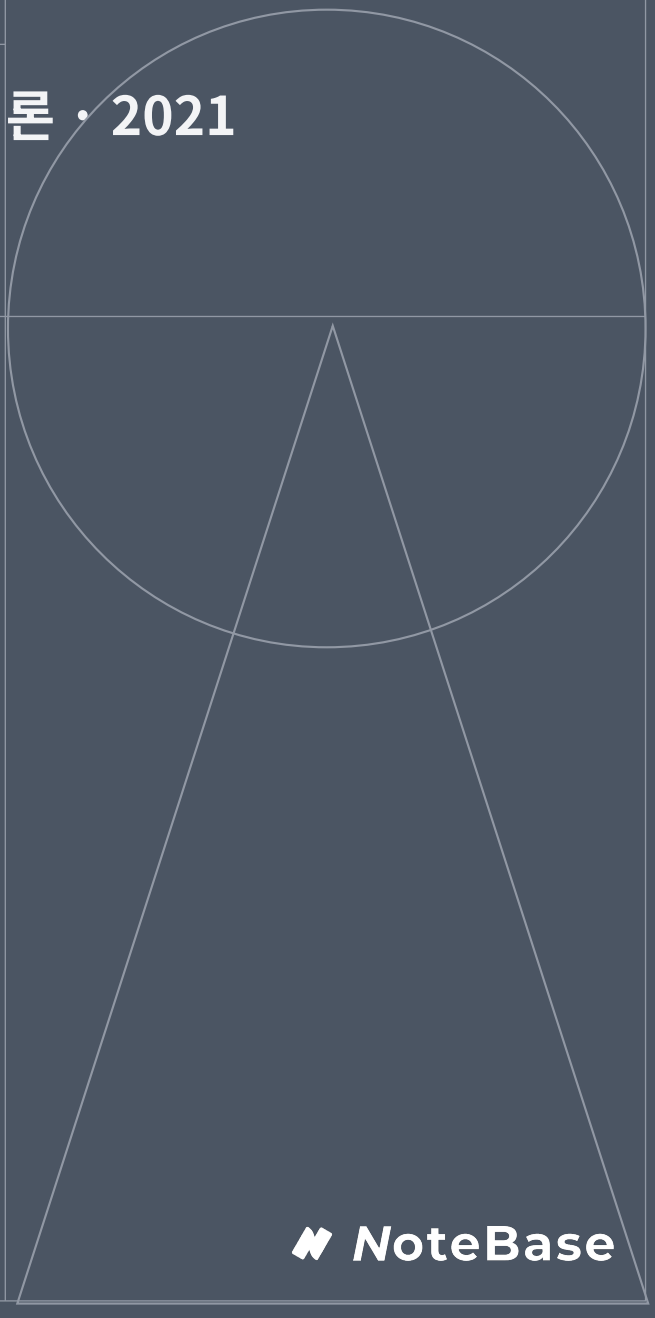
기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 회로이론 · 2021



NoteBase

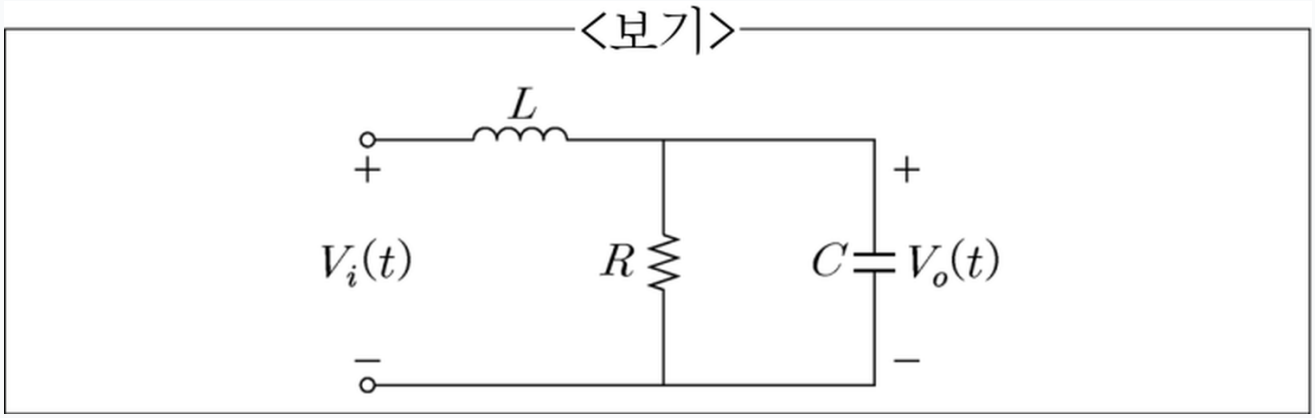
기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 회로이론 · 2021

