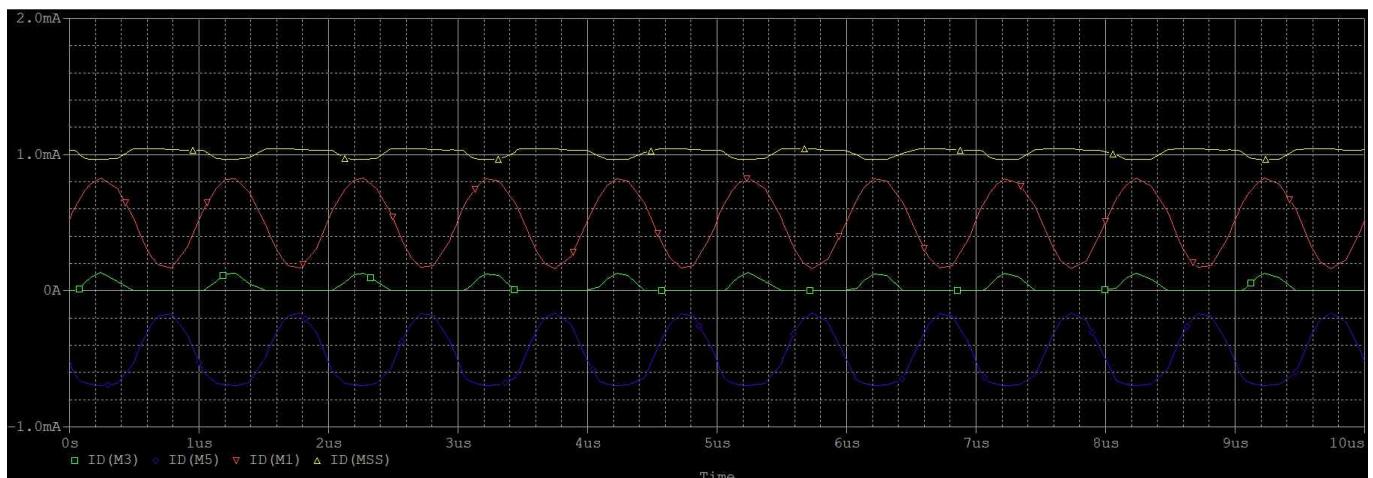
2. Spice Problem

(a)

