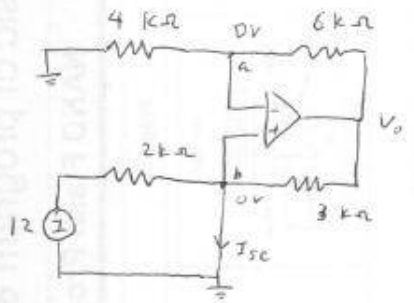


11

(a) i) I_{sc} 찾기



node a에 KCL

$$\frac{V_a - 0}{4} + \frac{V_a - V_o}{6} = 0$$

$$V_a = 0 \text{ V 이므로 } V_o = 0$$

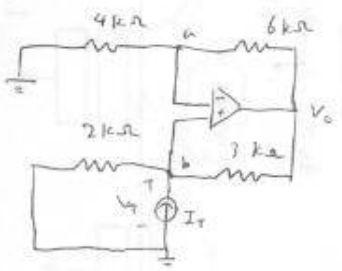
node b에 KCL

$$\frac{V_b - 12}{2} + I_{sc} + \frac{V_a - V_o}{3} = 0$$

$$V_b = 0 \text{ V 이므로}$$

$$I_{sc} = 6 \text{ mA}$$

ii) R_t 찾기



node a에 KCL

$$\frac{V_a - 0}{4} + \frac{V_a - V_o}{6} = 0 \Rightarrow V_o = \frac{5}{2} V_a$$

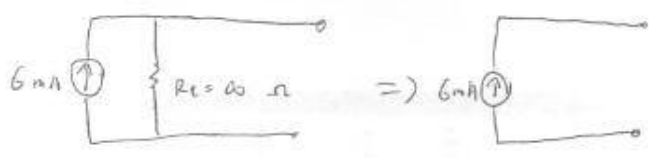
node b에 KCL

$$\frac{V_T - 0}{2} + \frac{V_T - V_o}{3} - I_T = 0$$

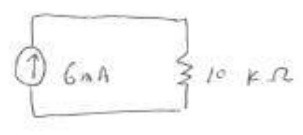
$$3V_T + 2V_T - 2\left(\frac{5}{2} V_T\right) - 6I_T = 0$$

$$\therefore I_T = 0$$

$$R_t = \frac{V_T}{I_T} = \infty$$



(b)

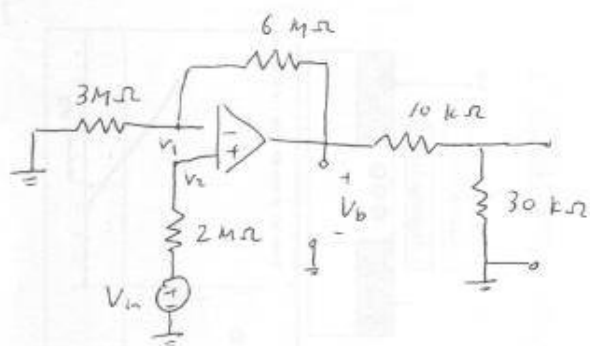


$$10 \text{ k}\Omega \text{ 에 흐르는 전류 } = 6 \text{ mA}$$

$$\text{소모전력 } P = I^2 R = 360 \text{ mW}$$

2

(a)

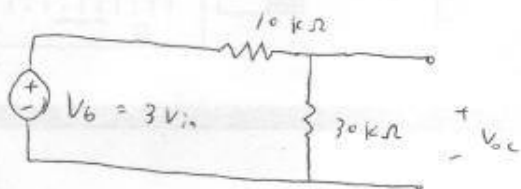


V_b 는 비반전 증폭기의 output으로

$$V_b = \left(1 + \frac{6}{3}\right) V_{in} = 3 V_{in}$$

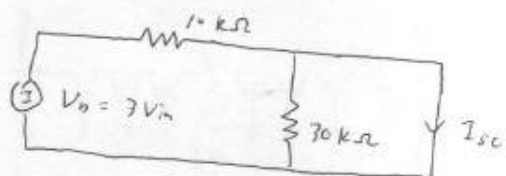
그러므로 회로를 간략화하여

i) V_{oc} 구하기



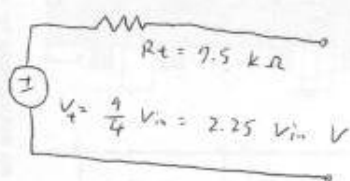
$$V_{oc} = \frac{30}{30+10} \cdot V_b = \frac{9}{4} V_{in} [V]$$

ii) I_{sc} 구하기

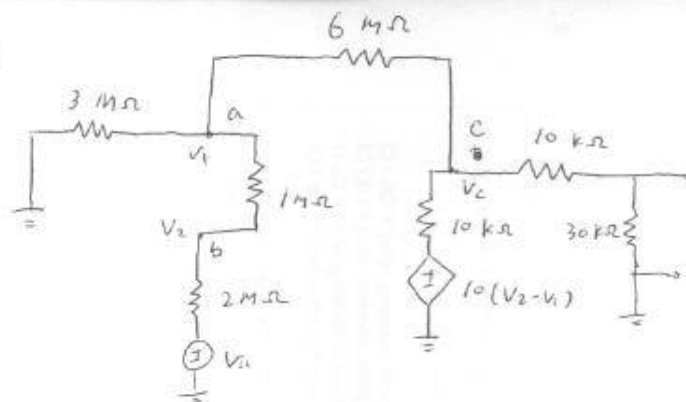


$$I_{sc} = \frac{3V_{in}}{10} = \frac{3}{10} V_{in} [mA]$$

$$R_t = \frac{V_{oc}}{I_{sc}} = \frac{30}{4} = 7.5 [k\Omega]$$



(b)



