

Term1:

OP amp design

제출일	2005년 11월 28일
담당교수	박홍준 교수님
학번	20052201
이름	최인호

$$I_d = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} \Delta^2, \quad r_{o7} = \frac{1}{\lambda I_d}, \quad g_m = \sqrt{2\mu C_{ox}(W/L)I_d}$$

$$G_{md} = g_{m1}, \quad R_{out} = \{g_{m7} \cdot r_{o7} \cdot (r_{o2} \parallel r_{o5})\} \parallel \{g_{m9} \cdot r_{o9} \cdot r_{o1}\}, \quad A_{vd} = G_{md} \cdot R_{out}$$

$$f(-3dB) = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{R_{out} \cdot C_L}, \quad GBW = f(-3dB) \cdot A_{vc}, \quad PM = 90^\circ - \tan^{-1} \left| \frac{W_{0dB}}{p2} \right|$$

이 식들과 엑셀을 이용하여 Hand Analysis를 하였다.

1st Try

1<OVR<2.1 로 spec 만족, GBW는 57.3MHz정도로 spec 불만족

Av가 1000이상이어야 하는데 600 정도가 나와서 spec 불만족

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	1st Try									n람다	p람다	CL
2										0.09	0.12	1.00E-11
3	TR	Vdsat	ID	uCox	L	W	AD	PD	g m	ro		
4	M1n	0.25	4.50E-04	9.40E-05	0.35	5.36E+01	5.63E+01	5.57E+01	0.0036	2.47E+04	Av	6.07E+02
5	M2n	0.25	4.50E-04	9.40E-05	0.35	5.36E+01	5.63E+01	5.57E+01	0.0036	2.47E+04	Gmd	0.0036
6	M3n	0.5	9.00E-04	9.40E-05	0.35	2.68E+01	2.81E+01	2.89E+01	0.0036	1.23E+04		
7											Rup	2.08E+05
8	M4p	0.7	1.00E-03	4.80E-05	0.35	2.98E+01	3.13E+01	3.19E+01	0.00286	8.33E+03	Rlow	8.98E+05
9	M5p	0.7	1.00E-03	4.80E-05	0.35	2.98E+01	3.13E+01	3.19E+01	0.00286	8.33E+03	Rout	1.69E+05
10	M6p	0.5	5.50E-04	4.80E-05	0.35	3.21E+01	3.37E+01	3.42E+01	0.0022	1.52E+04		
11	M7p	0.5	5.50E-04	4.80E-05	0.35	3.21E+01	3.37E+01	3.42E+01	0.0022	1.52E+04		
12											f(-3dB)	9.44E+04
13	M8n	0.5	5.50E-04	9.40E-05	0.35	1.64E+01	1.72E+01	1.85E+01	0.0022	2.02E+04		
14	M9n	0.5	5.50E-04	9.40E-05	0.35	1.64E+01	1.72E+01	1.85E+01	0.0022	2.02E+04		
15	M10n	0.5	5.50E-04	9.40E-05	0.35	1.64E+01	1.72E+01	1.85E+01	0.0022	2.02E+04		
16	M11n	0.5	5.50E-04	9.40E-05	0.35	1.64E+01	1.72E+01	1.85E+01	0.0022	2.02E+04	GBW	5.73E+07
17												
18											Sum(Wi+Li)	1.13E+02