공무원/서울시/7급 · 회로이론 · 2021

문 1. 정현파 입력 전압 $V_i(t)$[V], 출력 전압 $V_o(t)$[V]를 가지는 <보기>의 회로의 전달 함수 $\frac{V_o(\omega)}{V_i(\omega)}$는? (단, 입력 전압의 각 주파수는 ω[rad/s]이고, $R = 1[\Omega],\ L = 1[H],\ C = 1[F]$이다.)

<보기>



① $\frac{1}{(1-\omega^2)+j\omega}$
② $\frac{1}{(1+\omega^2)+j\omega}$
③ $\frac{1}{(1-\omega^2)-j\omega}$
④ $\frac{1}{(1+\omega^2)-j\omega}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 인덕터 직렬, 저항-커패시터 병렬 회로에서 병렬 임피던스를 먼저 구한 뒤 전압분배법으로 전달함수 $\frac{V_o(\omega)}{V_i(\omega)}$를 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값: $R = 1\Omega, L = 1H, C = 1F$
구해야 할 값: 전달함수 $\frac{V_o(\omega)}{V_i(\omega)}$
주의할 조건: 출력은 커패시터 양단 전압이므로 저항과 커패시터가 병렬인 노드 전압이다.

NoteBase

사용할 공식

인덕터 임피던스는 $Z_L = j\omega L = j\omega$이고, 커패시터 임피던스는 $Z_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j\omega}$이다.
병렬부 임피던스는 $Z_p = R \parallel Z_C$이며, 전달함수는 전압분배로 $H(\omega) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{Z_p}{Z_L + Z_p}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 인덕터가 병렬부와 직렬이고 출력이 병렬부 전체 전압이기 때문이다.

계산 과정

1. 병렬부의 어드미턴스를 구하면 $Y_p = \frac{1}{R} + j\omega C = 1 + j\omega$이므로 $Z_p = \frac{1}{1 + j\omega}$이다.
2. 전달함수는 $H(\omega) = \frac{\frac{1}{1+j\omega}}{j\omega + \frac{1}{1+j\omega}}$이다.
3. 분자와 분모에 $(1 + j\omega)$를 곱하면 $H(\omega) = \frac{1}{j\omega(1 + j\omega) + 1} = \frac{1}{1 - \omega^2 + j\omega}$이다.
4. 계산 결과가 $\frac{1}{(1 - \omega^2) + j\omega}$이므로 정답은 1번이다.

선지 판단

1번: O. 계산 결과가 $\frac{1}{(1 - \omega^2) + j\omega}$이므로 정답이다.
2번: X. 분모의 ω^2 항 부호가 잘못되었다. $(j\omega)^2 = -\omega^2$가 되어야 하는데 $j^2 = +1$처럼 처리하면 이런 식이 나온다. 틀린 표현은 $(1 + \omega^2) + j\omega$이고, 올바르게는 $(1 - \omega^2) + j\omega$이다.
3번: X. $j\omega$ 항의 부호가 잘못되었다. 커패시터 어드미턴스 $j\omega$의 부호를 반대로 두거나 최종식을 근거 없이 켤레처럼 바꾸면 이런 식이 나온다. 틀린 표현은 $(1 - \omega^2) - j\omega$이고, 올바르게는 $(1 - \omega^2) + j\omega$이다.
4번: X. ω^2 항과 $j\omega$ 항의 부호를 모두 잘못 잡은 식이다. 틀린 표현은 $(1 + \omega^2) - j\omega$이고, 올바르게는 $(1 - \omega^2) + j\omega$이다.

