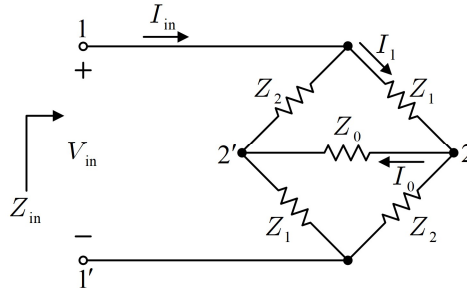

[문제-1]

다음 회로에 관한 질문에 답하시오.



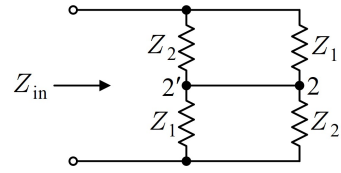
- (1) 위 회로도에서 $Z_0 = 0[\Omega]$ 와 $Z_0 = \infty[\Omega]$ 일 때 전압 V_{in} 과 전류 I_{in} 의 비율인 입력 임피던스 Z_{in} 을 각각 유도하시오. (6점)
- (2) Z_0 가 $0[\Omega]$ 이 아닌 양의 실수 값일 때 $Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}}$ 을 유도하시오. (14점)
- (3) 물음(2)의 결과식을 이용하여 $Z_{in} = Z_0$ 가 되기 위한 조건을 유도하시오. (10점)
-

[풀이]

I. 설문(1)

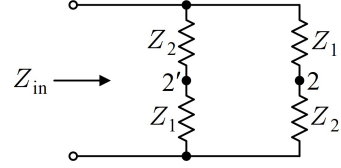
1. $Z_0 = 0[\Omega]$ 일 때 2'-2단자는 오른쪽 회로와 같이 단락되므로 입력 임피던스는

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



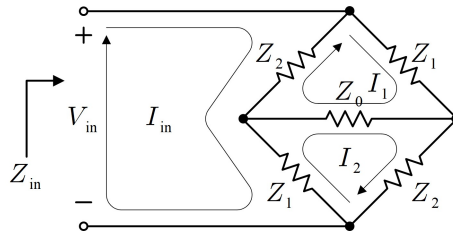
2. $Z_0 = \infty[\Omega]$ 일 때 2'-2단자는 오른쪽 회로와 같이 개방되므로 입력 임피던스는

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



II. 설문(2)

다음 회로에서



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

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

III. 설문(3)

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

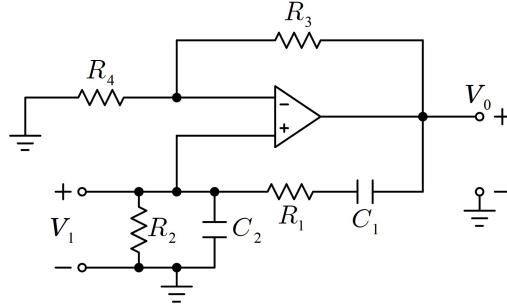
$$Z_0(Z_1 + Z_2) + 2Z_1Z_2 = 2Z_0^2 + Z_0(Z_1 + Z_2)$$

$$2Z_1Z_2 = 2Z_0^2 \text{이므로 구하는 조건은}$$

$$Z_0^2 = Z_1Z_2$$

[문제-2]

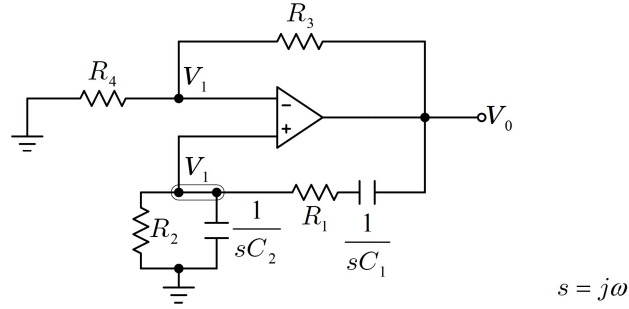
이상적인 연산 증폭기로 구성된 회로에 관하여 다음 물음에 답하시오.