2nd Try

GBW는 Av와 f(-3dB)의 곱으로 한쪽을 키우면 다른 쪽이 작아져서 더 이상 키우기 어려웠다. 하지만 M4~7 PMOS의 L길이를 0.35에서 0.7로 늘려서 Av값을 2100정도로 하여 spec을 만족시켰다. (OVR은 그대로 만족)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	2nd Try									n람다	p람다	CL
2										0.09	0.03	1.00E-11
3	TR	Vdsat	ID	uCox	L	W	AD	PD	g m	ro		
4	M1n	0.25	4.50E-04	9.40E-05	0.35	5.36E+01	5.63E+01	5.57E+01	0.0036	2.47E+04	Av	2.19E+03
5	M2n	0.25	4.50E-04	9.40E-05	0.35	5.36E+01	5.63E+01	5.57E+01	0.0036	2.47E+04	Gmd	0.0036
6	M3n	0.5	9.00E-04	9.40E-05	0.35	2.68E+01	2.81E+01	2.89E+01	0.0036	1.23E+04		
7											Rup	1.89E+06
8	M4p	0.7	1.00E-03	4.80E-05	0.7	5.95E+01	6.25E+01	6.16E+01	0.002857	3.33E+04	Rlow	8.98E+05
9	M5p	0.7	1.00E-03	4.80E-05	0.7	5.95E+01	6.25E+01	6.16E+01	0.002857	3.33E+04	Rout	6.09E+05
10	M6p	0.5	5.50E-04	4.80E-05	0.7	6.42E+01	6.74E+01	6.63E+01	0.0022	6.06E+04		
11	M7p	0.5	5.50E-04	4.80E-05	0.7	6.42E+01	6.74E+01	6.63E+01	0.0022	6.06E+04		
12											f(-3dB)	2.62E+04
13	M8n	0.5	5.50E-04	9.40E-05	0.35	1.64E+01	1.72E+01	1.85E+01	0.0022	2.02E+04		
14	M9n	0.5	5.50E-04	9.40E-05	0.35	1.64E+01	1.72E+01	1.85E+01	0.0022	2.02E+04		
15	M10n	0.5	5.50E-04	9.40E-05	0.35	1.64E+01	1.72E+01	1.85E+01	0.0022	2.02E+04		
16	M11n	0.5	5.50E-04	9.40E-05	0.35	1.64E+01	1.72E+01	1.85E+01	0.0022	2.02E+04	GBW	5.73E+07
17												
18											Sum(Wi+Li)	2.43E+02

3rd Try

이번에는 GBW를 맞추기 위해서는 Gmd를 키워야한다. 위 식을 참고하여 그러기 위해서 M1과 M2의 L을 줄이거나 W를 키우면 된다. 하지만 L은 0.35로 고정되어 더 줄일수 없으므로 W를 키워보았다. GBW가 101MHz로 spec을 만족시킬 수 있었다.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	3rd Try									n람다	p람다	CL
2										0,09	0,03	1,00E-11
3	TR	Vdsat	ID	uCox	L	W	AD	PD	g m	ro		
4	M1n	0,25	4,50E-04	9,40E-05	0,35	1,66E+02	1,75E+02	1,68E+02	0,006338	2,47E+04	Av	3,86E+03
5	M2n	0,25	4,50E-04	9,40E-05	0,35	1,66E+02	1,75E+02	1,68E+02	0,006338	2,47E+04	Gmd	0,006338
6	M3n	0,5	9,00E-04	9,40E-05	0,35	2,68E+01	2,81E+01	2,89E+01	0,0036	1,23E+04		
7											Rup	1,89E+06
8	M4p	0,7	1,00E-03	4,80E-05	0,7	5,95E+01	6,25E+01	6,16E+01	0,002857	3,33E+04	Rlow	8,98E+05
9	M5p	0,7	1,00E-03	4,80E-05	0,7	5,95E+01	6,25E+01	6,16E+01	0,002857	3,33E+04	Rout	6,09E+05
10	M6p	0,5	5,50E-04	4,80E-05	0,7	6,42E+01	6,74E+01	6,63E+01	0,0022	6,06E+04		
11	M7p	0,5	5,50E-04	4,80E-05	0,7	6,42E+01	6,74E+01	6,63E+01	0,0022	6,06E+04		
12											f(-3dB)	2,62E+04
13	M8n	0,5	5,50E-04	9,40E-05	0,35	1,64E+01	1,72E+01	1,85E+01	0,0022	2,02E+04		
14	M9n	0,5	5,50E-04	9,40E-05	0,35	1,64E+01	1,72E+01	1,85E+01	0,0022	2,02E+04		
15	M10n	0,5	5,50E-04	9,40E-05	0,35	1,64E+01	1,72E+01	1,85E+01	0,0022	2,02E+04		
16	M11n	0,5	5,50E-04	9,40E-05	0,35	1,64E+01	1,72E+01	1,85E+01	0,0022	2,02E+04	GBW	1,01E+08
17												
18											Sum(W+Li)	3,22E+02

