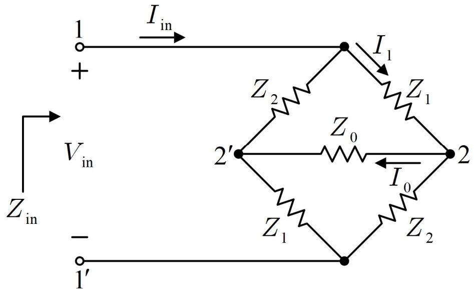
[문제-1]

다음 회로에 관한 질문에 답하시오.



(1) 위 회로도에서 $Z_0 = 0[\Omega]$와 $Z_0 = \infty[\Omega]$일 때 전압 V_{in}과 전류 I_{in}의 비율인 입력 임피던스 Z_{in}을 각각 유도하시오. (6점)

(2) Z_0가 $0[\Omega]$이 아닌 양의 실수 값일 때 $Z_{in} = \dfrac{V_{in}}{I_{in}}$을 유도하시오. (14점)

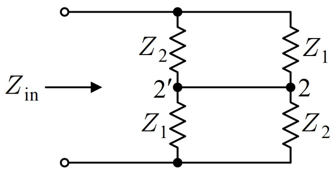
(3) 물음(2)의 결과식을 이용하여 $Z_{in} = Z_0$가 되기 위한 조건을 유도하시오. (10점)

[풀이]

Ⅰ. 설문(1)

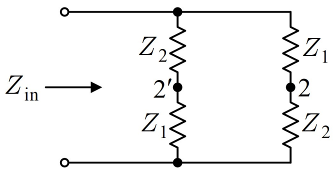
1. $Z_0 = 0[\Omega]$일 때 $2'-2$단자는 오른쪽 회로와 같이 단락되므로 입력 임피던스는

$$Z_{\text{in}} = (Z_2 \| Z_1) + (Z_1 \| Z_2) = \frac{2Z_1Z_2}{Z_1+Z_2}[\Omega]$$



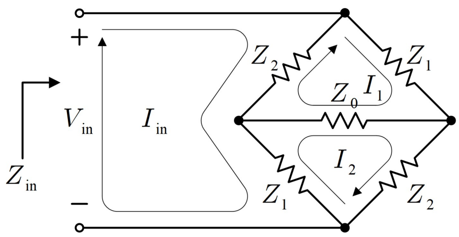
2. $Z_0 = \infty[\Omega]$일 때 $2'-2$단자는 오른쪽 회로와 같이 개방되므로 입력 임피던스는

$$Z_{\text{in}} = (Z_2+Z_1) \| (Z_1+Z_2) = \frac{Z_1+Z_2}{2}[\Omega]$$



Ⅱ. 설문(2)

다음 회로에서



1. 망로전류 I_{in}을 따라 KVL을 적용하면 $V_{\text{in}} = Z_2(I_{\text{in}} - I_1) + Z_1(I_{\text{in}} - I_2)$
2. 망로전류 I_1을 따라 KVL을 적용하면 $0 = Z_1I_1 + Z_0(I_1 - I_2) + Z_2(I_1 - I_{\text{in}})$
3. 망로전류 I_2를 따라 KVL을 적용하면 $0 = Z_1(I_2 - I_{\text{in}}) + Z_0(I_2 - I_1) + Z_2I_2$
4. 상기 1~3의 결과식을 연립하면 $I_{\text{in}} = \dfrac{V_{\text{in}}(2Z_0 + Z_1 + Z_2)}{Z_0(Z_1+Z_2) + 2Z_1Z_2}[\text{A}]$이므로

$$Z_{\text{in}} = \frac{V_{\text{in}}}{I_{\text{in}}} = \frac{Z_0(Z_1+Z_2)+2Z_1Z_2}{2Z_0+Z_1+Z_2}[\Omega]$$

Ⅲ. 설문(3)

$Z_{\text{in}} = \dfrac{Z_0(Z_1+Z_2)+2Z_1Z_2}{2Z_0+Z_1+Z_2} = Z_0$에서

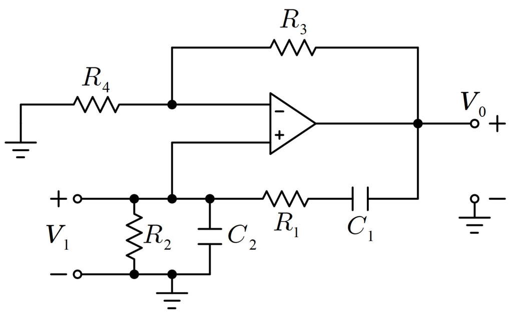
$Z_0(Z_1+Z_2) + 2Z_1Z_2 = 2Z_0^2 + Z_0(Z_1+Z_2)$

$2Z_1Z_2 = 2Z_0^2$이므로 구하는 조건은

$Z_0^2 = Z_1Z_2$

[문제-2]

이상적인 연산 증폭기로 구성된 회로에 관하여 다음 물음에 답하시오.



