

# 2007년 1학기 전자회로 2 기말고사 솔루션

작성자 : 한재덕, 김태호, 추교진(ISDL)

[sol 1]

- METHOD1 : 문제에서 주어진 상황에서 메모리 셀에 저장되어있는 값을 반전할 수 있기 위해선 M1과 M2의 pull-down capability가 Q1의 PMOS의 pull-up capability보다  $V(Q) = V_{DD}/2$ 의 상황에서 더 커야 한다. 이에 따라 M1과 M2사이 node의 전압을  $V_x$ 라고 하면 다음 식을 유도할 수 있다.

$$CurrentDrivenByM1 = CurrentDrivenByM2 > CurrentDrivenByQ1PMOS$$

$$\begin{aligned} \mu_n C_{ox} \cdot \frac{W_{M1}}{L_{M1}} \cdot \left( (V_{DD} - V_x - V_{th}) \left( \frac{V_{DD}}{2} - V_x \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{V_{DD}}{2} - V_x \right)^2 \right) &= \mu_n C_{ox} \cdot \frac{W_{M2}}{L_{M2}} \cdot \left( (V_{DD} - V_{th}) V_x - \frac{1}{2} V_x^2 \right) \\ &> \mu_p C_{ox} \cdot \frac{W_{QP}}{L_{QP}} \cdot \left( (V_{DD} - V_{th}) \frac{V_{DD}}{2} - \frac{1}{2} \left( \frac{V_{DD}}{2} \right)^2 \right) \end{aligned}$$

$W_{M2}$ 가 최소일 때,  $CurrentDrivenByM2 = CurrentDrivenByQ1PMOS$  이어야 하는데, 이 방정식에서  $V_x$ 와  $V_{DD}$ ,  $V_{th}$ 의 관계를 구하면 아래와 같다.

$$V_x^2 + 2V_x(V_{th} - V_{DD}) + \frac{9}{16}V_{DD}^2 - \frac{3}{4}V_{DD}V_{th} = 0$$

이때 조건에서  $V_{th} = \frac{1}{4}V_{DD}$  이므로 이를 넣고 정리하면,

$$V_x^2 + 2V_x \left( -\frac{3}{4}V_{DD} \right) + \frac{6}{16}V_{DD}^2 = 0 \text{ 이고 따라서}$$

$V_x = (0.317)V_{DD}$  이다. 그런데

$CurrentDrivenByM1 = CurrentDrivenByM2$  이므로 이 방정식에  $V_x$ 와  $V_{th}$ 를 대입하면,

$$X = (1.33)um \text{ 이다.}$$

- METHOD2

Method1과 같은 방법으로

$CurrentDrivenByM1 = CurrentDrivenByM2 > CurrentDrivenByQ1PMOS$  이어야 한다.