- (1) 전압 V_1 과 V_0 의 비율인 $\frac{V_1}{V_0}$ 을 유도하시오. (6점)
 - (2) 물음(1)의 결과를 이용하여 V_1 과 V_0 가 동위상이 될 때 각속도 ω 를 유도하시오.
(단, ω 를 R_1, R_2, C_1, C_2 로 표현하시오.) (8점)
 - (3) 위의 회로에서 $R_1 = R_2 = R_4 = 10[\text{k}\Omega]$, $C_1 = C_2 = 200[\text{pF}]$ 일 때 공진이 일어났다.
이때 공진주파수와 R_3 를 구하시오. (단, 공진주파수는 소수점 이하 첫째자리에서 반올림하며, R_3 는 공진이 일어날 수 있는 최솟값으로 한다.) (6점)
-

[풀이]

I. 설문(1)



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

$$\frac{V_1}{R_2} + sC_2 V_1 + \frac{V_1 - V_0}{R_1 + \frac{1}{sC_1}} = 0 \text{ 이므로}$$

$$V_1 = \frac{sC_1 R_2}{s^2 C_1 C_2 R_1 R_2 + s(C_1 R_1 + C_1 R_2 + C_2 R_2) + 1} V_0$$

$$\therefore \frac{V_1}{V_0} = \frac{j\omega C_1 R_2}{1 - \omega^2 C_1 C_2 R_1 R_2 + j\omega(C_1 R_1 + C_1 R_2 + C_2 R_2)}$$

II. 설문(2)

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

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{j\omega C_1 R_2}{1 - \omega^2 C_1 C_2 R_1 R_2 + j\omega(C_1 R_1 + C_1 R_2 + C_2 R_2)} \text{에서 분자가 양의 순허수이므로 분모가 양}$$

의 순허수이면 $\frac{V_1}{V_0}$ 이 양의 실수이다. 따라서 분모의 실수부는 0이면 V_1 , V_0 이 동위상이므로

$$1 - \omega^2 C_1 C_2 R_1 R_2 = 0 \text{에서 각속도 } \omega = \frac{1}{\sqrt{C_1 C_2 R_1 R_2}} [\text{rad/sec}]$$

III. 설문(3)

$$1. \omega = \frac{1}{\sqrt{C_1 C_2 R_1 R_2}} \text{일 때 } \frac{V_1}{V_0} = \frac{C_1 R_2}{C_1 R_1 + C_1 R_2 + C_2 R_2} \text{이고 여기에 } C_2 = C_1, R_2 = R_1 \text{을 대}$$

$$\text{입하면 } \frac{V_1}{V_0} = \frac{C_1 R_1}{C_1 R_1 + C_1 R_1 + C_1 R_1} = \frac{1}{3}$$

$$2. \text{연산 증폭기의 반전입력단자(-입력단자)에 KCL을 적용하면 } \frac{V_1}{R_4} + \frac{V_1 - V_0}{R_3} = 0 \text{이므로}$$

$$\text{이를 풀면 } V_0 = \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) V_1 \text{이다. 따라서 연산 증폭기의 출력 } V_0 \text{가 연산증폭기의 비반전}$$

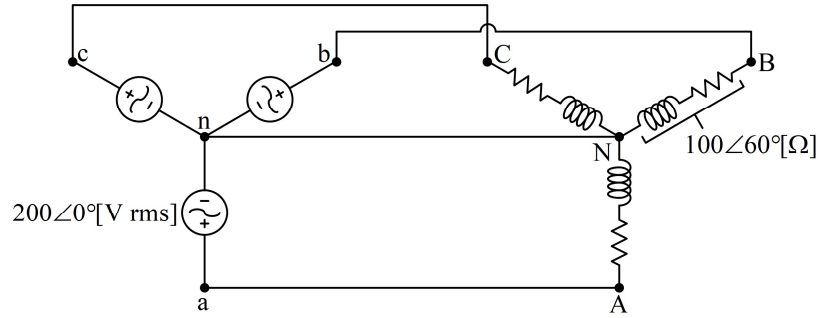
입력단자(+입력단자)로 피드백 된 후 다시 반전입력단자(-입력단자)를 거쳐 출력단자로 증폭되기까지(one cycle)의 총 이득(overall gain)은 $\frac{1}{3} \times \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right)$ 이다.

