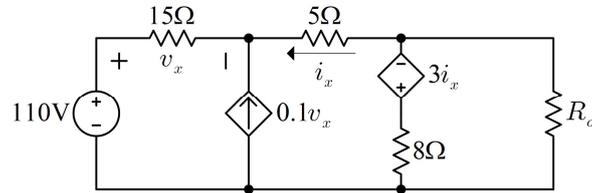


[제1문](계산기사용 가능)

그림과 같은 회로에서 다음 물음에 답하시오. (총 14점)

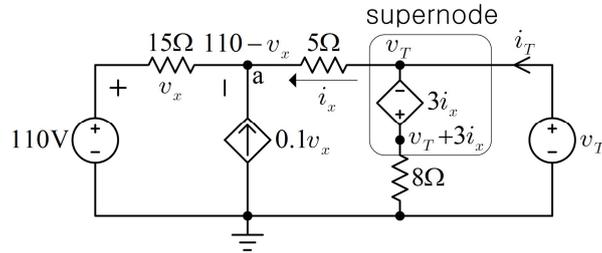


- 1) 부하저항(R_o)를 제외한 회로 나머지 부분에 대해서 테브냉(Thevenin) 등가회로를 그리시오. (10점)
- 2) 부하에 최대 전력을 전달하기 위한 R_o 값과 이때, R_o 에 전달되는 최대 전력을 구하시오. (4점)

[풀이]

I. 설문(1)

다음 회로에서

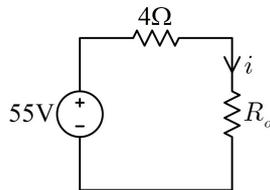


(1) 마디 a에 KCL을 적용하면 $\frac{v_x}{15} + 0.1v_x + i_x = 0$

(2) 초절점에 KCL을 적용하면 $i_T = \frac{v_T + 3i_x}{8} + i_x$

(3) $i_x = \frac{v_T - (110 - v_x)}{5}$

(4) 상기 (1)~(3)의 식을 연립하면 $v_T = 4i_T + 55$ 이므로 부하저항 R_o 에서 바라본 테브넵 등가저항 $R_{Th} = 4[\Omega]$, 테브넵 등가전압 $v_{Th} = 55[V]$ 이다.



II. 설문(2)

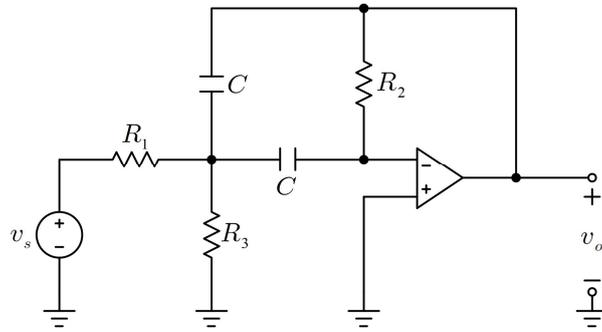
최대전력전달조건에 의해 $R_o = R_{Th} = 4[\Omega]$ 일 때, R_o 에 최대전력이 전달된다. 이때 부하전

류 $i = \frac{55}{4+4} = \frac{55}{8} [A]$ 이므로 최대전력은 $R_o i = 4 \times \left(\frac{55}{8}\right)^2 = \frac{3025}{16} = 189.063 [W]$

[제2문](계산기사용 가능)

그림과 같은 회로에서 다음 물음에 답하시오. (단, 연산증폭기는 이상적이다.)

(총 20점)

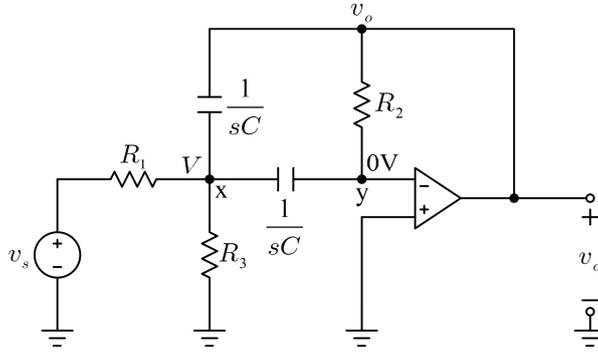


- 1) 위 회로의 전달함수 $\frac{v_o(s)}{v_s(s)}$ 를 구하시오. (10점)
- 2) 위 회로의 중심주파수 $\omega_o = 6400[\text{rad/s}]$ 에서 전압이득의 크기가 10이고 양호도 $Q = 4$ 인 대역통과필터가 되도록 저항 R_1, R_2, R_3 를 구하시오. (단, $C = 0.1[\mu\text{F}]$ 이다.) (10점)