(c)

node b에 KCL

$$\frac{V_2 - V_{in}}{2} + \frac{V_2 - V_1}{1} = 0$$

$$\Rightarrow V_2 = \frac{2V_1 + V_{in}}{3}$$

node a에 KCL

$$\frac{V_1 - 0}{3} + \frac{V_1 - V_2}{1} + \frac{V_1 - V_c}{6} = 0$$

$$\Rightarrow V_1 = \frac{V_c + 2V_{in}}{5}$$

i) V_{oc} 구하기

node c에 KCL

$$\frac{V_c - V_1}{6} + \frac{V_c - 10(V_2 - V_1)}{0.01} + \frac{V_c}{0.04} = 0$$

$$V_2, V_1 \text{의 값을 대입하여 } V_b = \frac{104}{183} V_{in}$$

$$\therefore V_{oc} = \frac{30}{30+10} \cdot V_b = 0.426 V_{in} [V]$$

ii) I_{sc} 구하기

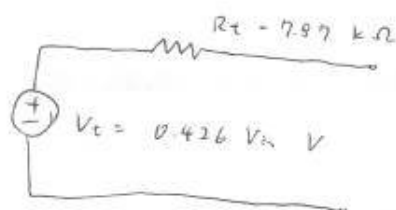
node c에 KCL

$$\frac{V_c - V_1}{6} + \frac{V_c - 10(V_2 - V_1)}{0.01} + \frac{V_c}{0.01} = 0$$

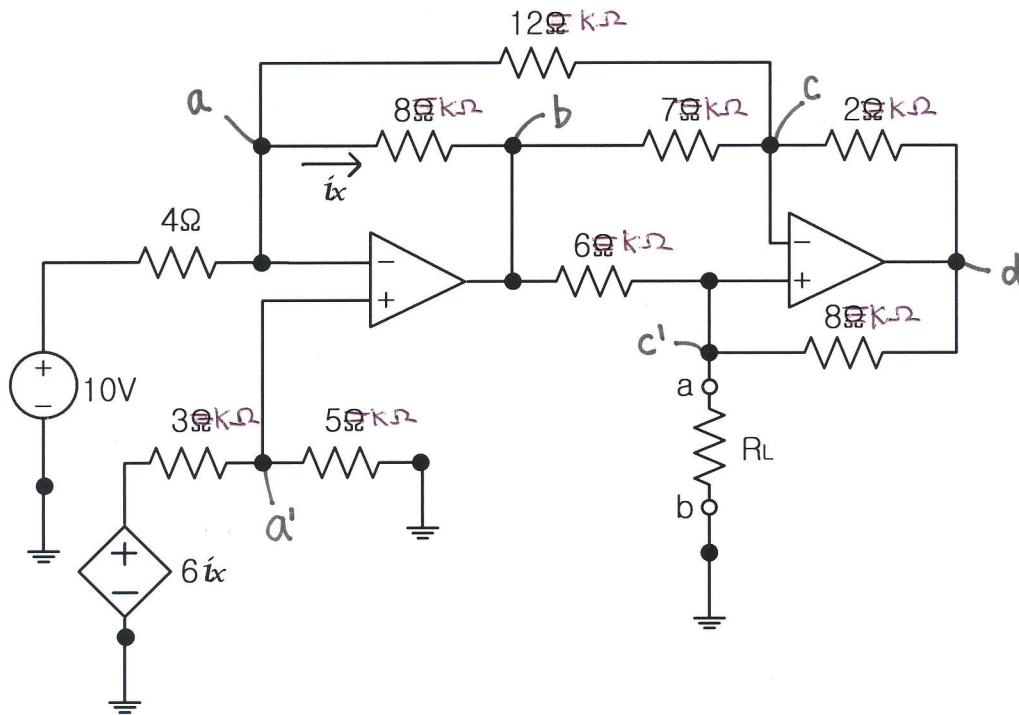
$$\Rightarrow V_b = \frac{52}{96} V_{in}$$

$$\therefore I_{sc} = \frac{V_b}{10} = 0.054 V_{in} [mA]$$

$$R_t = \frac{V_{oc}}{I_{sc}} = 7.87 [k\Omega]$$



3번 풀이 및 채점 기준



1) 5점

KCL을 사용.