- Schematic

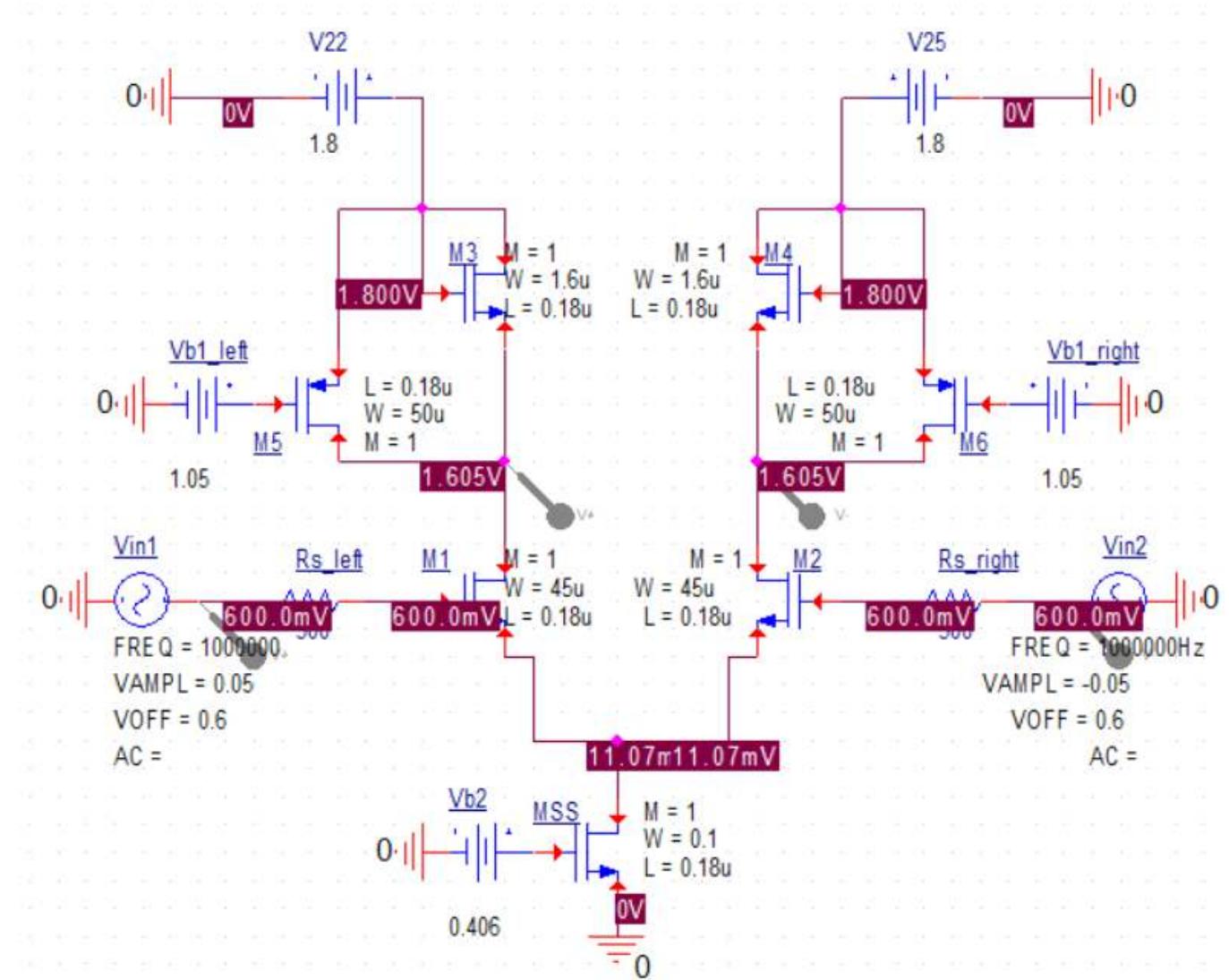


- 전류(노란색:I_{ss}, 초록색:ID3, 빨간색:ID1, 파란색:ID5)



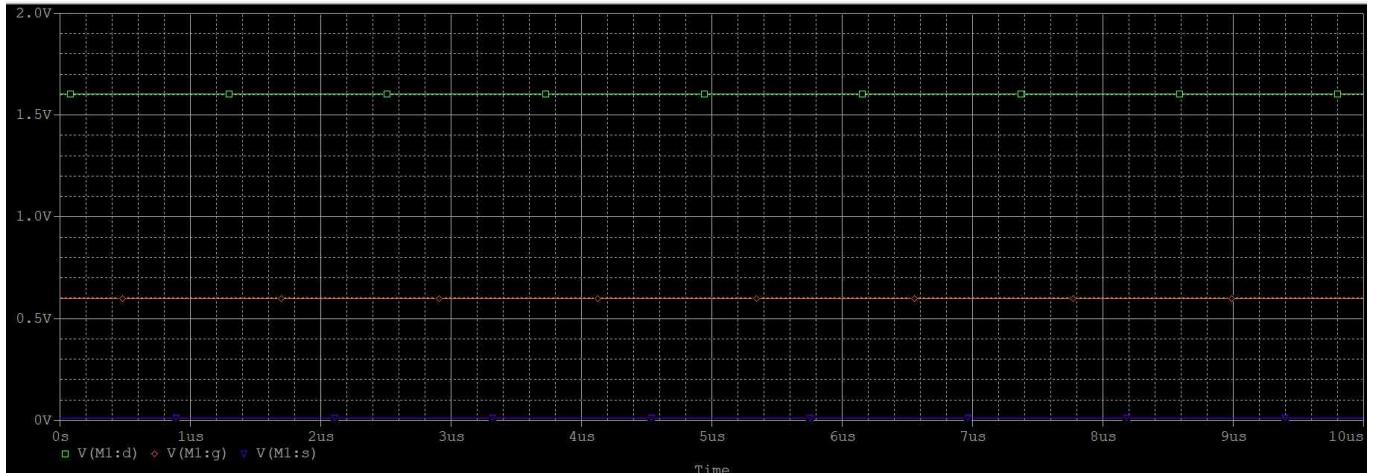
설계 내용과 같이 $I_{ss}=1\text{mA}$ 를 정상적으로 얻을 수 있었으며, peak만을 따졌을 때에는 그 상대적인 높낮이가 설계 내용과 동일하다. M3(M4)를 Saturation 영역에서 동작시킬 수 없었는데, 이에 대한 내용은 뒤에서 다루도록 하겠다.