[풀이]

I. 설문(1)

1. 전달함수는 모든 초기조건이 0인 상태에서 입력라플라스변환에 대한 출력라플라스변환이 비이다.
2. 다음 라플라스변환회로에서



(1) 마디 x에 KCL을 적용하면 $\frac{V-v_s}{R_1} + sC(V-v_o) + sC(V-0) + \frac{V}{R_3} = 0$

(2) 마디 y에 KCL을 적용하면 $sC(0-V) + \frac{0-v_o}{R_2} = 0$

(3) 상기 (1), (2)의 식을 연립하면 $v_o = -\frac{CR_2R_3s}{C^2R_1R_2R_3s^2 + 2CR_1R_3s + R_1 + R_3}v_s$ 이므로 전달

$$\text{함수 } H(s) = \frac{v_o(s)}{v_s(s)} = -\frac{\frac{1}{R_1C}s}{s^2 + \frac{2}{CR_2}s + \frac{R_1 + R_3}{C^2R_1R_2R_3}}$$

II. 설문(2)

중심주파수 $\omega_o = 6400[\text{rad/s}]$, 양호도 $Q = 4$ 이므로 대역폭 $\beta = \frac{\omega_o}{Q} = \frac{6400}{4} = 1600[\text{rad/s}]$ 이

다. 중심주파수에서 전압이득의 크기 $K = 10$ 이므로 주어진 조건을 만족시키는 전달함수는

$$H(s) = -\frac{K\beta s}{s^2 + \beta s + \omega_o^2} = -\frac{10 \times 1600 \times s}{s^2 + 1600s + 6400^2} = -\frac{16000s}{s^2 + 1600s + 40960000}$$
 이다.

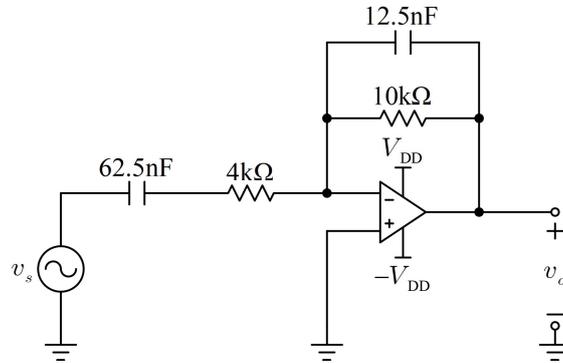
$$H(s) = -\frac{\frac{1}{R_1C}s}{s^2 + \frac{2}{CR_2}s + \frac{R_1 + R_3}{C^2R_1R_2R_3}} \quad (C = 0.1[\mu\text{F}]) \text{에서}$$

$$\frac{1}{R_1C} = 16000, \quad \frac{2}{CR_2} = 1600, \quad \frac{R_1 + R_3}{C^2R_1R_2R_3} = 40960000 \text{이므로 } R_1, R_2, R_3 \text{의 값은}$$

$$R_1 = \frac{1}{16000C} = 625[\Omega], \quad R_2 = \frac{1}{800C} = 12500[\Omega], \quad R_3 = \frac{1}{35200C} = \frac{3125}{11}[\Omega] = 284.091[\Omega]$$

[제3문](계산기사용 가능)

그림과 같은 회로에서 다음 물음에 답하시오. (단, 연산증폭기는 이상적이며, $V_{DD} = 5[V]$ 이다.) (총 30점)