$$\text{node a)} \quad \frac{10 - v_a}{4} + \frac{v_b - v_a}{8} + \frac{v_c - v_a}{12} = 0$$

$$\text{node c)} \quad \frac{v_a - v_c}{12} + \frac{v_b - v_c}{7} + \frac{v_d - v_c}{2} = 0$$

$$\text{node c')} \quad \frac{v_b - v_c}{6} + \frac{v_d - v_c}{8} = 0$$

$$\text{node a')} \quad \frac{6i_x - v_a}{3} - \frac{v_a}{5} = 0.$$

$$\text{조건: } i_x = \frac{v_a - v_b}{8}, \quad v_a = v_{a'}, \quad v_c = v_{c'}$$

$$\Rightarrow v_a = 3.4337 \text{ V}, \quad v_b = -3.8915 \text{ V}, \quad v_c = -5.27738 \text{ V}$$

$$v_d = -7.1251 \text{ V}, \quad i_x = 0.915653 \text{ mA}$$

$$\therefore v_{oc} = v_c = -5.27738 \text{ V}.$$

※ 단위 안 쓰면 4점, 풀이 과정 없으면 ~~2점~~ 1점, 답 틀리면 2점,
부호 반대면 4점, 아무것도 없으면 0점.

2) 5점

1) 외톨이 과정에서 node c'의 식을 제거하고 조건에 $v_c = 0V$ 추가.

$$\Rightarrow v_a = 4.16667V, v_b = -4.7222V, v_c = 0V,$$

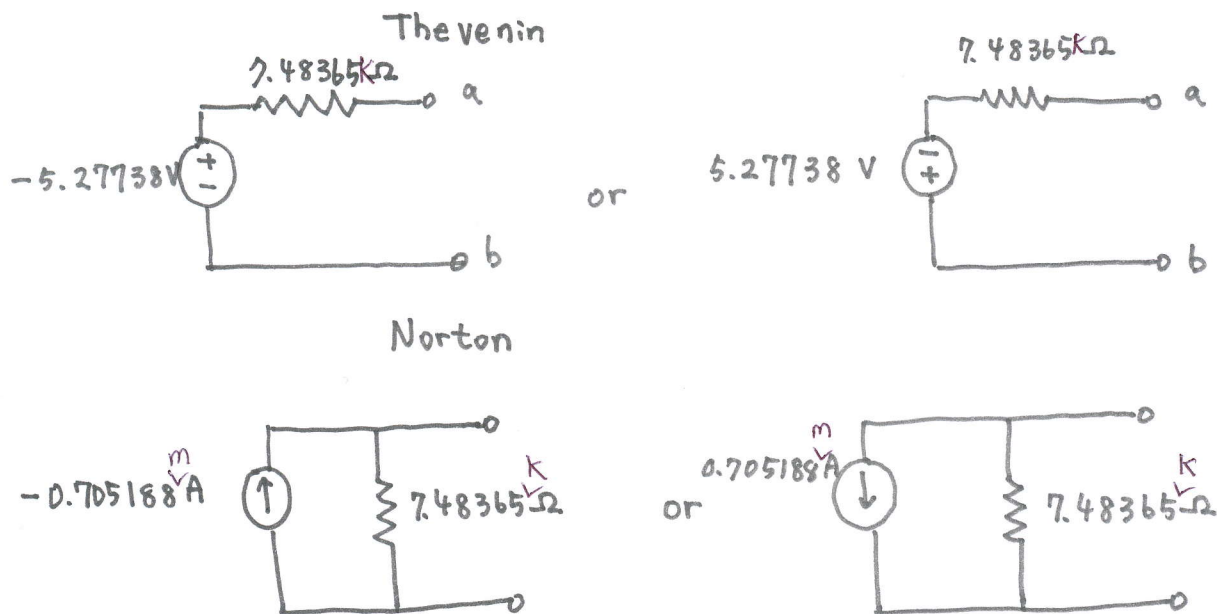
$$v_d = 0.654762V, i_x = 1.111mA.$$

$$\therefore i_{sc} = \frac{v_d}{8} + \frac{v_b}{6} = -0.705188mA.$$

※ 채점 기준: 1) 과 동일.

3) 5점

$$R_{th} = \frac{v_{oc}}{i_{sc}} = 7.48365k\Omega$$



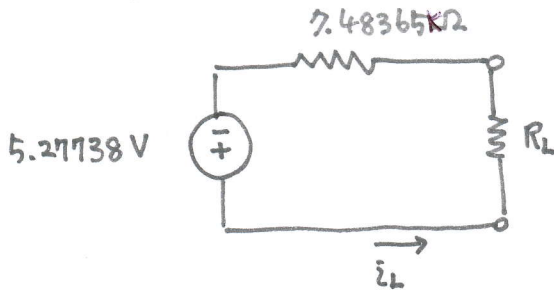
※ 전압, 전류 방향 틀리면 각 -1점

1), 2) 에서 구한 틀린 답으로 그랬을 경우 각 1점.

R_{th} 를 계산 실수로 잘못 구했을 경우 -2점.