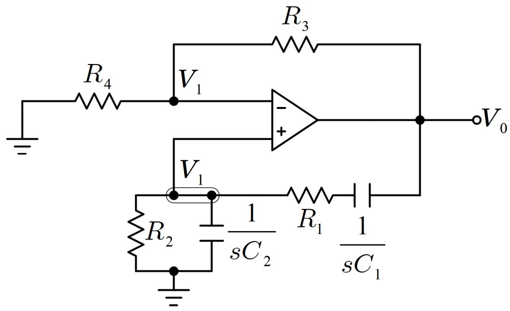
(1) 전압 V_1과 V_0의 비율인 $\dfrac{V_1}{V_0}$을 유도하시오. (6점)

(2) 물음(1)의 결과를 이용하여 V_1과 V_0가 동위상이 될 때 각속도 ω를 유도하시오. (단, ω를 R_1, R_2, C_1, C_2로 표현하시오.) (8점)

(3) 위의 회로에서 $R_1 = R_2 = R_4 = 10[\mathrm{k}\Omega]$, $C_1 = C_2 = 200[\mathrm{pF}]$일 때 공진이 일어났다. 이때 공진주파수와 R_3를 구하시오. (단, 공진주파수는 소수점 이하 첫째자리에서 반올림하며, R_3는 공진이 일어날 수 있는 최솟값으로 한다.) (6점)

[풀이]

Ⅰ. 설문(1)



$s = j\omega$

상기 회로에서 연산 증폭기의 비반전입력단자(＋입력단자)에 KCL을 적용하면

$\dfrac{V_1}{R_2} + sC_2V_1 + \dfrac{V_1 - V_0}{R_1 + \dfrac{1}{sC_1}} = 0$이므로

$$V_1 = \frac{sC_1R_2}{s^2C_1C_2R_1R_2 + s(C_1R_1 + C_1R_2 + C_2R_2) + 1}V_0$$

$$\therefore\ \frac{V_1}{V_0} = \frac{j\omega C_1R_2}{1 - \omega^2C_1C_2R_1R_2 + j\omega(C_1R_1 + C_1R_2 + C_2R_2)}$$

Ⅱ. 설문(2)

V_1, V_0이 동위상이므로 $\angle\dfrac{V_1}{V_0} = \angle V_1 - \angle V_0 = 0$이다. 즉, $\dfrac{V_1}{V_0}$이 양의 실수이다.

$\dfrac{V_1}{V_0} = \dfrac{j\omega C_1R_2}{1 - \omega^2C_1C_2R_1R_2 + j\omega(C_1R_1 + C_1R_2 + C_2R_2)}$에서 분자가 양의 순허수이므로 분모가 양의 순허수이면 $\dfrac{V_1}{V_0}$이 양의 실수이다. 따라서 분모의 실수부는 0이면 V_1, V_0이 동위상이므로 $1 - \omega^2C_1C_2R_1R_2 = 0$에서 각속도 $\omega = \dfrac{1}{\sqrt{C_1C_2R_1R_2}}$[rad/sec]

Ⅲ. 설문(3)

1. $\omega = \dfrac{1}{\sqrt{C_1C_2R_1R_2}}$일 때 $\dfrac{V_1}{V_0} = \dfrac{C_1R_2}{C_1R_1 + C_1R_2 + C_2R_2}$이고 여기에 $C_2 = C_1$, $R_2 = R_1$을 대입하면 $\dfrac{V_1}{V_0} = \dfrac{C_1R_1}{C_1R_1 + C_1R_1 + C_1R_1} = \dfrac{1}{3}$

2. 연산 증폭기의 반전입력단자(－입력단자)에 KCL을 적용하면 $\dfrac{V_1}{R_4} + \dfrac{V_1 - V_0}{R_3} = 0$이므로 이를 풀면 $V_0 = \left(1 + \dfrac{R_3}{R_4}\right)V_1$이다. 따라서 연산 증폭기의 출력 V_0가 연산증폭기의 비반전

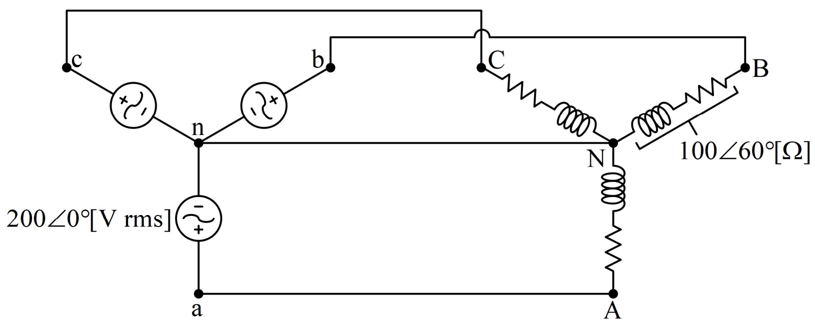
입력단자(+입력단자)로 피드백 된 후 다시 반전입력단자(−입력단자)를 거쳐 출력단자로 증폭되기까지(one cycle)의 총 이득(overall gain)은 $\frac{1}{3}\times\left(1+\frac{R_3}{R_4}\right)$이다.

3. 따라서 발진(oscillation)이 일어날 조건(바크하우젠 판별법: Barkhausen criteria)은 $\frac{1}{3}\times\left(1+\frac{R_3}{R_4}\right)\geq 1$에서 $1+\frac{R_3}{R_4}\geq 3$이므로 $R_3 \geq 2R_4$

4. 따라서 발진주파수 $\omega=\frac{1}{\sqrt{C_1^2 R_1^2}}=\frac{1}{C_1 R_1}=500[\mathrm{krad/sec}]$, 발진이 일어나기 위한 저항 R_3의 최솟값은 $R_3=2R_4=20[\mathrm{k}\Omega]$

[문제-3]

그림과 같이 상전압이 $V_{an}=200\angle 0°$[V], $V_{bn}=200\angle 120°$[V], $V_{cn}=200\angle 240°$[V]인 평형 3상 회로에 관한 다음 물음에 답하시오.