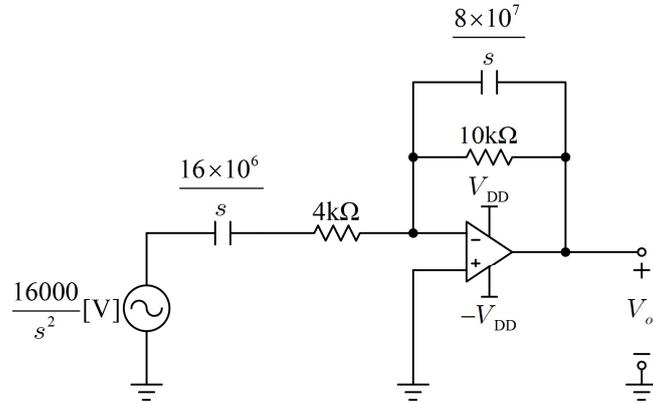


- 1) $v_s(t) = 16000tu(t)[V]$ 라고 할 때, $V_o(s)$ 와 $v_o(t)$ 를 구하시오. (단, $u(t)$ 는 단위 계단 함수이다.) (12점)
- 2) $t=0$ 에서 커패시터에 저장된 에너지가 0일 때, 연산증폭기 출력전압 $v_o(t)$ 가 포화될 때까지 시간을 구하시오. (6점)
- 3) 입력신호 $v_s(t) = mu(t)[V]$ 가 인가된다. $t=0$ 에서 커패시터에 저장된 에너지가 0일 때, $v_o(t)$ 의 절댓값이 최대가 되는 시간과 이때의 절댓값이 3[V]가 되도록 m 의 값을 구하시오. (단, $m > 0$ 이다.) (12점)

[풀이]

I. 설문(1)

$\mathcal{L}[v_s(t)] = \mathcal{L}[16000tu(t)] = \frac{16000}{s^2}$ 이므로 다음 라플라스변환회로에서



$$V_o = - \frac{\left(\frac{8 \times 10^7}{s} \parallel 10000 \right)}{\frac{16 \times 10^6}{s} + 4000} \times \frac{16000}{s^2}$$

$$= - \frac{32 \times 10^7}{s(s+4000)(s+8000)}$$

$$= - \frac{10}{s+8000} + \frac{20}{s+4000} - \frac{10}{s}$$

$$\therefore v_o(t) = \mathcal{L}^{-1}[V_o] = (-10e^{-8000t} + 20e^{-4000t} - 10)u(t) [\text{V}]$$

II. 설문(2)

$t > 0$ 에서

$$\frac{dv_o}{dt} = \frac{d}{dt}(-10e^{-8000t} + 20e^{-4000t} - 10)$$

$$= 8000e^{-8000t} - 8000e^{-4000t}$$

$$= 8000e^{-8000t}(1 - e^{4000t})$$

$$< 0 \quad (\because e^{4000t} > 1)$$

이므로 $v_o(t)$ 는 단조감소한다. 따라서 -5V 에 포화된다.

$$-10e^{-8000t} + 20e^{-4000t} - 10 = -5 \text{에서}$$

$$e^{-4000t} = x \quad (x < 1) \text{로 치환하면 } -10x^2 + 20x - 5 = 0$$

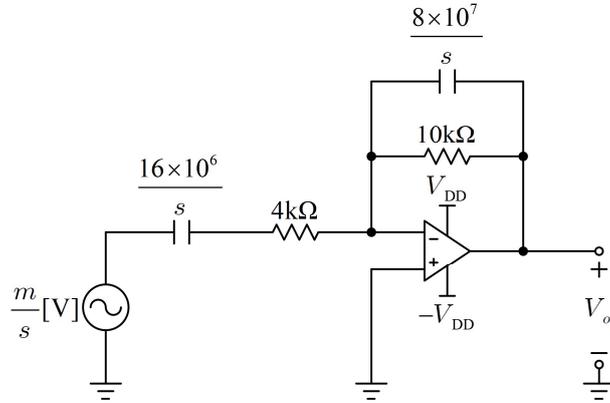
$$\therefore x = \frac{2 - \sqrt{2}}{2}$$

$$e^{-4000t} = \frac{2 - \sqrt{2}}{2} \text{를 풀면 } v_o(t) \text{가 포화될 때까지의 시간은}$$

$$t = \frac{1}{4000} \ln(2 + \sqrt{2}) = 306.987 [\mu\text{sec}]$$

III. 설문(3)

1. $\mathcal{L}[v_s(t)] = \mathcal{L}[mu(t)] = \frac{m}{s}$ 이므로 다음 라플라스변환회로에서



$$\begin{aligned}
 V_o &= -\frac{\left(\frac{8 \times 10^7}{s} \parallel 10000\right)}{\frac{16 \times 10^6}{s} + 4000} \times \frac{m}{s} \\
 &= -\frac{20000m}{(s+4000)(s+8000)} \\
 &= \frac{5m}{s+8000} - \frac{5m}{s+4000} \\
 \text{이므로 } v_o(t) &= \mathcal{L}^{-1}[V_o] = 5m(e^{-8000t} - e^{-4000t})u(t)[V]
 \end{aligned}$$

2. $t > 0$ 에서 $\frac{dv_o}{dt} = 5m(-8000e^{-8000t} + 4000e^{-4000t}) = 20000me^{-8000t}(-2 + e^{4000t})$