오답 포인트

병렬 회로는 임피던스보다 어드미턴스로 먼저 묶으면 계산이 짧아진다. 이 문제의 함정은 $(j\omega)^2 = -\omega^2$와 커패시터 어드미턴스 $Y_C = j\omega$의 부호를 동시에 정확히 처리하지 못하는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

출력이 걸린 소자를 먼저 확인하고, 그 소자가 포함된 병렬부 또는 직렬부의 등가 임피던스를 구한 뒤 전압분배를 적용하면 된다. 복소수 전개에서는 $j^2 = -1$을 끝까지 유지하면서 ω^2 항과 $j\omega$ 항의 부호를 따로 검산한다.

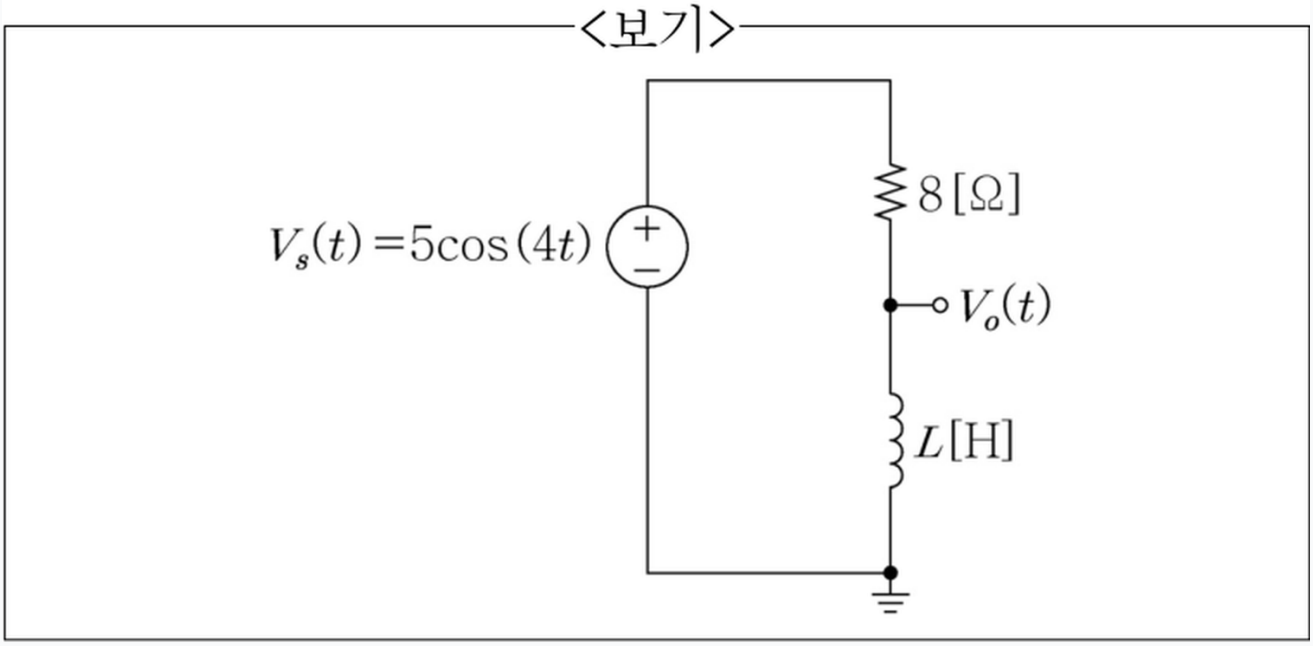
암기 포인트

직렬-병렬 전달함수는 등가임피던스 후 전압분배로 정리하고, $(j\omega)^2 = -\omega^2$라는 부호를 놓치지 않는 것이 핵심이다.