4th Try

위의 것은 spec은 모두 만족시켰다. L을 늘임으로 Av의 값을 키웠는데(W도 키우게 되어 지나치게 Av값이 증가하였다) W*L의 sum을 줄이기 위해 L값을 0.35로 다시 바꾸고 M1,2의 W값만을 키워서 spec을 맞추어 보았다.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	4th Try									n람다	p람다	CL
2										0,09	0,12	1,00E-11
3	TR	Vdsat	ID	uCox	L	W	AD	PD	g m	ro		
4	M1n	0,25	4,50E-04	9,40E-05	0,35	1,66E+02	1,75E+02	1,68E+02	0,00634	2,47E+04	Av	1,07E+03
5	M2n	0,25	4,50E-04	9,40E-05	0,35	1,66E+02	1,75E+02	1,68E+02	0,00634	2,47E+04	Gmd	0,006338
6	M3n	0,5	9,00E-04	9,40E-05	0,35	2,68E+01	2,81E+01	2,89E+01	0,0036	1,23E+04		
7											Rup	2,08E+05
8	M4p	0,7	1,00E-03	4,80E-05	0,35	2,98E+01	3,13E+01	3,19E+01	0,00286	8,33E+03	Rlow	8,98E+05
9	M5p	0,7	1,00E-03	4,80E-05	0,35	2,98E+01	3,13E+01	3,19E+01	0,00286	8,33E+03	Rout	1,69E+05
10	M6p	0,5	5,50E-04	4,80E-05	0,35	3,21E+01	3,37E+01	3,42E+01	0,0022	1,52E+04		
11	M7p	0,5	5,50E-04	4,80E-05	0,35	3,21E+01	3,37E+01	3,42E+01	0,0022	1,52E+04		
12											f(-3dB)	9,44E+04
13	M8n	0,5	5,50E-04	9,40E-05	0,35	1,64E+01	1,72E+01	1,85E+01	0,0022	2,02E+04		
14	M9n	0,5	5,50E-04	9,40E-05	0,35	1,64E+01	1,72E+01	1,85E+01	0,0022	2,02E+04		
15	M10n	0,5	5,50E-04	9,40E-05	0,35	1,64E+01	1,72E+01	1,85E+01	0,0022	2,02E+04		
16	M11n	0,5	5,50E-04	9,40E-05	0,35	1,64E+01	1,72E+01	1,85E+01	0,0022	2,02E+04	GBW	1,01E+08
17												
18											Sum(W+Li)	1,92E+02

$$SR = \frac{1mA}{10pF} = 100v/us$$

$$0.1\% \text{ settling time}(01v \text{ step}) = \frac{3 \ln 10}{2\pi \text{ GBW}} = 10.8ns$$