(1) 상전압 V_{an}을 기준으로 선간전압 V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}를 각각 구하고, 상전압과 선간전압을 나타내는 페이저도를 도시하시오. (10점)

(2) 시간영역에서 a상의 전압이 $v_{AN}=200\sqrt{2}\cos(120\pi t+0°)$[V], 전류가 $i_{AN}=2\sqrt{2}\cos(120\pi t-60°)$[A]일 때 각 상에서 소비되는 순시전력과 전체 부하에서 소비되는 순시전력을 각각 구하시오. (13점)

(3) 상기 3상 부하에 각 상마다 200[W]씩 전등부하가 병렬로 추가되었을 경우 선전류 I_a, I_b, I_c를 구하시오. (7점)

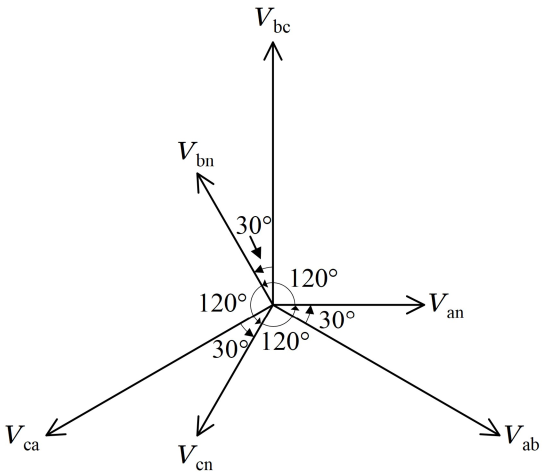
[풀이]

Ⅰ. 설문(1)

$\boldsymbol{V}_{ab}=\boldsymbol{V}_{an}-\boldsymbol{V}_{bn}=200\angle 0^{o}-200\angle 120^{o}=300-j100\sqrt{3}=200\sqrt{3}\angle -30^{o}$[Vrms],

$\boldsymbol{V}_{bc}=\boldsymbol{V}_{bn}-\boldsymbol{V}_{cn}=200\angle 120^{o}-200\angle 240^{o}=j200\sqrt{3}=200\sqrt{3}\angle 90^{o}$[Vrms],

$\boldsymbol{V}_{ca}=\boldsymbol{V}_{cn}-\boldsymbol{V}_{an}=200\angle 240^{o}-200\angle 0^{o}=-300-j100\sqrt{3}=200\sqrt{3}\angle -150^{o}$[Vrms]이므로 상전압, 선간전압의 페이저도는 아래와 같다.



Ⅱ. 설문(2)

1. A, B, C 상에서 소비되는 순시전력을 각각 $p_{A}(t)$, $p_{B}(t)$, $p_{C}(t)$라 하면

$$\begin{aligned} p_{A}(t) &= 200\sqrt{2}\cos(120\pi t)\times 2\sqrt{2}\cos(120\pi t-60^{o}) \\ &= 800\cos(120\pi t)\cos(120\pi t-60^{o}) \\ &= 400\{\cos(240\pi t-60^{o})+\cos 60^{o}\} \\ &= 200+400\cos(240\pi t-60^{o})[\mathrm{W}] \end{aligned}$$

2. $v_{BN}=200\sqrt{2}\cos(120\pi t+120^{o})$[V], $i_{BN}=2\sqrt{2}\cos(120\pi t+60^{o})$[A]이므로(역상순)

$$\begin{aligned} p_{B}(t) &= 200\sqrt{2}\cos(120\pi t+120^{o})\times 2\sqrt{2}\cos(120\pi t+60^{o}) \\ &= 800\cos(120\pi t+120^{o})\cos(120\pi t+60^{o}) \\ &= 400\{\cos(240\pi t+180^{o})+\cos 60^{o}\} \\ &= 200+400\cos(240\pi t+180^{o})[\mathrm{W}] \end{aligned}$$

3. $v_{CN}=200\sqrt{2}\cos(120\pi t+240^{o})$[V], $i_{CN}=2\sqrt{2}\cos(120\pi t+180^{o})$[A]이므로(역상순)

$$\begin{aligned} p_{C}(t) &= 200\sqrt{2}\cos(120\pi t-120^{o})\times 2\sqrt{2}\cos(120\pi t+180^{o}) \\ &= 800\cos(120\pi t-120^{o})\cos(120\pi t+180^{o}) \\ &= 400\{\cos(240\pi t+60^{o})+\cos(-300^{o})\} \\ &= 200+400\cos(240\pi t+60^{o})[\mathrm{W}] \end{aligned}$$

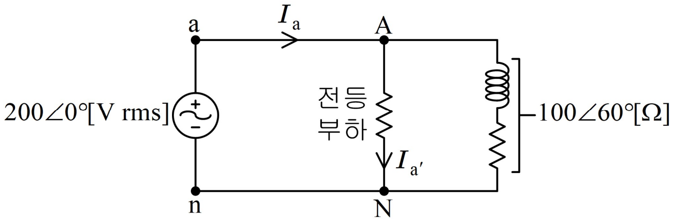
4. 상기 1~3의 결과로부터 전체부하에서 소비하는 순시전력 $p(t)$는

$$\begin{aligned} p(t) &= p_{\mathrm{A}}(t) + p_{\mathrm{B}}(t) + p_{\mathrm{C}}(t) \\ &= 600 + 400\{\cos(240\pi t - 60^{\circ}) + \cos(240\pi t + 180^{\circ}) + \cos(240\pi t + 60^{\circ})\} \\ &= 600 + 400\{\cos(240\pi t)\cos 60^{\circ} + \sin(240\pi t)\sin 60^{\circ} - \cos(240\pi t) \\ &\qquad + \cos(240\pi t)\cos 60^{\circ} - \sin(240\pi t)\sin 60^{\circ}\} \\ &= 600 + 400\left\{\frac{1}{2}\cos(240\pi t) - \cos(240\pi t) + \frac{1}{2}\cos(240\pi t)\right\} \\ &= 600[\mathrm{W}] \end{aligned}$$

(즉, 교류회로이지만 순시전력이 일정하다.)