V, A, Ω 단위 안 쓰면 각 -1점

4) 5점



$$i_L = \frac{5.27738}{7.48365 + R_L}$$

$$R_L \text{ 의 소모 전력 } P_L = i_L^2 \cdot R_L$$

$$= \frac{27.8507 R_L}{(7.48365 + R_L)^2}$$

$$\Rightarrow P_L \text{ 이 최대가 되기 위해서 } \frac{dP_L}{dR_L} = \frac{27.8507(7.48365 + R_L)^2 - 2 \times 27.8507 \cdot R_L}{(7.48365 + R_L)^4} = 0$$

$$\frac{dP_L}{dR_L} = \frac{27.8507(7.48365 + R_L)^2 - 2 \times 27.8507 R_L \cdot (7.48365 + R_L)}{(7.48365 + R_L)^4} = 0$$

$$\Rightarrow (R_L + 7.48365) 27.8507 (7.48365 + R_L - 2R_L) = 0$$

$$\Rightarrow R_L = \pm 7.48365 \text{ 일 때 } \frac{dP_L}{dR_L} = 0.$$

$$\therefore R_L = 7.48365 \text{ k}\Omega.$$

$$P_L = i_L^2 \cdot R_L = 0.930386 \text{ W.}$$

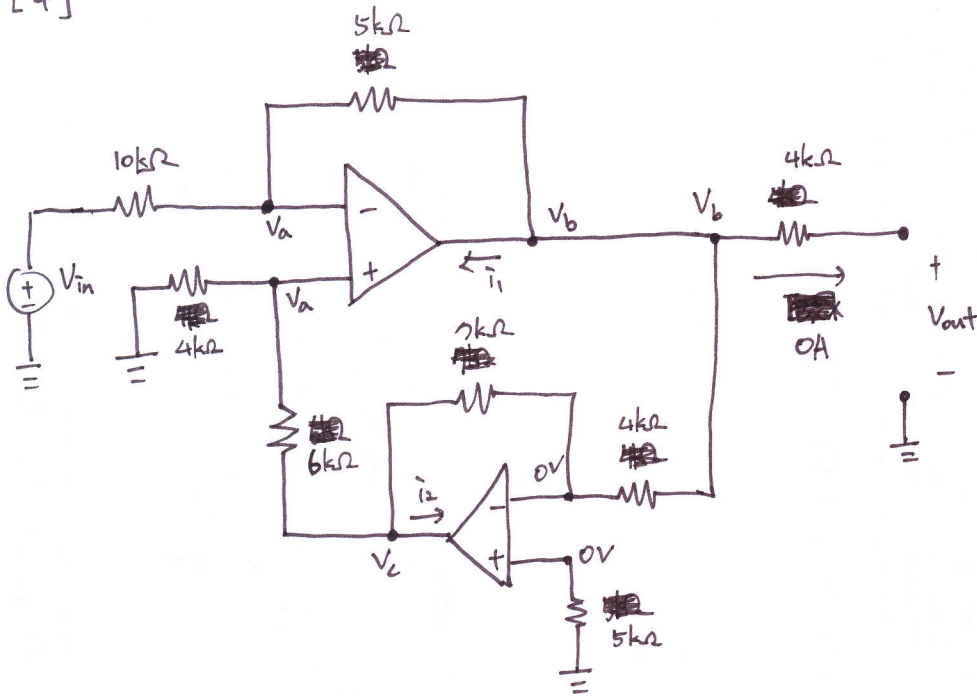
※ 단위 안 쓰면 각 -1 점.

\$R_L\$ 구하는 풀이 과정 없으면 -3 점

앞에서 오답을 구해서 풀었을 경우 1 점. (풀이 과정이 맞아야 함)

계산 실수로 틀린 경우 3 점

[4]



1) 회로방정식을 적으시오

$$\textcircled{1} \quad \frac{V_a - V_{in}}{10k} + \frac{V_a - V_b}{5k} = 0 \quad (2\text{점})$$

※ 옆에 식 이외에는
KVL, KCL 을 제대로

$$\textcircled{2} \quad \frac{0 - V_c}{7k} + \frac{0 - V_b}{4k} = 0 \quad (2\text{점})$$

하면 식을 세웠다면

$$\textcircled{3} \quad \frac{V_a}{4k} + \frac{V_a - V_c}{6k} = 0 \quad (2\text{점})$$

2점씩.

2) V_o/V_{in} 구하라

$$\textcircled{1} : 3V_a - 2V_b = V_{in}$$

$$\textcircled{3} : V_c = 2.5V_a$$

$$\textcircled{2} : -10V_a - 7V_b = 0$$

$$\begin{aligned} & 30V_a - 20V_b = 10V_{in} \\ & + \quad \underline{-30V_a - 21V_b = 0} \end{aligned}$$

$$-41V_b = 10V_{in}$$

$$\therefore V_b = -\frac{10}{41}V_{in}$$

$V_{out} = V_b$ 이므로,

$$\boxed{\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{10}{41}} \quad (4\text{점})$$