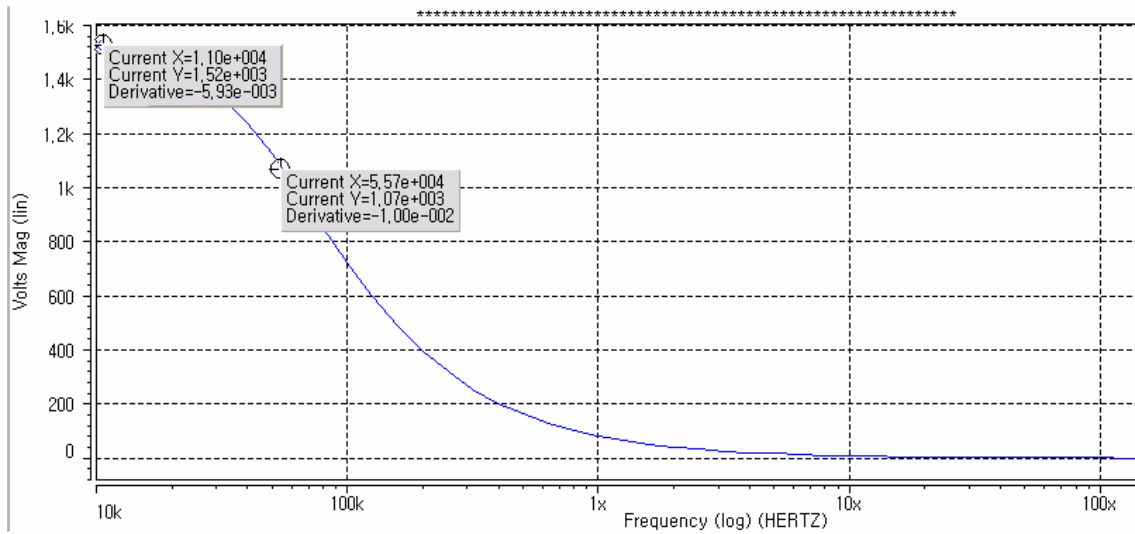
$$V_{ss} + \Delta(m3) + \Delta(m2) + V_{thn} < ICMR < V_{dd} - \Delta(m4) - V_{thn} \quad , \quad \text{즉 } 1.25v < ICMR < 2.1v$$

$$\text{같은 방법으로 Output Voltage Range를 구하면} \quad , \quad 1v < OVR < 2.1v$$

$$Power[W] = 2mA \times 3.3v = 6.6mW$$

<3> Design by Spice

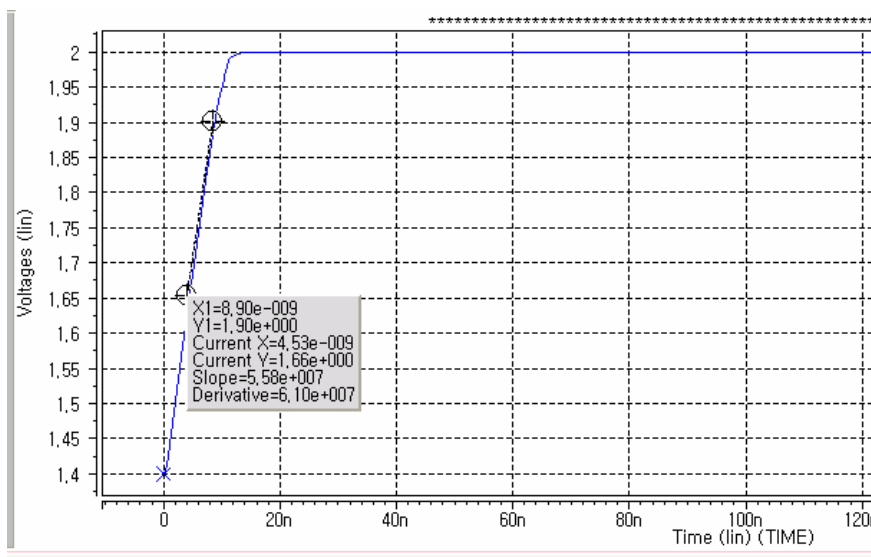
여러 번의 값을 바꾸어 보았는데 W를 바꾸어본 것은 Spice에서 돌릴 때 유용할 것이라고 생각했기 때문이다. 결과적으로 처음에는 1st 부터 spice를 돌려보며 차례로 값을 바꾸어보았는데 spec을 가장 잘 만족시킨 3rd Try의 결과를 이용하여 spice를 돌리게 되었다.