NoteBase

문 2. <보기>의 회로의 출력 전압 $V_o(t)$의 위상이 45°이기 위한 인덕턴스 L의 값[H] 및 $V_o(t)$의 진폭[V]은?

<보기>



① 인덕턴스 L의 값[H]: 8, $V_o(t)$의 진폭[V]: $\frac{5}{\sqrt{2}}$
② 인덕턴스 L의 값[H]: 8, $V_o(t)$의 진폭[V]: $\frac{1}{\sqrt{2}}$
③ 인덕턴스 L의 값[H]: 2, $V_o(t)$의 진폭[V]: $\frac{5}{\sqrt{2}}$
④ 인덕턴스 L의 값[H]: 2, $V_o(t)$의 진폭[V]: $\frac{1}{\sqrt{2}}$

정답 3번

출제 포인트

직렬 RL 회로에서 인덕터 양단 전압의 위상과 크기를 구하는 전달함수를 이용해 L과 $V_o(t)$의 진폭을 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $V_s(t) = 5\cos(4t)$, $R = 8\Omega$, $\omega = 4rad/s$
구해야 할 값: $V_o(t)$의 위상이 45 °가 되도록 하는 L과 $V_o(t)$의 진폭
주의할 조건: 출력 $V_o(t)$는 저항이 아니라 인덕터 양단 전압이다.

NoteBase

사용할 공식

인덕터 양단 전압의 전달함수는
$H(j\omega) = \frac{V_o}{V_s} = \frac{j\omega L}{R + j\omega L}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유: 출력이 인덕터에 걸린 전압이므로 임피던트 분압으로 계산해야 하고, 위상 조건 45°는 이 전달함수의 위상으로 바로 표현된다.

계산 과정

1. 전달함수의 위상은
$\angle H = 90^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right)$
이다.
2. $\angle H = 45^\circ$이므로
$90^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{4L}{8}\right) = 45^\circ$
$\tan^{-1}\left(\frac{L}{2}\right) = 45^\circ$
$\frac{L}{2} = 1 \Rightarrow L = 2H$
이다.
3. 이때 $\omega L = 4 \times 2 = 8$이므로 크기는
$|H| = \frac{\omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = \frac{8}{\sqrt{8^2 + 8^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$
이다.
4. 입력 진폭이 5이므로 출력 진폭은
$|V_o| = 5 \times \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} V$
이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

- $L = 8H$이면 $\omega L = 32$가 되어 위상은 $90^\circ - \tan^{-1}(4)$로 약 14°이다. 문제의 조건인 45°를 만족하지 못한다.
- 이 경우 진폭도 $5 \times \frac{32}{\sqrt{8^2 + 32^2}} = \frac{20}{\sqrt{17}}V$이므로 $\frac{5}{\sqrt{2}}V$가 아니다.
- 틀린 표현은 $L = 8H$와 진폭 $\frac{5}{\sqrt{2}}V$이다. 올바르게는 $L = 2H$, 진폭은 $\frac{5}{\sqrt{2}}V$이다.

② X

- $L = 8H$이면 위상 조건부터 맞지 않으므로 정답이 될 수 없다.
- 진폭도 실제로는 $\frac{20}{\sqrt{17}}V$이므로 $\frac{1}{\sqrt{2}}V$가 아니다.
- 틀린 표현은 $L = 8H$와 진폭 $\frac{1}{\sqrt{2}}V$이다. 올바르게는 $L = 2H$, 진폭은 $\frac{5}{\sqrt{2}}V$이다.

③ O

- $L = 2H$이면 $\omega L = 8$이어서 $R = \omega L$가 된다. 따라서 위상은 45°이고, 크기는 $\frac{1}{\sqrt{2}}$가 되어 출력 진폭은 $\frac{5}{\sqrt{2}}V$이다.