3) $V_{in} = 5V$ 일 때 V_x, V_y, V_o, i_x, i_y 구하라

① $V_o = -\frac{10}{41} \times 5 = \underline{-1.22V} \quad (27\frac{1}{2})$

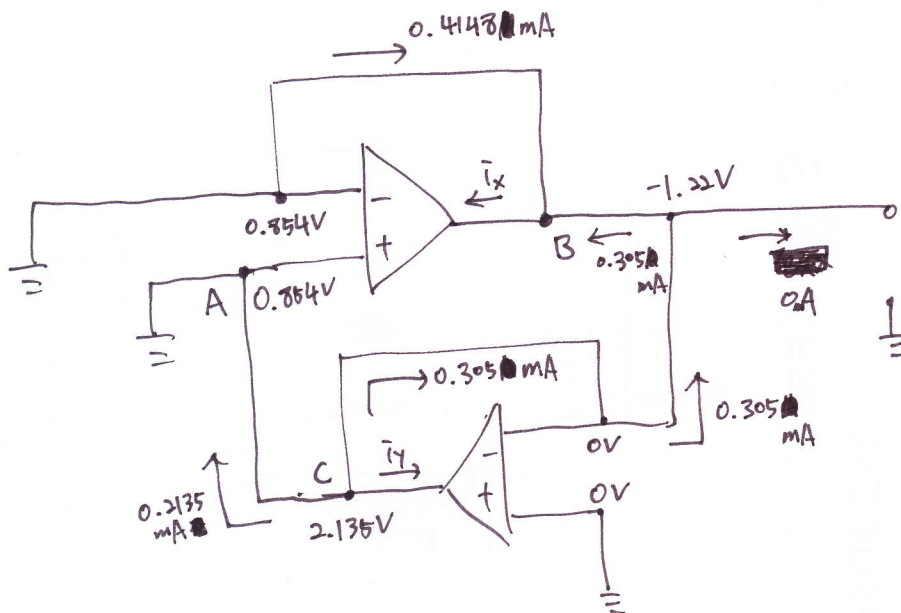
② $V_x = V_o = \underline{-1.22V} \quad (27\frac{1}{2})$

$V_a = -\frac{7}{10} V_b = -\frac{7}{10} V_o = -\frac{7}{10} \times (-1.22) = \underline{0.854V} \quad (27\frac{1}{2})$

\therefore ③ $V_y = V_c = 2.5 V_a = \underline{2.135V} \quad (27\frac{1}{2})$

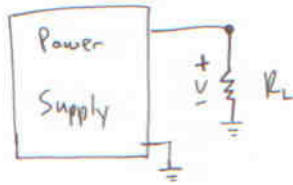
④ node C에 대해, $0.2135 + 0.305 + i_y = 0 \quad \therefore \underline{i_y = -0.5185mA} \quad (27\frac{1}{2})$

⑤ node B에 대해, $-0.4148 + i_x + (-0.305) = 0 \quad \therefore \underline{i_x = 0.7198mA} \quad (27\frac{1}{2})$



* 단상기 없으면 -1점씩

5

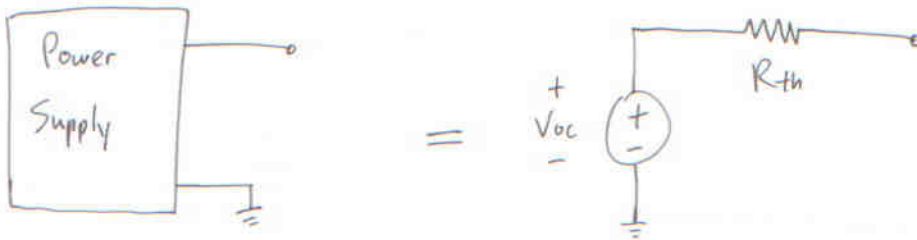


R_L	V
100Ω	$6V$
200Ω	$8V$
300Ω	$9V$

(a)

우선 power supply 의 등가 회로를 구해보자.

Power supply 의 thevenin 등가 회로를 그리면,



load R_L 을 연결했을 때 load 에 걸리는 전압 V 는

$V = V_{oc} \frac{R_L}{R_{th} + R_L}$ 이다. R_L 과 V 의 관계를 이식에 대입하면,

$$6 = V_{oc} \frac{100}{R_{th} + 100} \dots \textcircled{1}, \quad 8 = V_{oc} \frac{200}{R_{th} + 200} \dots \textcircled{2}$$

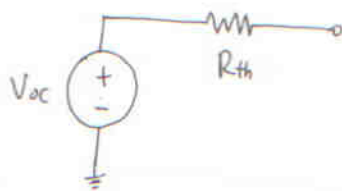
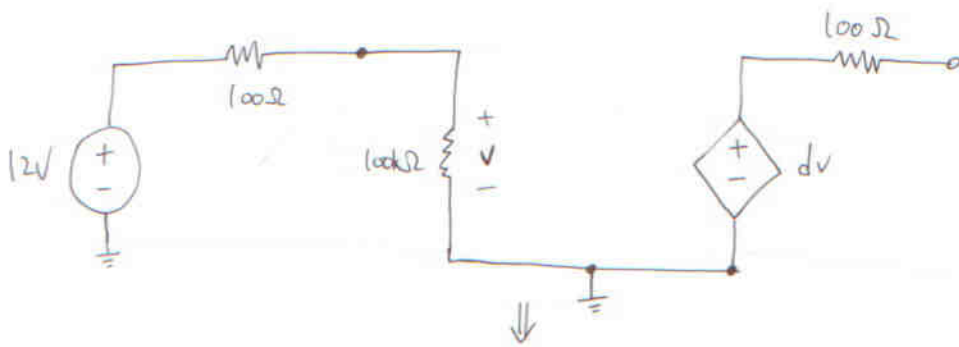
$$9 = V_{oc} \frac{300}{R_{th} + 300} \dots \textcircled{3}$$