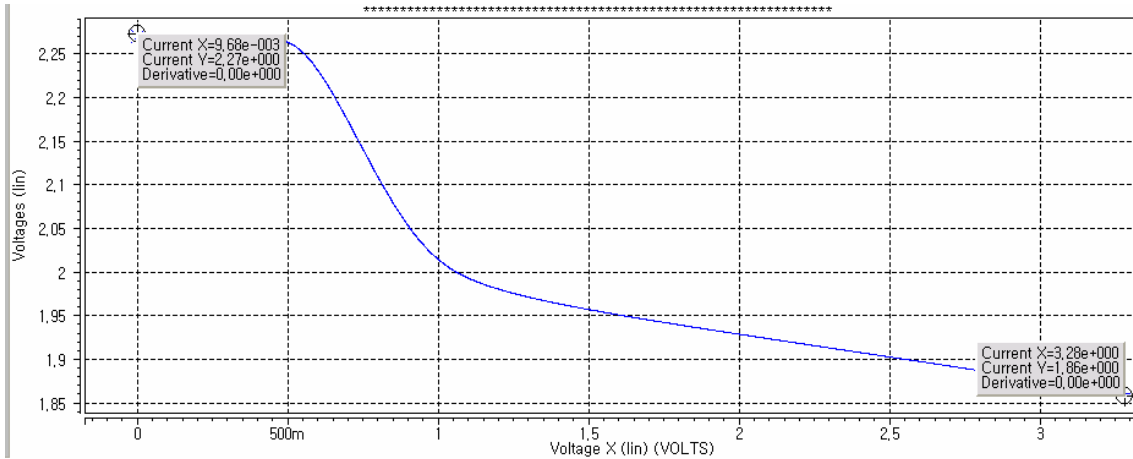
$A_{vd}=1520$,

$f(-3dB)=55.7KHz$,

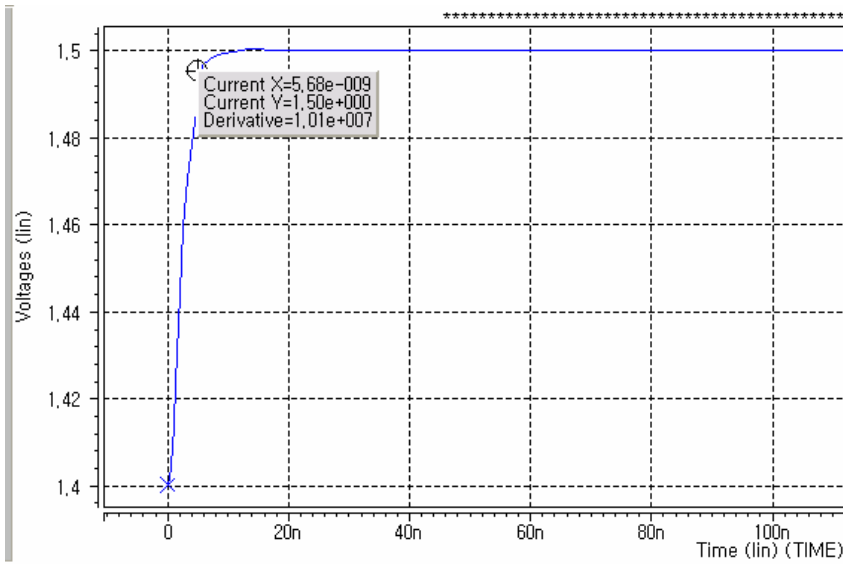
$GBW= A_{vd} \times f(-3dB)= 84.7MHz$



$SR=55.8v/us$



$$1.86 < \text{ICMR} < 2.27$$



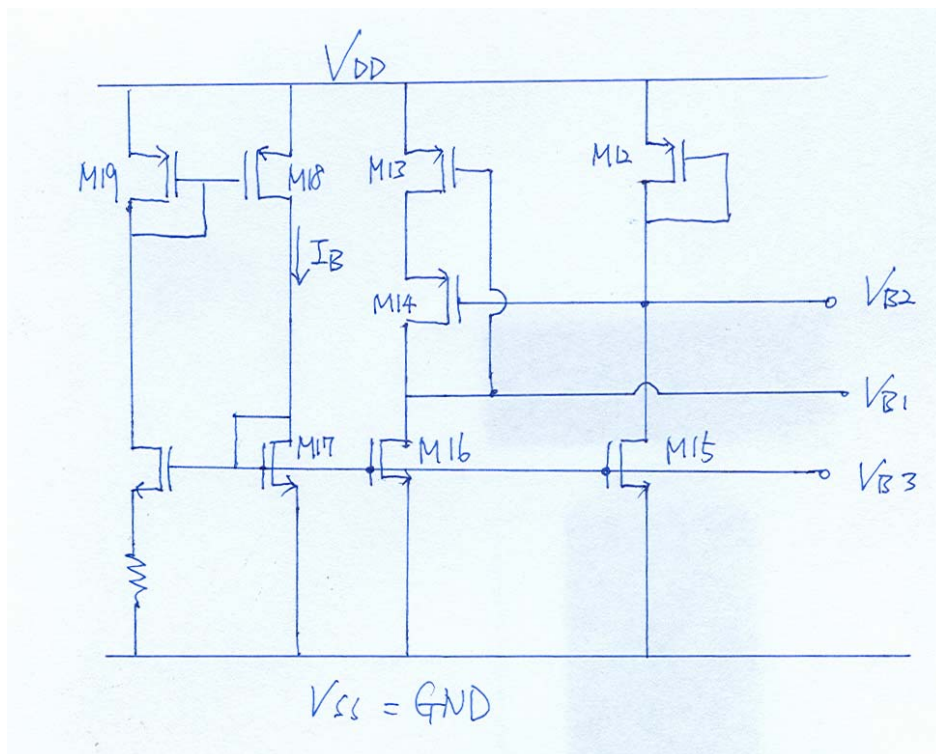
0.1% settling time with unity gain feedback(0.1V step) = 5.7 ns

계산값과 다소 큰 차이가 나는 부분도 있지만 대체로 spec을 만족함을 볼 수 있었다.

<4> Fill in the spec Table

	Hand analysis	Spice
Sum ($W_i \times L_i$)	3.22E+02	3.22E+02
DC small signal voltage gain	3.86E+03	1520 (spec만족)
Power consumption	Opamp=6.6mW Bias=3.3mW	10mW
Slew rate(SR)	100v/us	55.8v/us
0.1% settling time with unity gain feedback	10.8ns	5.7 ns