Ⅲ. 설문(3)

전구가 흡수하는 상당복소전력은 $200 + j0[\mathrm{VA}]$이므로 다음 단상등가회로(a상 기준)에서 전등부하의 상전류는 $200 + j0 = 200\angle 0^{\circ} \times I_{a'}^{*}$ 에서 $I_{a'} = 1\angle 0^{\circ}[\mathrm{Arms}] = 1 + j0[\mathrm{Arms}]$



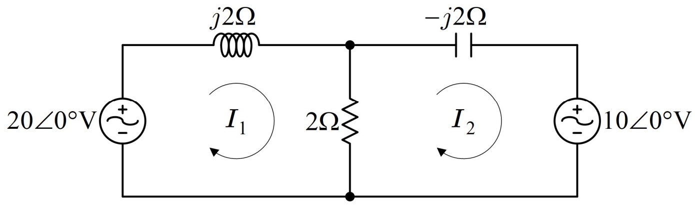
따라서 $I_a = \dfrac{200}{100\angle 60^{\circ}} + I_{a'} = 2 - j\sqrt{3} = \sqrt{7}\angle -\tan^{-1}\dfrac{\sqrt{3}}{2} = 2.65\angle -40.89^{\circ}[\mathrm{Arms}]$

$I_b = I_a \times 1\angle 120^{\circ} = \dfrac{1}{2} + j\dfrac{3\sqrt{3}}{2} = \sqrt{7}\angle \tan^{-1} 3\sqrt{3} = 2.65\angle 79.11^{\circ}[\mathrm{Arms}]$

$I_c = I_a \times 1\angle 240^{\circ} = -\dfrac{5}{2} - j\dfrac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{7}\angle\left(-\pi + \tan^{-1}\dfrac{\sqrt{3}}{5}\right) = 2.65\angle -160.89^{\circ}[\mathrm{Arms}]$

[문제-4]

다음 회로에 관해 물음에 답하시오. (단, 소수점 이하 셋째자리에서 반올림한다.)



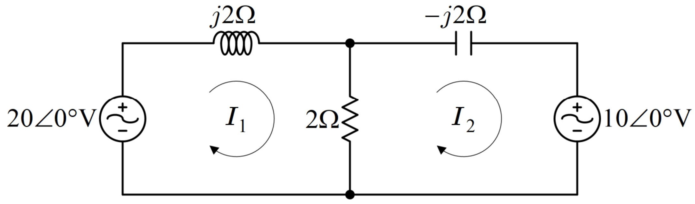
(1) 메쉬(mesh)해석법을 이용한 풀이과정을 쓰고, 전류 I_1, I_2를 구하시오. (7점)

(2) 노드(node)해석법을 이용한 풀이과정을 쓰고, 전류 I_1, I_2를 구하시오. (7점)

(3) 저항 $2[\Omega]$에 소요되는 평균전력을 구하시오. (6점)

[풀이]

Ⅰ. 설문(1)



1. 상기 회로의 망로전류 I_1을 따라 KVL을 적용하면 $20 = j2I_1 + 2(I_1 - I_2)$

2. 망로전류 I_2를 따라 KVL을 적용하면 $0 = -j2I_2 + 10 + 2(I_2 - I_1)$

3. 상기 1, 2의 결과식을 연립하면

(1) $I_1 = 5 - j10 = 5\sqrt{2}\angle -\tan^{-1}2 = 11.18\angle -63.43^{\circ}[\mathrm{A}]$

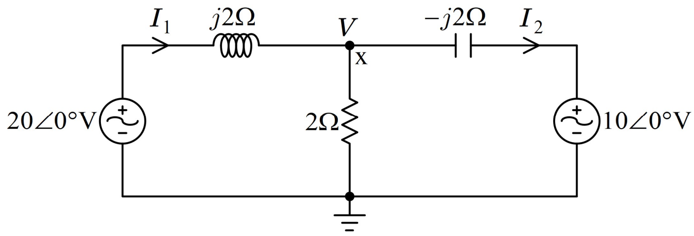
(2) $I_2 = 5 - j5 = 5\sqrt{2}\angle -45^{\circ} = 7.07\angle -45^{\circ}[\mathrm{A}]$

Ⅱ. 설문(2)

다음 회로의 마디 x에 KCL을 적용하면 $\dfrac{V-20}{j2} + \dfrac{V}{2} + \dfrac{V-10}{-j2} = 0$이므로 $V = -j10[\mathrm{V}]$

따라서 $I_1 = \dfrac{20-V}{j2} = 5 - j10 = 5\sqrt{2}\angle -\tan^{-1}2 = 11.18\angle -63.43^{\circ}[\mathrm{A}]$,

$I_2 = \dfrac{V-10}{-j2} = 5 - j5 = 5\sqrt{2}\angle -45^{\circ} = 7.07\angle -45^{\circ}[\mathrm{A}]$

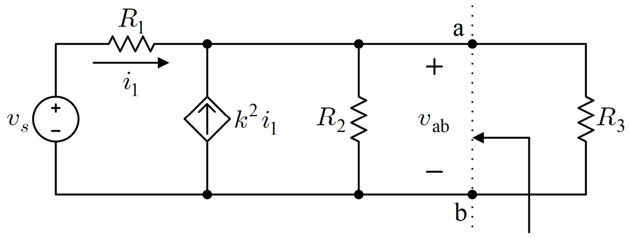


Ⅲ. 설문(3)

문항(2)의 결과로부터 $P_{2\Omega} = \dfrac{|V|^2}{2\times 2} = \dfrac{100}{4} = 25[\mathrm{W}]$

[제1문](계산기사용 불가능)

그림과 같은 회로에 대해 다음 물음에 답하시오. (단, $v_s = 100[\mathrm{V}]$, $R_1 = R_2 = R$, $k > 0$ 이다.) (총 18점)