- 각 노드의 전압

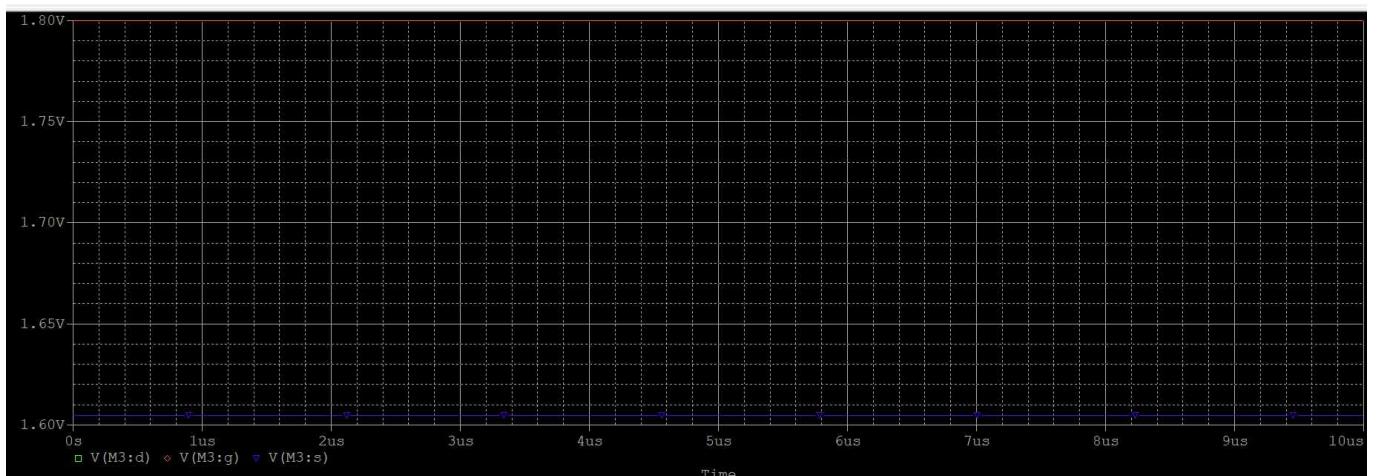


- 각 MOS의 전압

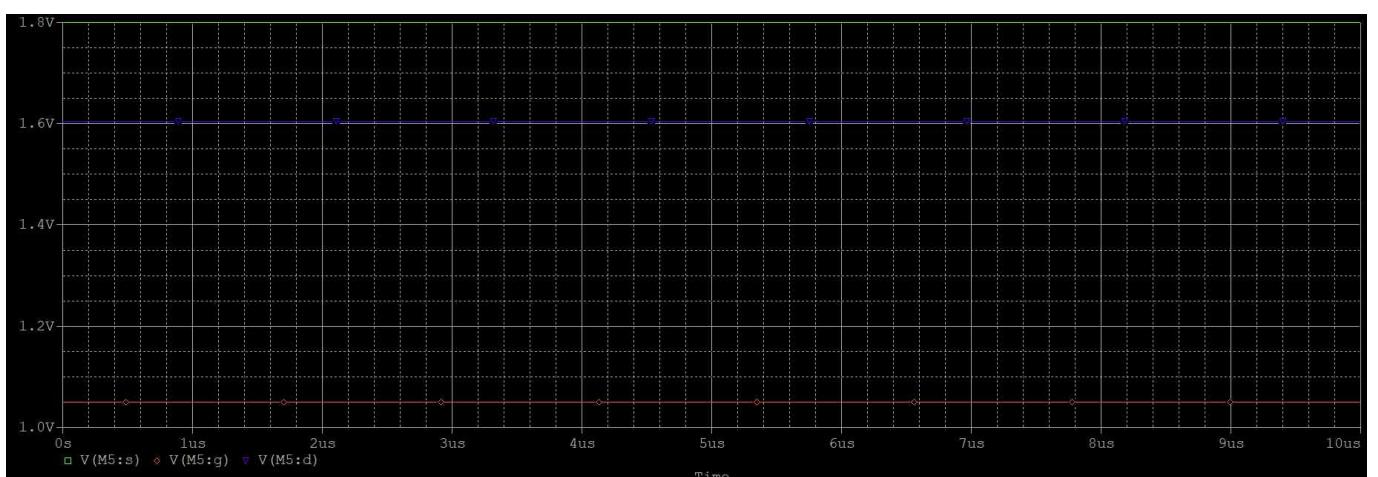
1) M1



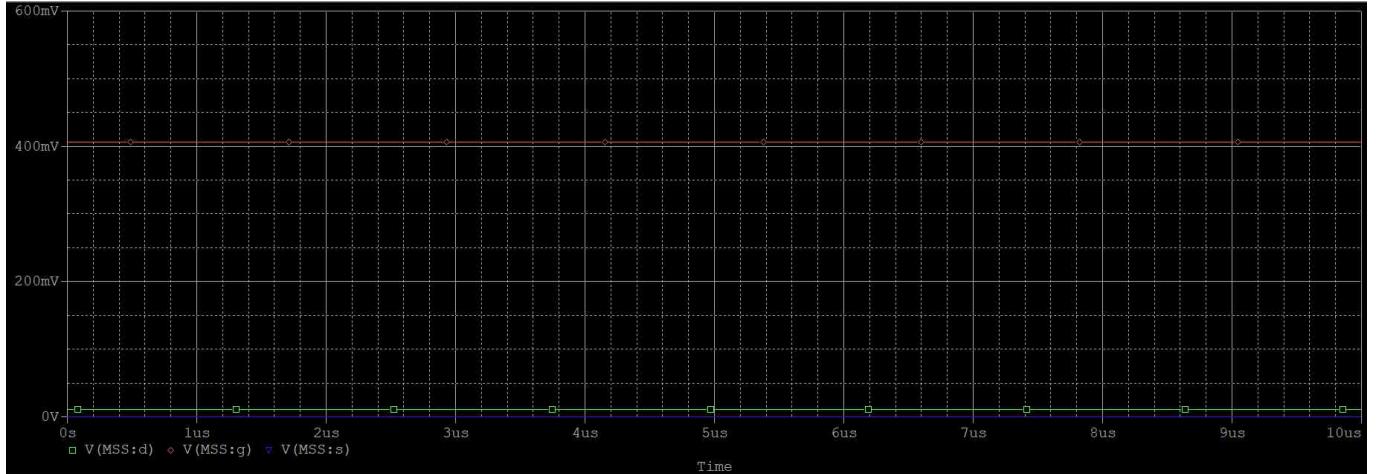
2) M3 (드레인 전압 1.8V)



3) M5



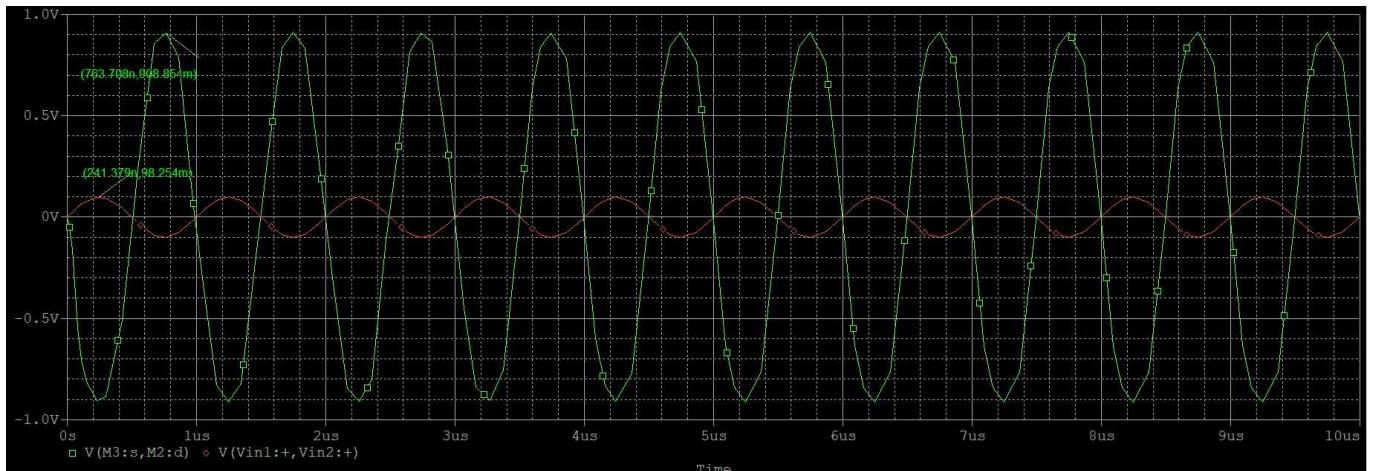
4) MSS



(b)

앞선 2-(a)에서 MOSFET의 바이어스 전압 보았을 때, 모든 mosfet이 Saturation Region에서 동작하지는 않는 것으로 보인다. M3(M4)를 제외한 소자들은 Saturation 영역에서 동작하는 것으로 나타났다. 이는 설계에서 사용한 공식이 근사식이라는 것에서 오차가 축적되어 발생한 결과라고 판단한다. 이에 대한 설명은 (d)에서 추가하겠다.