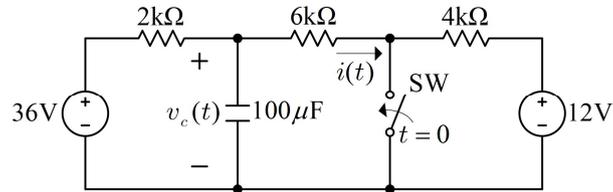
$$\frac{dv_o}{dt} = 0 \text{에서 } e^{4000t} = 2 \text{이므로 } t = \frac{\ln 2}{4000} = 173.287[\mu\text{sec}]$$

$\frac{dv_o}{dt}$ 의 부호는 $t = \frac{\ln 2}{4000}$ 의 좌우에서 음에서 양으로 바뀌므로 이때 $v_o(t)$ 는 극솟값을 가지고, $v_o(0) = 5m(1-1) = 0[V]$, $v_o(\infty) = 5m(0-0) = 0[V]$ 이므로 $|v_o(t)|$ 는 최대가 된다.

3. $\left|v_o\left(\frac{\ln 2}{4000}\right)\right| = \left|5m(e^{-2\ln 2} - e^{-\ln 2})\right| = \left|5m\left(e^{\ln \frac{1}{4}} - e^{\ln \frac{1}{2}}\right)\right| = \left|5m\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{2}\right)\right| = \frac{5}{4}m$
 따라서 $\frac{5}{4}m = 3$ 에서 $m = \frac{12}{5} = 2.4$

[제4문](계산기사용 가능)

그림과 같은 회로에서 스위치(SW)가 $t=0$ 에서 닫힐 때, 다음 물음에 답하시오.
(총 20점)

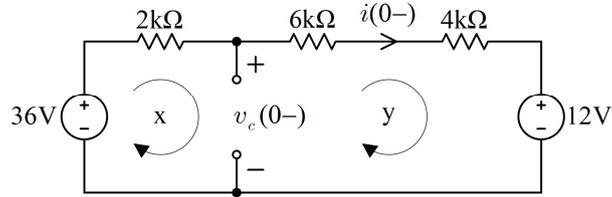


- 1) $t=0-$ 인 구간에서 $v_c(0-)$, $i(0-)$ 를 구하시오. (4점)
- 2) $t=0+$ 인 구간에서 $v_c(0+)$, $i(0+)$ 를 구하시오. (4점)
- 3) $t>0$ 인 구간에서 $v_c(t)$, $i(t)$ 를 구하시오. (단, 라플라스 변환을 이용하지 않는다.)
(12점)

[풀이]

I. 설문(1)

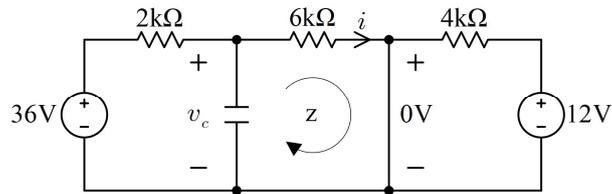
$t < 0$ 에서 직류전원이 계속 인가되었으므로 주어진 회로는 $t = 0^-$ 에서 직류정상상태이다. 다음 직류정상상태회로에서



1. 망로 x를 따라 KVL을 적용하면 $36 = 2000i(0^-) + v_c(0^-)$
2. 망로 y를 따라 KVL을 적용하면 $v_c(0^-) = (6000 + 4000)i(0^-) + 12$
3. 상기 1, 2의 식들을 연립하면 $v_c(0^-) = 32[V]$, $i(0^-) = 2[mA]$

II. 설문(2)

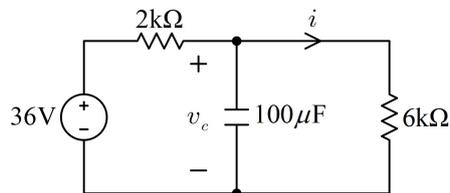
1. 커패시터의 전압연속성에 의해 $v_c(0^+) = v_c(0) = v_c(0^-) = 32[V]$



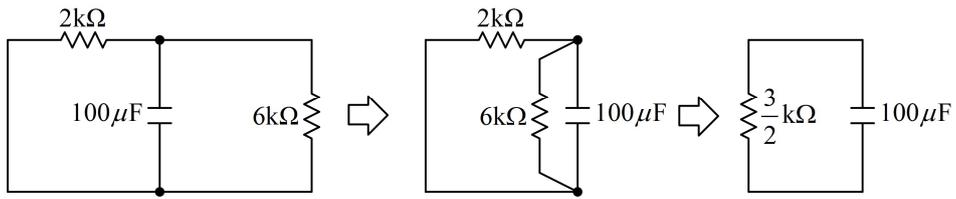
2. 상기 회로에서 망로 z를 따라 KVL을 적용하면 $v_c(0^+) = 6000i(0^+) + 0$
 $\therefore i(0^+) = \frac{32}{6000}[A] = \frac{2}{375}[A] = 5.333[mA]$