④ X

- $L = 2H$까지는 맞지만, 입력 진폭 5를 곱하지 않아 출력 진폭을 잘못 적은 선지이다.
- 전달함수의 크기 $\frac{1}{\sqrt{2}}$는 전압비이고 실제 출력 진폭은 $5 \times \frac{1}{\sqrt{2}}$이다.
- 틀린 표현은 진폭 $\frac{1}{\sqrt{2}}V$이다. 올바르게는 $\frac{5}{\sqrt{2}}V$이다.

오답 포인트

출력 전압을 인덕터 양단이 아니라 전체 전압이나 저항 양단 전압으로 착각하면 위상식이 달라진다. 또 전달함수의 크기 $\frac{1}{\sqrt{2}}$를 그대로 전압 진폭으로 오해하고 입력 진폭 5를 곱하지 않는 실수가 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

직렬 RL 회로의 위상 조건 문제는 먼저 출력이 어느 소자 양단인지 확인하고, 그 소자의 전달함수를 세운 뒤 위상에서 L을 구하고 마지막에 크기에 입력 진폭을 곱해 실제 출력 전압을 구하면 된다.

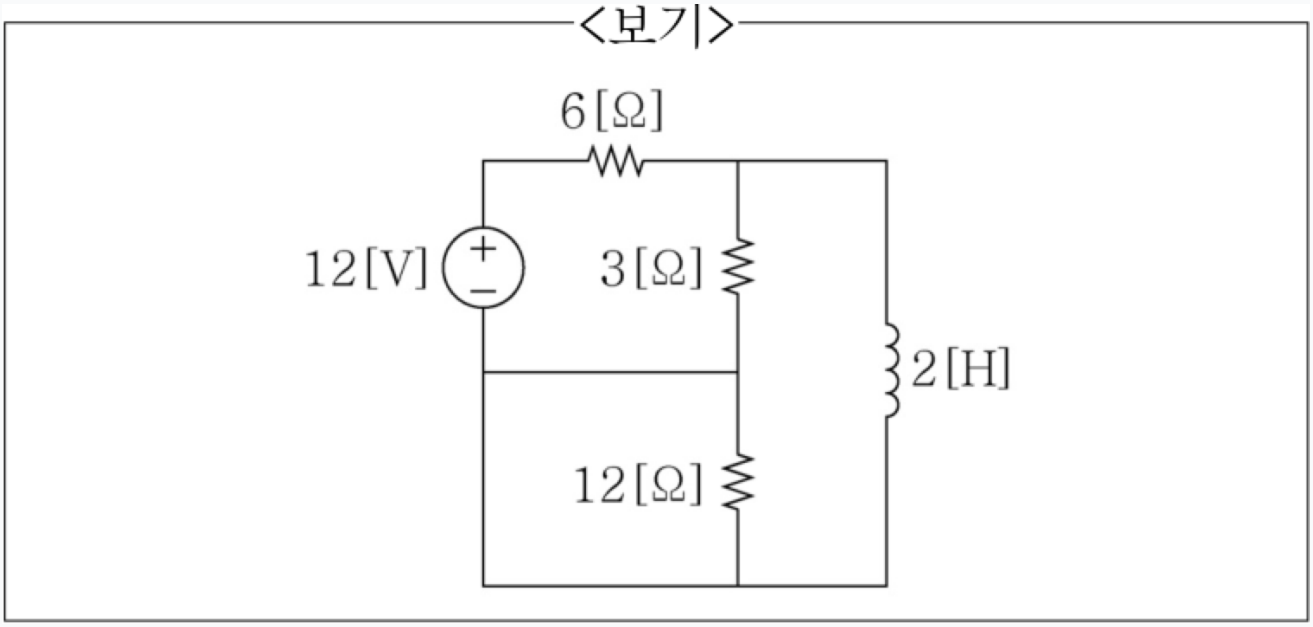
암기 포인트

직렬 RL 회로에서 인덕터 출력의 위상이 45°이면 $R = \omega L$이고, 그때 출력 크기는 입력의 $\frac{1}{\sqrt{2}}$배이다.