(c) input에 0.05V, 1MHz의 소신호 인가



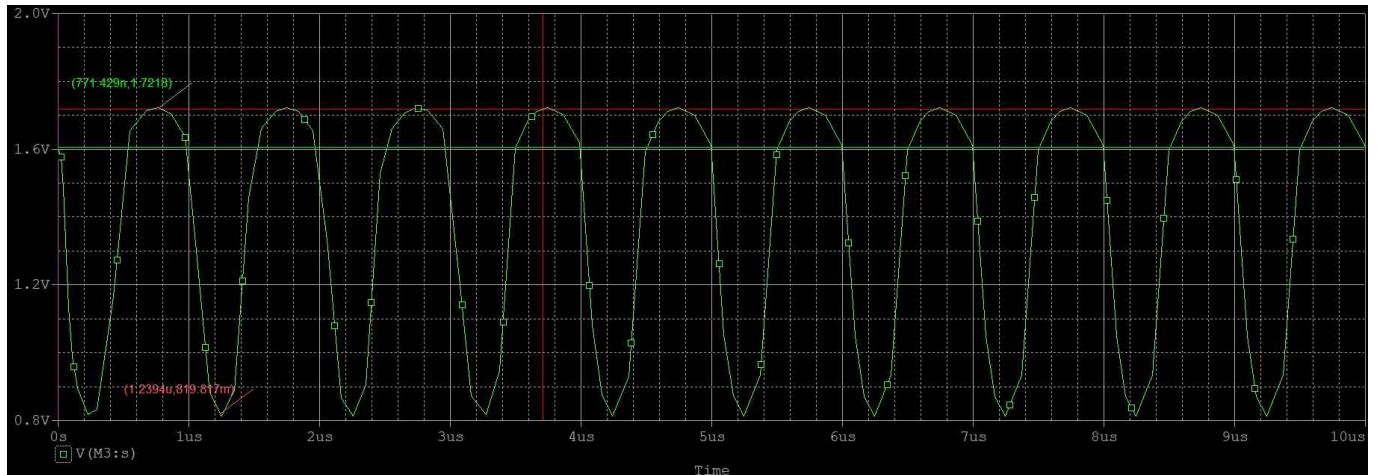
(d)

(c)의 그래프 확인할 수 있듯이, 소신호 전압 이득은 대략 -9.25로 나타난다. 이는 설계 목표인 -10과 7.5%의 상대오차를 가진다.

해당 오차는 설계에서 사용한 드레인 전류 공식이 어디까지나 근사식으로, 정확한 MOS의 동작을 나타내지는 않기 때문에 발생한 것으로 보인다. 또한, Pspice에서 사용한 Model 또한 Level 1 Model로, 특정 parameter만으로 MOSFET의 동작을 모델링하였기 때문에 아주 정확한 MOS 동작을 나타내지 않으며 설계에서 사용한 드레인 전류 공식과 같은 공식과도 오차가 발생할 여지가 많다. 따라서, 설계한 스펙으로 Differential Amplifier의 정확한 Gain을 설계하기에는 무리가 있다.

본 설계에서는 M1, M3, M5, MSS가 모두 Saturation 영역에서 동작하도록 Saturation 조건을 고려하여 바이어스 및 Size를 설계하였지만 실제로는 M3(M4)가 Saturation 영역에서 동작하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 설계에서는 V_{S3} 를 1.1V로 설정하고 설계를 진행하였지만 실제로는 V_{S3} 가 peak에서 1.6, 가장 낮을 때에는 대

략 0.8V 부근으로 나타났다. 이 때문에 M3(M4)가 Saturation Region에서 동작할 조건을 만족할 때도 있고 그 렇지 않을 때도 있는 것으로 나타났다. 아래 그림에 M3의 source 전압을 나타내었다. 다만, 일반 저항을 사용했을 때의 R_D 의 역할을 M5(M6)는 해주고는 있기 때문에 증폭기로써는 충분히 동작할 수 있었다.



따라서, 목표와 큰 오차가 발생하지는 않은 채로 Gain을 설계할 수 있었기에 본 설계가 충분히 의미 있다고 판단한다.