$$\textcircled{2} \div \textcircled{1} \Rightarrow \frac{4}{3} = \frac{200}{R_{th} + 200} \cdot \frac{R_{th} + 100}{100} \Rightarrow 2R_{th} + 400 = 3R_{th} + 300$$

$$R_{th} = 100\Omega, \quad V_{oc} = 6 \cdot \frac{200}{100} = 12V$$

이는 $\textcircled{3}$ 이 대입해도 성립한다.

이제 power supply 에 증폭기를 연결한 회로의 등가회로를 구하자.



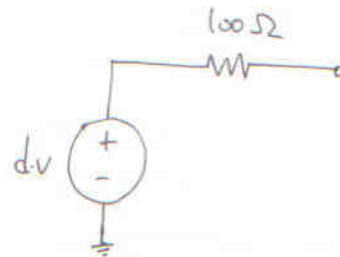
$$(R_{th} = \frac{V_{oc}}{i_{sc}})$$

$$V_{oc} = dv$$

$$i_{sc} = \frac{dv}{100\Omega} \Rightarrow R_{th} = 100\Omega$$

$$V = 12V \left(\frac{100k\Omega}{100k\Omega + 100\Omega} \right)$$

∴ 등가회로는 다음과 같다. →



이 회로에 200Ω 전열기가 연결되었을 때 전열기가 소모하는 전력은,

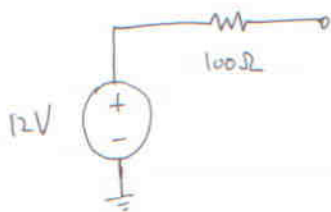
$$\frac{\left(dv \times \frac{200}{100+200} \right)^2}{200\Omega} \geq 320mW \text{ 이어야 한다.}$$

$$\therefore (dv)^2 \geq 320mW \times 200\Omega \times \left(\frac{3}{2} \right)^2 = 144$$

$$dv \geq 12V \text{ 이다.} \Rightarrow d \geq \frac{12V}{\left(12V \cdot \left(\frac{100k\Omega}{100k\Omega + 100} \right) \right)} = \frac{100.1k\Omega}{100k\Omega} = 1.001$$

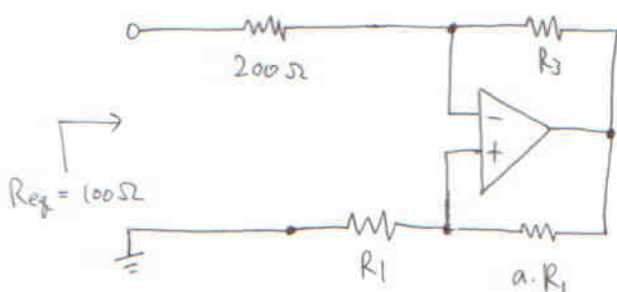
∴ d의 최소값은 1.001 이다.

(b) 증폭기의 등가 회로가 다음과 같으므로,

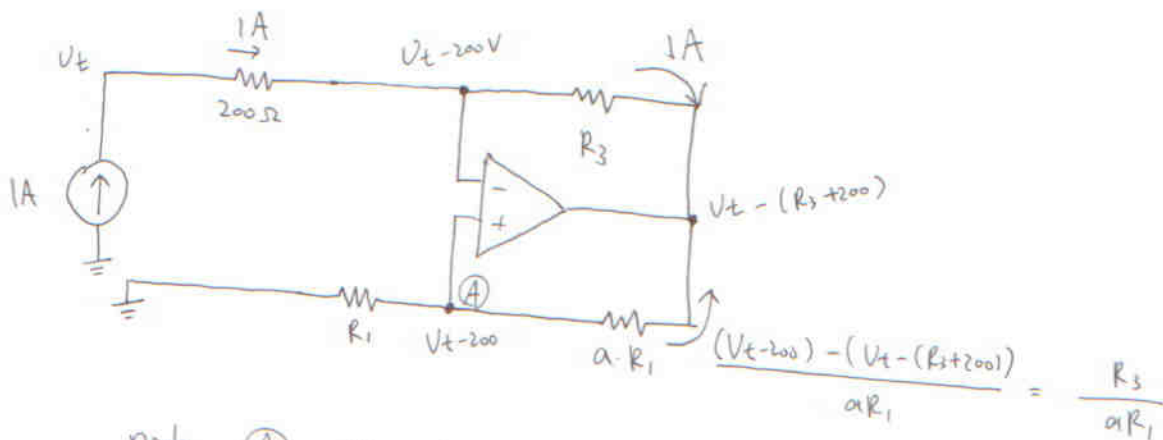


load가 최대 전력을 얻으기 위해서는 load의 저항값이 100Ω 이어야 한다. (\because Maximum power transfer)

즉 다음 회로의 등가 저항이 100Ω 이어야 한다.