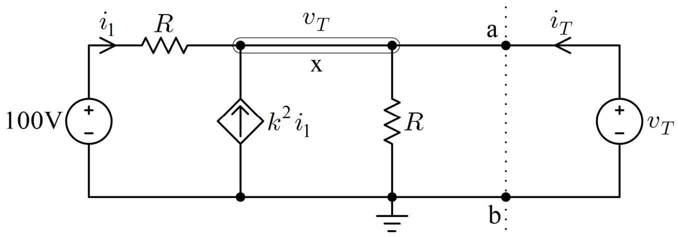


1) 단자 a－b에서 왼쪽으로 본 회로의 테브냉(Thevenin) 등가회로를 그리시오.(10점)

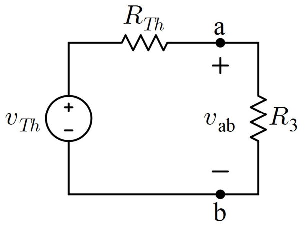
2) 부하 저항 R_3가 17.5[Ω]일 때 v_{ab}는 35[V]가 되고, R_3가 55[Ω]일 때 v_{ab}가 55[V]가 되는 경우, k와 R의 값을 구하시오.(8점)

[풀이]

Ⅰ. 설문(1)



a－b단자에 저항 R_3 대신 테스트전원을 연결한 상기 회로에서 $i_1 = \dfrac{100 - v_T}{R}$이고 마디 x에 KCL을 적용하면 $i_1 + k^2 i_1 + i_T = \dfrac{v_T}{R}$이므로 두 식을 연립하면 $v_T = \dfrac{R}{k^2+2} i_T + \dfrac{100(k^2+1)}{k^2+2}$이다. 따라서 단자 a－b에서 왼쪽으로 본 회로의 테브냉 등가전압 $v_{Th} = \dfrac{100(k^2+1)}{k^2+2}[\mathrm{V}]$, 테브냉 등가저항 $R_{Th} = \dfrac{R}{k^2+2}[\Omega]$이므로 테브냉 등가회로는 아래와 같다.



$$v_{Th} = \frac{100\left(k^2+1\right)}{k^2+2}[\mathrm{V}]$$

$$R_{Th} = \frac{R}{k^2+2}[\Omega]$$

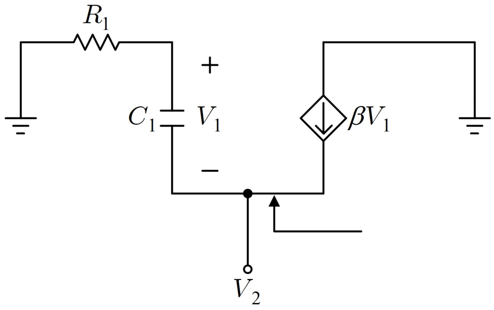
Ⅱ. 설문(2)

상기 등가회로에서 전압분배법칙에 의해 $35 = \dfrac{17.5}{R_{Th}+17.5} v_{Th}$, $55 = \dfrac{55}{R_{Th}+55} v_{Th}$이므로 두 식을 연립하면 $R_{Th} = 20[\Omega]$, $v_{Th} = 75[\mathrm{V}]$이다.

따라서 $v_{Th} = \dfrac{100(k^2+1)}{k^2+2} = 75$, $R_{Th} = \dfrac{R}{k^2+2} = 20\,(k>0)$을 연립하면 $k = \sqrt{2}$, $R = 80[\Omega]$

[제2문](계산기사용 불가능)

그림과 같은 회로에서 V_2절점에서 본 임피던스를 구하려고 한다. 다음 물음에 답하시오. (단, $\beta > 0$이다.) (총 30점)

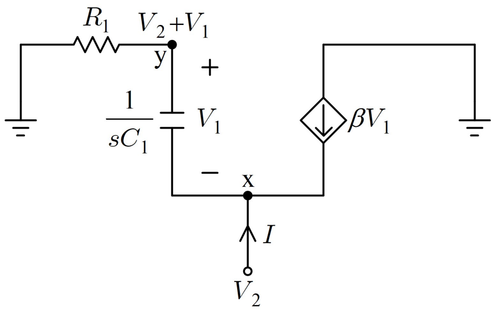


1) V_2절점에서 본 임피던스 전달함수를 구하시오.(14점)
2) 매우 낮은 주파수 ($\omega = 0$[rad/s])와 매우 높은 주파수 ($\omega = \infty$[rad/s])에서 각각 임피던스의 크기를 구하시오.(8점)
3) 이 임피던스가 유도성 리액턴스 특성을 갖기 위한 β와 R_1 사이의 관계식을 구하시오.(8점)

[풀이]

Ⅰ. 설문(1)

다음 라플라스변환회로에서 마디 x, y에 KCL을 각각 적용하면 $sC_1V_1+\beta V_1+I=0$, $\dfrac{V_2+V_1}{R_1}+sC_1V_1=0$이므로 이를 V_1, V_2에 관하여 연립하면 $V_2=\dfrac{C_1R_1s+1}{sC_1+\beta}I$이다. 따라서 V_2절점에서 본 임피던스 전달함수는 $Z(s)=\dfrac{V_2}{I}=\dfrac{sC_1R_1+1}{sC_1+\beta}[\Omega]$



Ⅱ. 설문(2)

$Z(j\omega)=\dfrac{j\omega C_1R_1+1}{j\omega C_1+\beta}[\Omega]$이므로

$Z(j0)=\dfrac{1}{\beta}[\Omega]$,

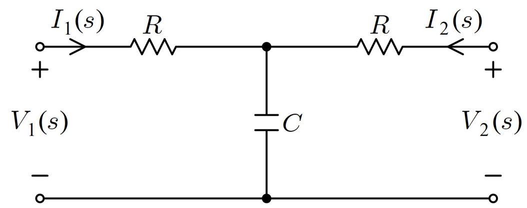
$$Z(j\infty)=\lim_{\omega\to\infty}\frac{C_1R_1+\dfrac{1}{j\omega}}{C_1+\dfrac{\beta}{j\omega}}=\frac{C_1R_1}{C_1}=R_1[\Omega]$$