NoteBase

문 3. <보기>의 회로가 정상 상태(steady-state)일 때 인덕터에 저장된 에너지 [J]는?

<보기>



① 1

② 2

③ 3

④ 4

정답 4번

출제 포인트

정상상태의 직류회로에서 인덕터를 단락으로 바꾸고, 그때의 인덕터 전류로 저장 에너지 $W = \frac{1}{2}LI^2$를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 전원은 12 V, 상단 저항은 6Ω, 우측 가지에는 3Ω 저항과 2H 인덕터가 있다.
구해야 할 값: 인덕터에 저장된 에너지이다.
주의할 조건: 정상상태의 직류에서 인덕터는 단락으로 본다. 또한 가운데 가로도선 때문에 12Ω 저항은 이미 우회되어 회로에 영향을 주지 않는다.

사용할 공식

저장 에너지는 $W = \frac{1}{2}LI^2$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제는 정상상태에서 인덕터에 흐르는 전류가 얼마인지 구한 뒤, 그 전류로 인덕터 내부 자기장에 저장된 에너지를 묻고 있기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 정상상태이므로 인덕터는 단락이다.
2. 인덕터가 단락이면 인덕터 양단 전압이 0 V이므로 3Ω 저항도 양단 전압이 0 V가 되어 전류가 흐르지 않는다.
3. 따라서 실제로 전원에서 보는 유효 저항은 6Ω 하나만 남는다.
4. 인덕터 전류는 전체전류와 같아서
$I = \frac{V}{R} = \frac{12}{6} = 2\ \mathrm{A}$
이다.
5. 저장 에너지는
$W = \frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times 2^2 = 4\ \mathrm{J}$
이다.

선지별 해설

① X
1 J는 계산 결과와 맞지 않는다. 정상상태에서 인덕터 전류는 2A이므로 저장 에너지는 1 J가 아니라 4 J이다. 틀린 표현은 에너지를 1 J로 본 점이고, 올바르게는 4 J이다.

② X
2 J는 인덕터를 단락으로 보지 않거나 인덕터 전류를 실제보다 작게 잡았을 때 나오는 오답이다. 이 회로에서는 인덕터가 단락이므로 3Ω 가지로 전류가 분배되지 않는다. 틀린 표현은 저장 에너지가 2 J라는 점이고, 올바르게는 4 J이다.

③ X
3 J도 계산된 인덕터 전류 2A와 일치하지 않는다. 정상상태에서는 3Ω 저항 양단 전압이 0 V가 되어 그 저항이 전류를 나누지 못한다. 틀린 표현은 저장 에너지가 3 J라는 점이고, 올바르게는 4 J이다.

④ O
정상상태에서 인덕터를 단락으로 보면 전체전류는 2A이고, 저장 에너지는 $W = \frac{1}{2}LI^2 = 4$ J가 된다. 따라서 4 J가 맞다.

오답 포인트

인덕터를 정상상태에서 개방처럼 보거나, 3Ω와 12Ω 저항이 계속 유효하다고 착각하면 오답이 된다. 이 문항의 핵심 함정은 회로를 그대로 두고 계산하는 것이 아니라, 정상상태 조건에 맞게 인덕터를 먼저 단락으로 치환해야 한다는 점이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

직류 정상상태 회로가 나오면 먼저 소자 치환부터 한다. 인덕터는 단락, 커패시터는 개방으로 바꾼 뒤 우회되는 저항이 있는지 정리하고, 그다음 전류나 전압을 구해 에너지 공식을 적용하면 된다.