1A test 전압계를 달면 (아래 단자는 ground) 다음과 같다.



node (A) 에서 KCL을 쓰면,

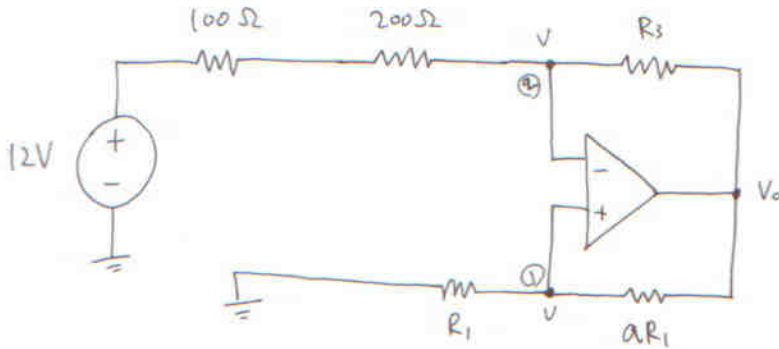
$$-\frac{V_t - 200}{R_1} - \frac{R_3}{aR_1} = 0 \quad V_t = 200 - R_3/a$$

$R_{eq} = 100\Omega$ 이므로 $V_t = 100V$ 이어야 한다. $\therefore \boxed{R_3/a = 100\Omega}$

이제 실제로 위의 회로가 Power supply + 증폭기에 연결되었을 때,

문제에서 언급된 모든 조건을 적용해보자.

(a - 양의 정수, $V_{sat} = \pm 14V$)



$$R_3/a = 100 \text{ (a는 양의 정수)}$$

$$-14V \leq V_o \leq 14V (\equiv V_{sat} = \pm 14V)$$

node 1의 전위 $V = V_o \cdot \frac{R_1}{(a+1)R_1} = \frac{V_o}{a+1}$ 이고,

node 2에서 KCL을 쓰면:

$$\frac{12 - \frac{V_o}{a+1}}{300} = \frac{\frac{V_o}{a+1} - V_o}{R_3} = \frac{-\frac{a}{a+1}V_o}{100a}$$

$$\rightarrow 12 - \frac{V_o}{a+1} = -\frac{3V_o}{a+1} \quad V_o = -6(a+1)$$

$$-14 \leq V_o \leq 14 \text{ 에서}$$

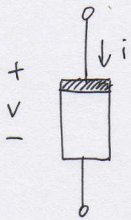
$$-14 \leq -6(a+1) \leq 14$$

a 가 양의 정수이므로 $\boxed{a=1}$ 이다.

$$R_3/a = 100 \text{ 이므로 } \boxed{R_3 = 100\Omega}$$

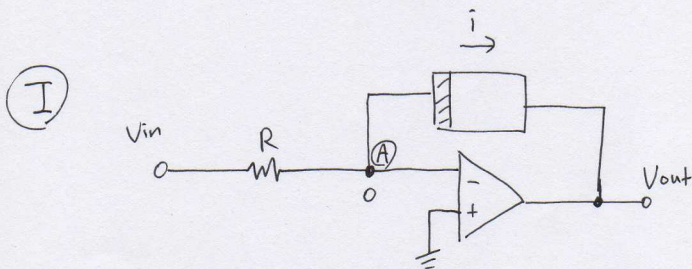
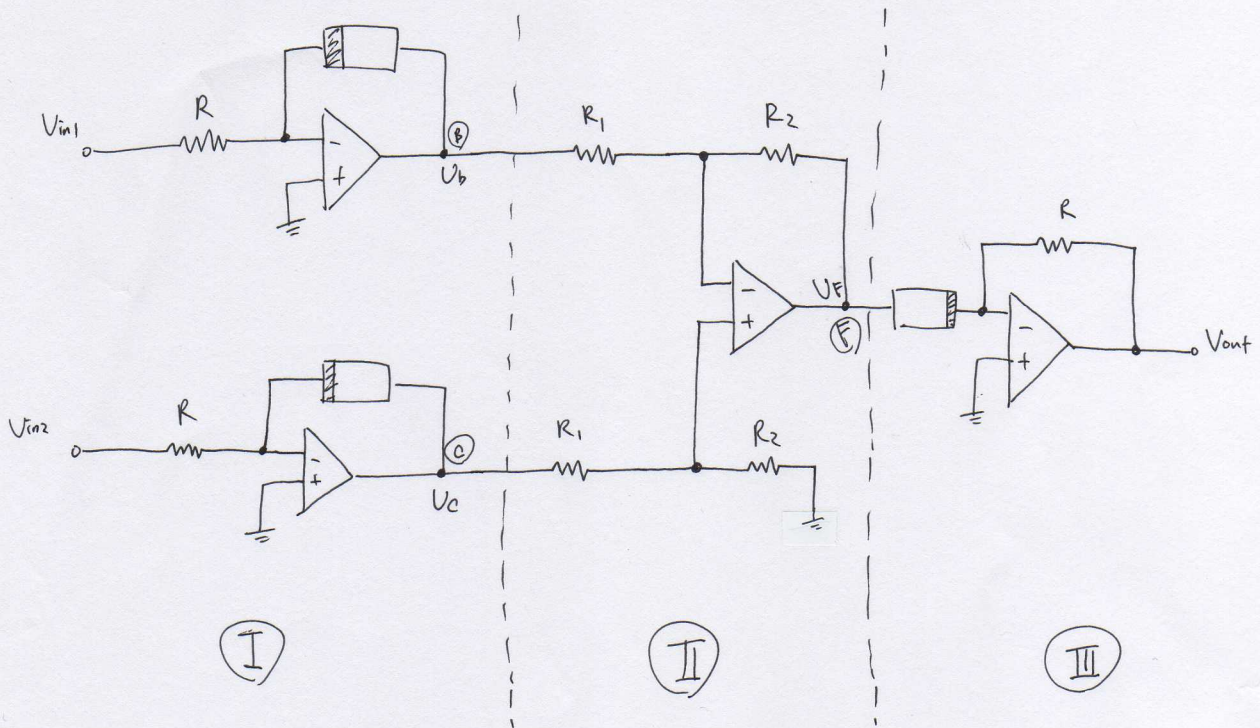
$\therefore a=1, R_3 = 100\Omega, R_1 = \text{임의의 값}$