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 $\omega = \frac{1}{\sqrt{C_1^2 R_1^2}} = \frac{1}{C_1 R_1} = 500[\text{krad/sec}]$, 발진이 일어나기 위한 저항 R_3 의 최솟값은 $R_3 = 2R_4 = 20[\text{k}\Omega]$

[문제-3]

그림과 같이 상전압이 $V_{an} = 200 \angle 0^\circ [\text{V}]$, $V_{bn} = 200 \angle 120^\circ [\text{V}]$, $V_{cn} = 200 \angle 240^\circ [\text{V}]$ 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 $v_{AN} = 200 \sqrt{2} \cos(120\pi t + 0^\circ) [\text{V}]$, 전류가 $i_{AN} = 2 \sqrt{2} \cos(120\pi t - 60^\circ) [\text{A}]$ 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_c 를 구하시오. (7점)

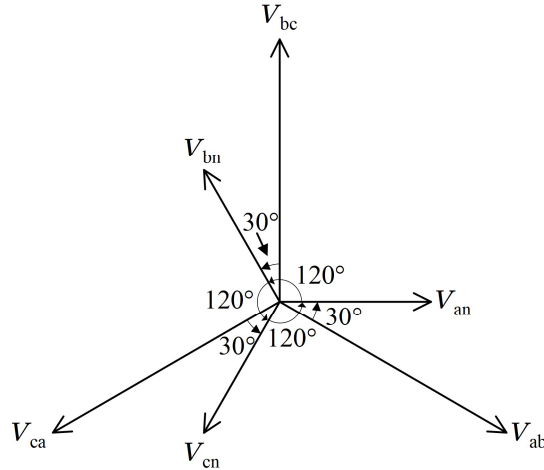
[풀이]

I. 설문(1)

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn} = 200 \angle 0^\circ - 200 \angle 120^\circ = 300 - j100\sqrt{3} = 200\sqrt{3} \angle -30^\circ [\text{V}_{\text{rms}}],$$

$$V_{bc} = V_{bn} - V_{cn} = 200 \angle 120^\circ - 200 \angle 240^\circ = j200\sqrt{3} = 200\sqrt{3} \angle 90^\circ [\text{V}_{\text{rms}}],$$

$V_{ca} = V_{cn} - V_{an} = 200 \angle 240^\circ - 200 \angle 0^\circ = -300 - j100\sqrt{3} = 200\sqrt{3} \angle -150^\circ [\text{V}_{\text{rms}}]$ 이므로 상 전압, 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

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

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

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

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

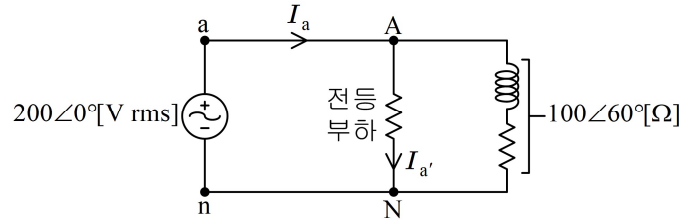
$$\begin{aligned} p_C(t) &= 200\sqrt{2} \cos(120\pi t - 120^\circ) \times 2\sqrt{2} \cos(120\pi t + 180^\circ) \\ &= 800 \cos(120\pi t - 120^\circ) \cos(120\pi t + 180^\circ) \\ &= 400 \{ \cos(240\pi t + 60^\circ) + \cos(-300^\circ) \} \\ &= 200 + 400 \cos(240\pi t + 60^\circ) [\text{W}] \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 p(t) &= p_A(t) + p_B(t) + p_C(t) \\
 &= 600 + 400 \{ \cos(240\pi t - 60^\circ) + \cos(240\pi t + 180^\circ) + \cos(240\pi t + 60^\circ) \} \\
 &= 600 + 400 \{ \cos(240\pi t) \cos 60^\circ + \sin(240\pi t) \sin 60^\circ - \cos(240\pi t) \\
 &\quad + \cos(240\pi t) \cos 60^\circ - \sin(240\pi t) \sin 60^\circ \} \\
 &= 600 + 400 \left\{ \frac{1}{2} \cos(240\pi t) - \cos(240\pi t) + \frac{1}{2} \cos(240\pi t) \right\} \\
 &= 600 [\text{W}] \quad (\text{즉, 교류회로이지만 순시전력이 일정하다.})
 \end{aligned}$$