Ⅲ. 설문(3)

$Z(j\omega)=\dfrac{j\omega C_1R_1+1}{j\omega C_1+\beta}=\dfrac{\omega^2C_1^2R_1+\beta}{\omega^2C_1^2+\beta^2}+j\dfrac{\omega C_1(\beta R_1-1)}{\omega^2C_1^2+\beta^2}[\Omega]$이고 $\mathrm{Im}[Z(j\omega)]>0$이면 이 임피던스는 유도성이므로 $\beta R_1-1>0$에서 β와 R_1 사이의 관계식은 $R_1>\dfrac{1}{\beta}[\Omega]$

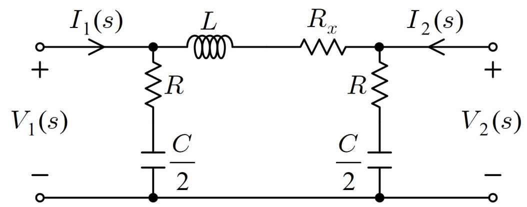
[제3문](계산기사용 불가능)

그림과 같은 회로에 대해 다음 물음에 답하시오. (총 12점)



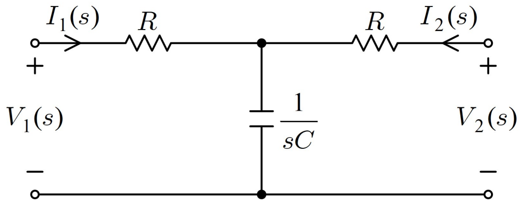
1) 위 회로의 Y파라미터(어드미턴스)를 구하시오.(6점)

2) 아래 회로가 위 회로와 등가회로가 되도록 인덕턴스 L과 저항 R_x의 값을 구하시오.(6점)



[풀이]

Ⅰ. 설문(1)

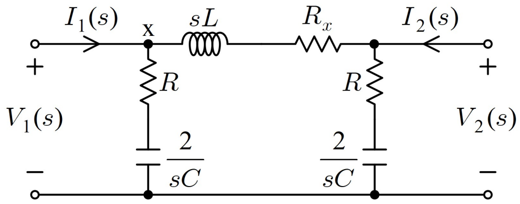


다음 라플라스변환회로에서 전류 I_1, I_2을 따라 KVL을 적용하면 $V_1=\left(R+\frac{1}{sC}\right)I_1+\frac{1}{sC}I_2$, $V_2=\frac{1}{sC}I_1+\left(R+\frac{1}{sC}\right)I_2$이므로 임피던스행렬은 $Z=\begin{bmatrix} R+\frac{1}{sC} & \frac{1}{sC} \\ \frac{1}{sC} & R+\frac{1}{sC}\end{bmatrix}[\Omega]$이다. 따라서 이 회로의 어드미턴스파라미터는 $Y=Z^{-1}=\begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix} \frac{sCR+1}{R(sCR+2)} & -\frac{1}{R(sCR+2)} \\ -\frac{1}{R(sCR+2)} & \frac{sCR+1}{R(sCR+2)}\end{bmatrix}[\mathrm{S}]$

Ⅱ. 설문(2)

다음 라플라스변환회로의 마디 x에 KCL을 적용하면

$I_1=\frac{V_1}{R+\frac{2}{sC}}+\frac{V_1-V_2}{sL+R_x}=\left(\frac{sC}{sCR+1}+\frac{1}{sL+R_x}\right)V_1-\frac{1}{sL+R_x}V_2$이므로 어드미턴스 파라미터 $y_{12}=-\frac{1}{sL+R_x}$이다.



따라서 설문(1)의 결과와 비교하면

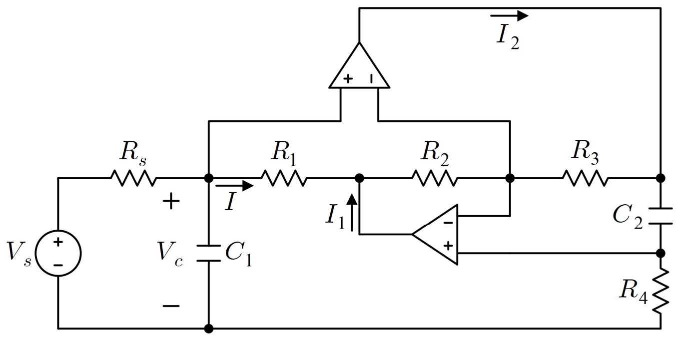
$y_{12}=-\frac{1}{sL+R_x}=-\frac{1}{R(sCR+2)}=-\frac{1}{sCR^2+2R}$이기 위한 조건은 $L=CR^2[\mathrm{H}]$, $R_x=2R[\Omega]$이고 이때 $I_1=\left(\frac{sC}{sCR+1}+\frac{1}{sL+R_x}\right)V_1-\frac{1}{sL+R_x}V_2$에서 V_1의 계수$(=y_{11})$은

$$\frac{sC}{sCR+2}+\frac{1}{sL+R_x}=\frac{sC}{sCR+2}+\frac{1}{sCR^2+2R}=\frac{sCR}{R(sCR+2)}+\frac{1}{R(sCR+2)}$$
$$=\frac{sCR+1}{R(sCR+2)}$$

이므로 주어진 두 회로가 등가회로가 되기 위한 L, R_x의 값은 $L=CR^2[\mathrm{H}]$, $R_x=2R[\Omega]$

[제4문](계산기사용 불가능)

그림과 같은 이상적인 연산증폭기를 사용한 회로에 대해 다음 물음에 답하시오. (총 20점)