III. 설문(3)

다음 스위칭 후($t > 0$) 회로에 대하여



1. $t = \infty$ 에서 커패시터는 개방되므로 $v_c(\infty) = \frac{6000}{2000 + 6000} \times 36 = 27[V]$
2. 다음 등가변환에 의하여 시상수 $\tau = \frac{3}{2} \times 10^3 \times 100 \times 10^{-6} = \frac{3}{20}[sec]$

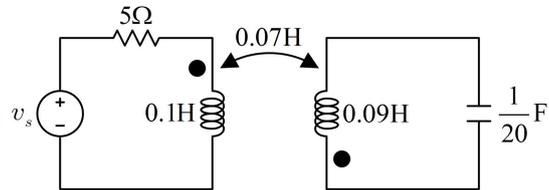


3. 따라서 $v_c(t) = 27 + (32 - 27)e^{-\frac{t}{\tau}} = 27 + 5e^{-\frac{20}{3}t}$ [V] ($t > 0$)

$$i(t) = \frac{v_c(t)}{6000} = \frac{9}{2000} + \frac{1}{1200}e^{-\frac{20}{3}t}$$
 [A] = $\frac{9}{2} + \frac{5}{6}e^{-\frac{20}{3}t}$ [mA] ($t > 0$)

[제5문](계산기사용 가능)

그림과 같은 회로에서 다음 물음에 답하시오. (총 16점)



- 1) 두 인덕터의 결합계수(Coefficient of coupling) k 를 구하시오. (4점)
- 2) 전압이 $v_s(t) = 60\cos(100t + 30^\circ)[V]$ 일 때, $t = 1[s]$ 에서 상호 결합된 인덕터(Coupled inductor)에 저장된 총 에너지를 구하시오. (12점)

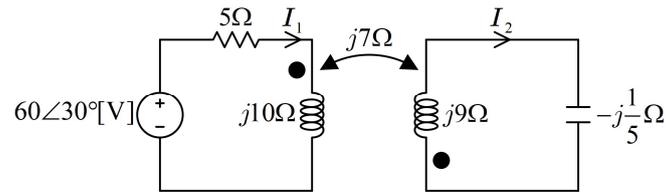
[풀이]

I. 설문(1)

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} = \frac{0.07}{\sqrt{0.1 \times 0.09}} = \frac{7\sqrt{10}}{30} = 0.737865$$

II. 설문(2)

1. 다음 폐이저회로에서



(1) 전류 I_1 을 따라 KVL을 적용하면 $60 \angle 30^\circ = 5I_1 + j10I_1 + j7I_2$

(2) 전류 I_2 를 따라 KVL을 적용하면 $0 = -j\frac{1}{5}I_2 + j9I_2 + j7I_1$

(3) 상기 (1), (2)의 식을 연립하면 $I_1 = \frac{264(44\sqrt{3} + 39)}{3457} - j\frac{264(39\sqrt{3} - 44)}{3457} [\text{A}]$,

$$I_2 = -\frac{210(44\sqrt{3} + 39)}{3457} + j\frac{210(39\sqrt{3} - 44)}{3457} [\text{A}] \text{이므로}$$

(4) $i_1(t) = \frac{264(44\sqrt{3} + 39)}{3457} \cos 100t + \frac{264(39\sqrt{3} - 44)}{3457} \sin 100t [\text{A}]$,

$$i_2(t) = -\frac{210(44\sqrt{3} + 39)}{3457} \cos 100t - \frac{210(39\sqrt{3} - 44)}{3457} \sin 100t [\text{A}]$$

2. 설문(1)의 결과로부터 상호 결합된 인덕터에 저장된 총에너지는

$$E(t) = \frac{1}{2} \times 0.1 \times i_1^2 + 0.07 i_1 i_2 + \frac{1}{2} \times 0.09 \times i_2^2$$

$$= \frac{3177}{23901698} \{ (44\sqrt{3} + 39) \cos 100t + (39\sqrt{3} - 44) \sin 100t \}^2 [\text{J}]$$

이므로 $E(1) = 1.01588 [\text{J}]$