III. 설문(3)

전구가 흡수하는 상당복소전력은 $200 + j0 [\text{VA}]$ 이므로 다음 단상등가회로(a상 기준)에서 전 등부하의 상전류는 $200 + j0 = 200 \angle 0^\circ \times \mathbf{I_a}^*$ 에서 $\mathbf{I_a}' = 1 \angle 0^\circ [\text{Arms}] = 1 + j0 [\text{Arms}]$



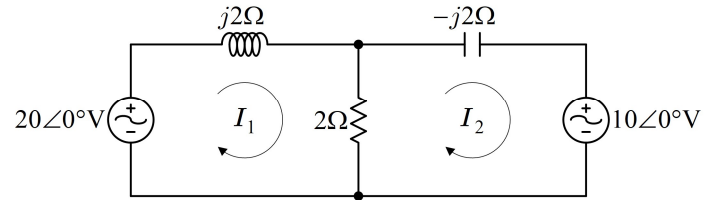
$$\text{따라서 } \mathbf{I_a} = \frac{200}{100 \angle 60^\circ} + \mathbf{I_a}' = 2 - j\sqrt{3} = \sqrt{7} \angle -\tan^{-1} \frac{\sqrt{3}}{2} = 2.65 \angle -40.89^\circ [\text{Arms}]$$

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

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

[문제-4]

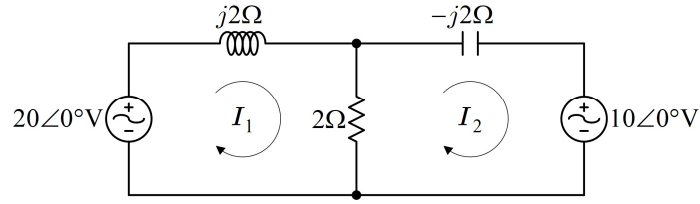
다음 회로에 관해 물음에 답하시오. (단, 소수점 이하 셋째자리에서 반올림한다.)



- (1) 메쉬(mesh)해석법을 이용한 풀이과정을 쓰고, 전류 I_1 , I_2 를 구하시오. (7점)
 - (2) 노드(node)해석법을 이용한 풀이과정을 쓰고, 전류 I_1 , I_2 를 구하시오. (7점)
 - (3) 저항 $2[\Omega]$ 에 소요되는 평균전력을 구하시오. (6점)
-

[풀이]

I. 설문(1)



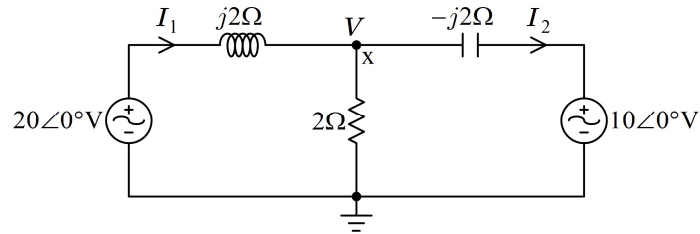
1. 상기 회로의 망로전류 I_1 을 따라 KVL을 적용하면 $20 = j2I_1 + 2(I_1 - I_2)$
2. 망로전류 I_2 를 따라 KVL을 적용하면 $0 = -j2I_2 + 10 + 2(I_2 - I_1)$
3. 상기 1, 2의 결과식을 연립하면
 - (1) $I_1 = 5 - j10 = 5\sqrt{2} \angle -\tan^{-1}2 = 11.18 \angle -63.43^\circ [\text{A}]$
 - (2) $I_2 = 5 - j5 = 5\sqrt{2} \angle -45^\circ = 7.07 \angle -45^\circ [\text{A}]$

II. 설문(2)

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

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

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



III. 설문(3)

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