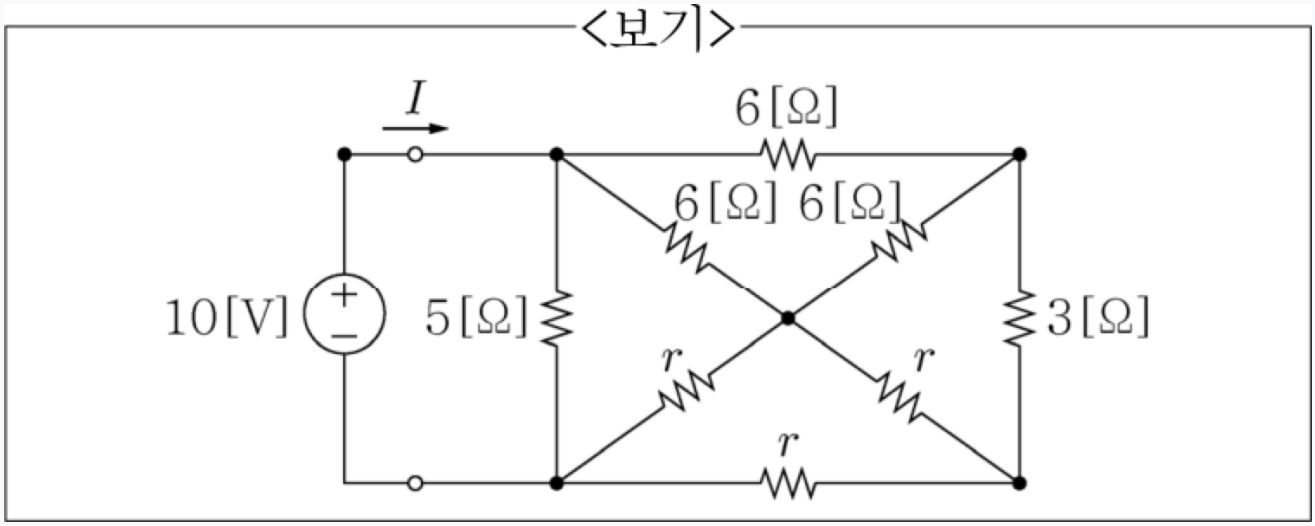
암기 포인트

직류 정상상태에서 인덕터는 단락, 저장 에너지는 $\frac{1}{2}LI^2$이다.

NoteBase

문 4. <보기>의 회로에서 전류 I가 4[A]가 되기 위한 저항의 값 r[Ω]은?

<보기>



① 2

② 3

③ 6

④ 9

정답 2번

출제 포인트

전체 전류 조건으로 전체 등가저항을 먼저 구한 뒤, 병렬인 오른쪽 회로의 등가저항을 r의 식으로 만들어 값을 결정하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 전원전압은 10 V, 전체 전류 I는 4A, 왼쪽 가지에는 5Ω 저항이 있다.
구해야 할 값: 오른쪽 복합회로가 조건을 만족하도록 하는 r값이다.
주의할 조건: 오른쪽 회로는 직렬·병렬로 바로 합쳐지지 않으므로 등가저항을 따로 구해야 한다.

사용할 공식

전체 합성저항은 $R_{eq} = \frac{V}{I}$이다.
병렬회로는 $R_{eq} = 5 \parallel R_x$로 쓸 수 있다.
오른쪽 회로의 등가저항 R_x는 시험전압을 걸어 $R_x = \frac{V}{I_t}$로 구한다.
이 공식을 쓰는 이유: 전체 전류가 이미 주어졌고, 오른쪽 망은 브리지 형태라 단순 직병렬 합성 대신 노달해석으로 등가저항을 구하는 편이 가장 직접적이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 전체 전류가 4A이므로 전체 합성저항은 $R_{eq} = \frac{10}{4} = 2.5\Omega$이다.

2. 5Ω 가지와 오른쪽 회로 R_x가 병렬이므로

$2.5 = \frac{5R_x}{5+R_x}$

이고, 이를 풀면 $R_x = 5\Omega$이다.

3. 이제 오른쪽 회로의 좌상단-좌하단 단자에 시험전압 V를 건다. 우상단, 우하단, 중앙 노드 전압을 각각 V_D, V_E, V_C라 두면 노달해석으로

$\frac{V_D - V}{6} + \frac{V_D - V_E}{3} + \frac{V_D - V_C}{6} = 0$

$\frac{V_E - V_D}{3} + \frac{V_E}{r} + \frac{V_E - V_C}{r} = 0$

$\frac{V_C - V}{6} + \frac{V_C - V_D}{6} + \frac{V_C}{r} + \frac{V_C - V_E}{r} = 0$

을 얻는다.