1) $I_1(s)$와 $I_2(s)$를 $I(s)$로 표현하시오.(6점)

2) $\dfrac{V_c(s)}{I(s)}$를 구하시오.(4점)

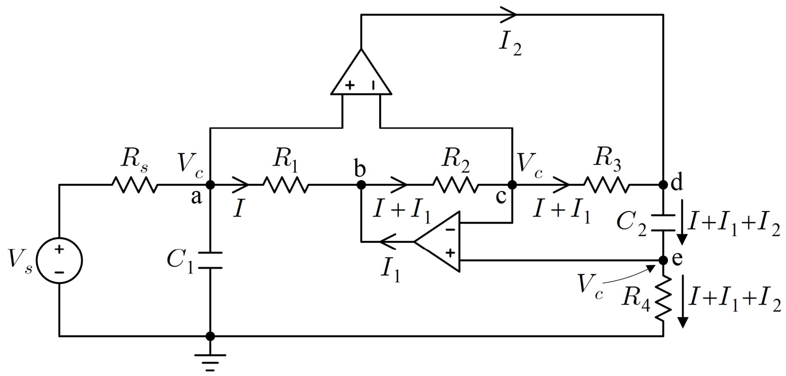
3) $\dfrac{V_c(s)}{V_s(s)}$를 구하시오.(4점)

4) $R_s = 30[\text{k}\Omega]$, $C_1 = C_2 = 10[\text{nF}]$, $R_1 = R_2 = 1[\text{k}\Omega]$, $R_3 = R_4 = 2[\text{k}\Omega]$일 때, 공진주파수 ω_o와 $Q-\text{factor}$를 구하시오.(6점)

[풀이]

Ⅰ. 설문(1)

주어진 회로의 마디전압과 일부 소자에 흐르는 전류를 표시하면 아래와 같다.



1. 마디 a, c의 전위차는 $V_c - V_c = R_1 I + R_2(I + I_1)$이므로 $I_1(s) = -\dfrac{R_1 + R_2}{R_2} I(s)$

2. 마디 c, e의 전위차는 $V_c - V_c = R_3(I + I_1) + \dfrac{1}{sC_2}(I + I_1 + I_2)$이므로 $I_1(s) = -\dfrac{R_1 + R_2}{R_2} I(s)$

을 대입하여 풀면 $I_2(s) = \dfrac{R_1 + sR_1R_3C_2}{R_2} I(s)$

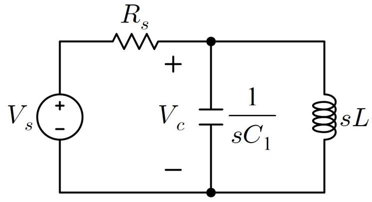
Ⅱ. 설문(2)

저항 R_4에 걸리는 전압 $V_c(s) = R_4(I + I_1 + I_2)$이므로

$I_1(s) = -\dfrac{R_1 + R_2}{R_2} I(s)$, $I_2(s) = \dfrac{R_1 + sR_1R_3C_2}{R_2} I(s)$을 대입하면 $V_c(s) = \dfrac{sC_2R_1R_3R_4}{R_2} I(s)$

따라서 $\dfrac{V_c(s)}{I(s)} = \dfrac{sC_2R_1R_3R_4}{R_2}$

Ⅲ. 설문(3)



설문(2)의 결과에서 회로의 C_1 커패시터 우측은 위와 같이 인덕턴스 $L = \dfrac{C_2R_1R_3R_4}{R_2}$[H]의 인덕터로 대체할 수 있다. 전압분배법칙에 의해

$$V_c = \frac{\left(sL \| \frac{1}{sC_1}\right)}{R_s + \left(sL \| \frac{1}{sC_1}\right)} V_s = \frac{sL}{LC_1R_s s^2 + Ls + R_s} V_s \text{이므로}$$

$$\frac{V_c(s)}{V_s(s)} = \frac{sL}{LC_1R_s s^2 + Ls + R_s}$$

$$= \frac{C_2R_1R_3R_4 s}{C_1C_2R_1R_3R_4R_5 s^2 + C_2R_1R_3R_4 s + R_2R_s}$$

$$= \frac{\frac{1}{C_1R_s} s}{s^2 + \frac{1}{C_1R_s} s + \frac{R_2}{C_1C_2R_1R_3R_4}}$$

Ⅳ. 설문(4)

설문(3)의 결과에 $R_s = 30[\mathrm{k}\Omega]$, $C_1 = C_2 = 10[\mathrm{nF}]$, $R_1 = R_2 = 1[\mathrm{k}\Omega]$, $R_3 = R_4 = 2[\mathrm{k}\Omega]$를

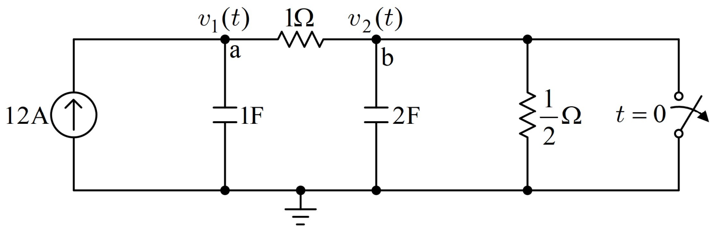
대입하면 $\frac{V_c(s)}{V_s(s)} = \frac{\frac{1}{C_1R_s} s}{s^2 + \frac{1}{C_1R_s} s + \frac{R_2}{C_1C_2R_1R_3R_4}} = \frac{\frac{10000}{3} s}{s^2 + \frac{10000}{3} s + 25 \times 10^8}$

분모다항식 $s^2 + \frac{10000}{3} s + 25 \times 10^8 = s^2 + \frac{\omega_o}{Q} s + \omega_o^2$이므로