M1과 M2의 effective width는 M1과 M2의 width의 harmonic 평균이다. 이것이  $1um$ 이어야 하므로

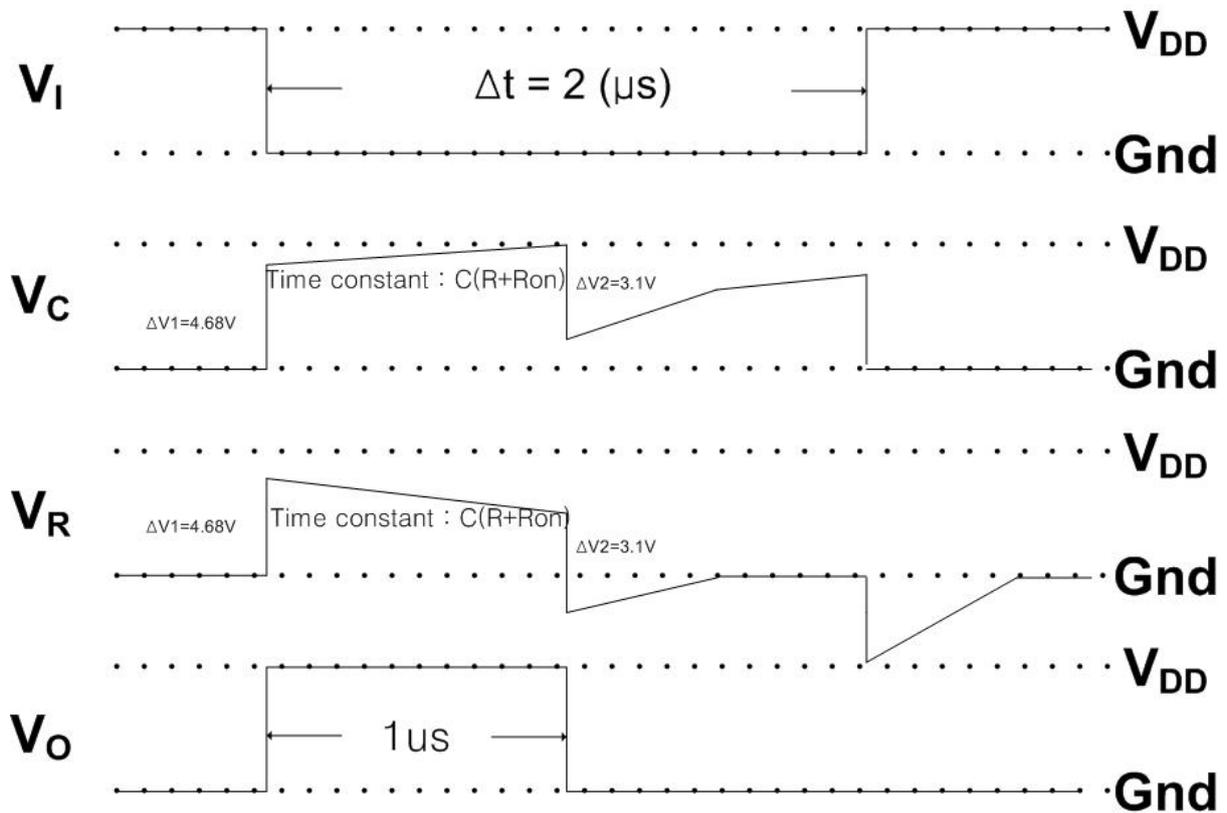
$$\frac{4um \cdot Xum}{(4um + Xum)} = 1um \text{ 에서 } X=4/3 \text{ um}=1.33um \text{ 이다.}$$

[sol 2]

(1)  $T = C(R + R_{on}) \ln\left(\frac{R}{R + R_{on}} \frac{V_{DD}}{V_{th}}\right)$  에서  $T = 1\mu s$ ,  $C = 1nF$ ,  $R_{on} = 100(\text{ohm})$  일 때, 몇 번의 iteration

을 해보면 R은 약 1490 ohm이다.

(2)



[sol 3]

1)

$$\text{Gate capacitance} = (C_{ox}L + 2C_{ov}) * (W_p + W_n) = 10 \text{ fF/um}$$

$$\text{Self capacitance} = (C_{db} + 2C_{gd}) * (W_p + W_n) = 5 \text{ fF/um}$$

$$\text{Wire capacitance} = 10 \text{ fF or } 20 \text{ fF}$$

따라서  $C_A=25\text{fF}$ ,  $C_B=25\text{fF}$ ,  $C_C=35\text{fF}$

$$t_{PHL} = 1.7C / (k_n' (W/L)_n V_{DD})$$

$$t_{PLH} = 1.7C / (k_p' (W/L)_p V_{DD})$$

따라서 A와 B의 딜레이는 35.4ps, C의 딜레이는 49.6ps가 된다.

2)

총 딜레이는  $2 * (35.4 + 49.6) = 170 \text{ ps}$ 가 된다.

$$f_{osc} = 1 / (170 \text{ ps}) = 5.88 \text{ GHz}$$

만약에 C로드에 100fF의 추가 cap이 더 붙으면 해당 부분의 딜레이가 191.25ps가 되므로 총 딜레이는 453 ps가 되어 2.21 GHz의 주파수를 갖는다.

3)  $V_{DD}$ 가 증가했지만  $V_T$ 는 일정하므로 위의 식을 더 이상 사용할 수 없다.