6



$$i = I_0 e^{\alpha V}$$

이것을 크게 3 stages 나눌 수 있다.



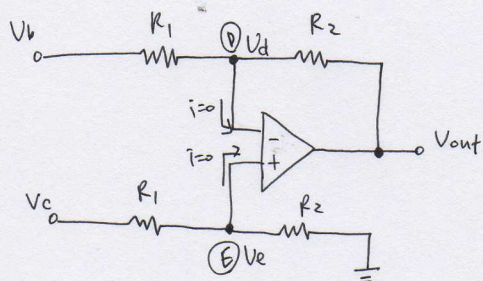
node A 에 전압이 0V 이므로

$$KCL: \frac{V_{in} - 0}{R} = I_0 e^{\alpha(0 - V_{out})} = I_0 e^{-\alpha V_{out}} \quad \therefore V_{out} = -\frac{1}{\alpha} \ln\left(\frac{V_{in}}{I_0 R}\right)$$

\approx (I) 의 node B, C 에 대해 전압 V_b, V_c 는 각각

$$V_b = -\frac{1}{\alpha} \ln\left(\frac{V_{in1}}{I_0 R}\right), \quad V_c = -\frac{1}{\alpha} \ln\left(\frac{V_{in2}}{I_0 R}\right) \text{ 이다.}$$

II



node E에서의 전압 $V_E = V_C \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ 이고, $V_D = V_E$ 이다.

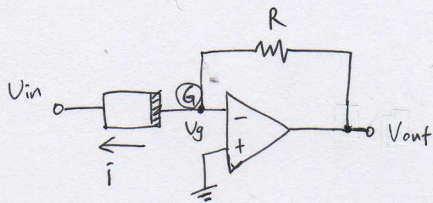
KCL at node D :
$$\frac{V_b - V_C \frac{R_2}{R_1 + R_2}}{R_1} = \frac{V_C \frac{R_2}{R_1 + R_2} - V_{out}}{R_2}$$

$$\begin{aligned} V_{out} &= V_C \frac{R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_2}{R_1} \cdot V_C \frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_2}{R_1} V_b = V_C \frac{R_2}{R_1 + R_2} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - \frac{R_2}{R_1} V_b \\ &= \frac{R_2}{R_1} V_C - \frac{R_2}{R_1} V_b = \frac{R_2}{R_1} (V_C - V_b) \end{aligned}$$

즉, II 에 node F에서의 전압 $V_F = \frac{R_2}{R_1} (V_C - V_b)$

$$= \frac{R_2}{R_1} \left(\frac{1}{\alpha} \ln \left(\frac{V_{in1}}{V_{in2}} \right) \right) \text{ 이다.}$$

III



node G 가라운드 전압 $V_g = 0$ 이다

KCL at node G

$$\therefore I_0 e^{\alpha(0 - V_{in})} = \frac{V_{out}}{R}$$

$$\therefore V_{out} = RI_0 e^{-\alpha V_{in}}$$

III) 이차

$$V_{out} = RI_0 e^{-\alpha V_f}$$

$$= RI_0 e^{-\alpha \left[\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{\alpha} \ln \left(\frac{V_{in1}}{V_{in2}} \right) \right]}$$

$$= RI_0 e^{-\frac{R_2}{R_1} \ln \left(\frac{V_{in1}}{V_{in2}} \right)}$$

$$= RI_0 e^{\ln \left(\frac{V_{in1}}{V_{in2}} \right)^{-R_2/R_1}}$$

$$= RI_0 e^{\ln \left(\frac{V_{in2}}{V_{in1}} \right)^{R_2/R_1}}$$

$$= \boxed{RI_0 \left(\frac{V_{in2}}{V_{in1}} \right)^{\frac{R_2}{R_1}}}$$

$$\therefore V_{out} = RI_0 \left(\frac{V_{in2}}{V_{in1}} \right)^{\frac{R_2}{R_1}}$$