공진주파수 $\omega_o = 50000[\mathrm{rad/s}] = 50[\mathrm{krad/s}]$, 양호도 $Q = \frac{3}{10000} \times 50000 = 15$

[제5문](계산기사용 불가능)

그림과 같은 회로는 스위치 동작 직전$(t=0^-)$에 직류정상상태에 있다. 스위칭 후$(t>0)$ 전압 $v_1(t)$, $v_2(t)$에 관한 다음 물음에 답하시오.(총 20점)



1) 스위칭 직후의 초기값 $v_1(0^+)$, $v_2(0^+)$을 구하시오.(4점)

2) $t>0$에서 a, b 절점에 키르히호프 전류법칙을 적용한 방정식을 각각 구하시오.(2점)

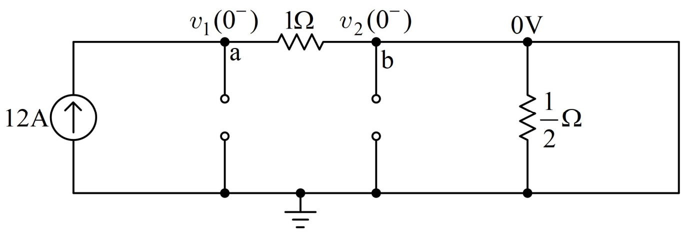
3) $\dfrac{dv_1(0^+)}{dt}$, $\dfrac{dv_2(0^+)}{dt}$를 구하시오.(4점)

4) 스위칭 후의 전압 $v_1(t)$, $v_2(t)$를 시간영역에서 구하시오.(10점)

[풀이]

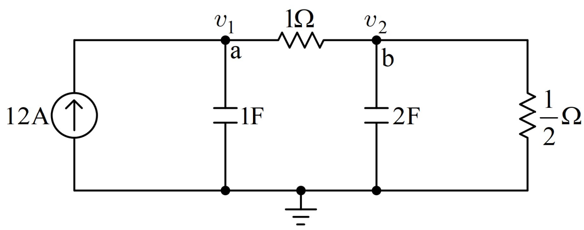
Ⅰ. 설문(1)

아래 스위칭 직전 회로(직류정상상태)에서 스위치가 단락되어 있으므로 $v_2(0^-) = 0[\mathrm{V}]$이고 마디 a에 KCL을 적용하면 $12 = 0 + \dfrac{v_1(0^-) - 0}{1}$이므로 $v_1(0^-) = 12[\mathrm{V}]$이다. 따라서 커패시터 전압의 연속성에 의해 $v_1(0^+) = v_1(0) = v_1(0^-) = 12[\mathrm{V}]$, $v_2(0^+) = v_2(0) = v_2(0^-) = 0[\mathrm{V}]$



Ⅱ. 설문(2)

다음 스위칭 후$(t>0)$ 회로에서



1. 마디 a에 KCL을 적용하면 $12 = 1 \times v_1{}' + \dfrac{v_1 - v_2}{1}$이므로 $v_1{}' + v_1 - v_2 = 12$

2. 마디 b에 KCL을 적용하면 $0 = \dfrac{v_2}{\frac{1}{2}} + 2v_2{}' + \dfrac{v_2 - v_1}{1}$이므로 $2v_2{}' + 3v_2 - v_1 = 0$

Ⅲ. 설문(3)

1. $v_1{}' + v_1 - v_2 = 12$에서 $\dfrac{dv_1(0^+)}{dt} = 12 - v_1(0^+) + v_2(0^+) = 12 - 12 + 0 = 0[\mathrm{V/sec}]$

2. $2v_2{}' + 3v_2 - v_1 = 0$에서 $\dfrac{dv_2(0^+)}{dt} = \dfrac{v_1(0^+) - 3v_2(0^+)}{2} = \dfrac{12-0}{2} = 6[\mathrm{V/sec}]$

Ⅳ. 설문(4)

1. $v_1{}' + v_1 - v_2 = 12$에서 $v_2 = v_1{}' + v_1 - 12$이므로 이를 $2v_2{}' + 3v_2 - v_1 = 0$에 대입하여 정리하면 $2v_1{}'' + 5v_1{}' + 2v_1 = 36$을 얻는다. ⅰ) 특성방정식 $2s^2 + 5s + 2 = (2s+1)(s+2) = 0$에

서 특성근 $s=-\frac{1}{2}$, -2이므로 고유응답 $v_{1n}=K_1e^{-\frac{1}{2}t}+K_2e^{-2t}$, ii) 시험강제해 $v_{1f}=A$(상수)를 상기 미분방정식에 대입하면 $0+0+2A=36$에서 $A=18$이므로 강제응답 $v_{1f}=18$, iii) 완전응답 $v_1=v_{1n}+v_{1f}=18+K_1e^{-\frac{1}{2}t}+K_2e^{-2t}$에서 $v_1(0^+)=6$이므로 $18+K_1+K_2=6$, $v_1{}'=-\frac{1}{2}K_1e^{-\frac{1}{2}t}-2K_2e^{-2t}$에서 $v_1{}'(0^+)=0$이므로 $-\frac{1}{2}K_1-2K_2=0$이다. $18+K_1+K_2=6$, $-\frac{1}{2}K_1-2K_2=0$를 연립하면 $K_1=-8$, $K_2=2$이므로 스위칭 후의 전압 $v_1(t)=18-8e^{-\frac{1}{2}t}+2e^{-2t}$[V]

2. 또한 $v_2=v_1{}'+v_1-12$에 $v_1(t)=18-8e^{-\frac{1}{2}t}+2e^{-2t}$[V]를 대입하여 정리하면 스위칭 후의 전압 $v_2(t)=6-4e^{-\frac{1}{2}t}-2e^{-2t}$[V]