원래  $t_{PHL}, t_{PLH}$ 를 구하였던 식에 대입해 보면

$$t_{PHL} = \frac{C \frac{V_{DD}}{2}}{\frac{k_n' W}{2 L} \left[ \frac{1}{2} (V_{DD} - V_T)^2 + \left[ (V_{DD} - V_T) \frac{V_{DD}}{2} - \frac{1}{2} \left( \frac{V_{DD}}{2} \right)^2 \right] \right]} = 0.588 \frac{C}{k_n' \frac{W}{L}} \text{ 이 되어}$$

$V_{DD}=2.5\text{V}$  일 때보다 주기가 0.874 배가 된다. 따라서 주파수는 약 14.4%증가하게 된다.

[sol 4]

1)  $V_{BE}$ 가 같은데  $I_S$ 가 1/10이므로 100uA의 전류가 흘러야 한다.

2)  $V_{CC}$ 가 상당히 크므로 Class B의 식을 그대로 사용 할 수 있다.

Class B에서 들어올 수 있는 최대 입력 전압의 진폭은  $V_{CC}-V_{CEsat}+V_{BEN}$ 이고 이때의 출력 전압의 진폭은  $V_{CC}-V_{CEsat}$ 이 된다. 따라서 식을 세우면,

$$100W = 0.5 \frac{(V_{CC} - 0.2)^2}{8}$$

이므로  $V_{CC}$ 는 40.2V가 되고 이때의 입력 정현파의 최대 진폭은  $40.2-0.2=40V$ 가 된다.

그러나 이것은 두 다이오드 사이에 입력이 들어올 때의 답이고, 실제로는 Q2아래에서 입력이 들어오기 때문에 curve가 약간 biased된 형태를 띄게 된다. 따라서 0.7V드랍을 고려하면 입력의 범위는 -40.7~39.3V가 되어 오프셋이 없는 정현파의 기준으로 생각해 보면 39.3V의 진폭이 최대가 된다.

3)  $P_L=10W$ 이므로 정현파의 진폭은 12.65V가 된다. 따라서 P.C.E는

$$\frac{\pi \widehat{V}_O}{4 V_{CC}} = 24.7\%$$

가 된다. 따라서  $P_S=P_L/PCE=40.5W$ 가 되므로 Q3,Q4에서 소모되는 파워는  $40.5-10=30.5W$ 가 되므로, 각각 15.3W씩의 power를 소모하게 된다.

4) 온도가 300K에서 330K로 30(degree)증가하므로  $I_Q$ 가 증가하게 된다. 자세히 알아보면, 온도가 1도 증가할 때  $V_{BE}$ 가 2mV걸린 효과를 내므로,  $V_{BE}$ 가 60mV증가한 효과를 내게 된다. 일반적으로  $V_{BE}$ 가 60mV증가하면 current는 10배정도 증가하므로 10mA의 전류가 흐르게 된다.

[sol 5]

- During the charging interval  $T_1(\tau = L/R_3)$

$$v_- = L_+ - (L_+ - \beta L_-)e^{-t/\tau}$$

$$T_1 = \tau \ln \frac{1 - \beta(L_-/L_+)}{1 - \beta}$$

- Similarly  $T_2$

$$v_- = L_- - (L_- - \beta L_+)e^{-t/\tau}$$

$$T_2 = \tau \ln \frac{1 - \beta(L_+/L_-)}{1 - \beta}$$

$$\therefore T = T_1 + T_2 = 2\tau \ln \frac{1 + \beta}{1 - \beta}$$

발진주파수

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 0.091V/V$$

$$T = 2\tau \ln \left( \frac{1 + \beta}{1 - \beta} \right) = 0.365 \times 10^{-6} \text{ sec}$$

$$f_o = \frac{1}{T} = 2.74 \text{ MHz}$$

$$V_{TH} = \beta L_+ = 0.091 \times 12 = 1.092V$$

$$V_{TL} = \beta L_- = 0.091 \times (-12) = -1.092V$$

발진파형