ICMR	1.25v < ICMR < 2.1v	1.86<ICMR<2.27
Gain-BW	1.01E+08	84.7MHz
OVR	1v < OVR < 2.1v	1.23<OVR<2.43
f(-3dB)	2.62E+04	55.7KHz

<5> Design a self bias circuit



$$|V_{dsat}| = \Delta$$

$$V_{b2} = V_{dd} - 2\Delta - V_{margin} - |V_{thp}|$$

$$V_{b1} = V_{dd} - |V_{gs13}| = V_{dd} - \Delta - |V_{thp}|$$

V_{b3} 은 준류원을 형성하는 M17과 M15, mos다이오드 구조의 M12에 의하여 정해진다. V_{b1} 을 얻기 위하여, M13과 M14의 W/L 값은 서로 같게 하고 M12의 W/L 값을 M13 과 M14의 W/L 값에 비해 1/5 ~ 1/6 정도 되게 한다.

Spice dc 해석을 통해 추출된 parameter를 사용한 설계를 해 봄으로써 V_{dsat} 값을 먼저 정한 후 각 mosfet에 흘릴 전류의 양을 결정하고, 이 값들을 사용하여 미리 정한 L 값에 따른 W를 결정하고, λ 와 전류 값으로 r_o 를 구하였다. 그리고 전류와 V_{dsat} 값에서부터 G_m 을 계산하였다. Spice를 돌려봄으로써 많은 것을 배울수 있었다.