4. 이를 정리하면 오른쪽 회로의 입력전류는

$I_t = \frac{2r+21}{(r+12)(r+6)}V$

이므로 등가저항은

$R_x = \frac{V}{I_t} = \frac{(r+12)(r+6)}{2r+21}$

이다.

5. $R_x = 5\Omega$를 대입하면

$\frac{(r+12)(r+6)}{2r+21} = 5$

$r^2 + 8r - 33 = 0$

이고, 해는 $r = 3, \ -11$이다. 저항은 음수가 될 수 없으므로 $r = 3\Omega$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

$r = 2\Omega$를 대입하면 오른쪽 회로의 등가저항은 $R_x = \frac{112}{25} = 4.48\Omega$이다. 따라서 전체 합성저항은 $5 \parallel 4.48 \approx 2.36\Omega$이고, 전체 전류는 약 4.23A가 된다. 4A가 아니므로 틀리다. 올바르게는 $r = 3\Omega$이다.

② O

$r = 3\Omega$를 대입하면 $R_x = \frac{15 \cdot 9}{27} = 5\Omega$이다. 전체 합성저항은 $5 \parallel 5 = 2.5\Omega$가 되고, 전체 전류는 $\frac{10}{2.5} = 4A$이다. 조건을 정확히 만족하므로 옳다.

③ X

$r = 6\Omega$를 대입하면 $R_x = \frac{18 \cdot 12}{33} = \frac{72}{11}\Omega$이다. 이때 전체 합성저항은 $5 \parallel \frac{72}{11} = \frac{360}{127}\Omega \approx 2.83\Omega$이고, 전체 전류는 약 3.53A이다. 4A보다 작으므로 틀리다. 올바르게는 $r = 3\Omega$이다.

④ X

$r = 9\Omega$를 대입하면 $R_x = \frac{21 \cdot 15}{39} = \frac{105}{13}\Omega$이다. 이때 전체 합성저항은 $5 \parallel \frac{105}{13} = \frac{105}{34}\Omega \approx 3.09\Omega$이고, 전체 전류는 약 3.24A이다. 4A보다 작으므로 틀리다. 올바르게는 $r = 3\Omega$이다.

오답 포인트

5Ω 가지가 이미 전원에 직접 병렬로 연결되어 있으므로 이 가지 전류는 $\frac{10}{5} = 2A$라는 점을 먼저 봐야 한다. 이를 놓치면 오른쪽 회로도 2A를 더 흘려야 한다는 핵심을 놓치게 된다. 또 오른쪽 회로를 단순 직렬·병렬로 억지로 합치면 브리지 구조를 무시한 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

전원전압과 전체전류가 먼저 주어지면 전체 등가저항 $R = V/I$를 바로 계산한다. 그다음 이미 분리된 병렬 가지가 있으면 그 가지 전류나 등가저항을 먼저 확정하고, 남는 복합망은 시험전압을 걸어 입력전류를 구해 등가저항으로 바꾸는 순서로 판단한다.

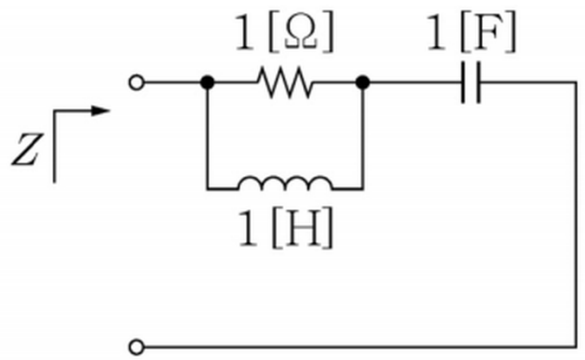
암기 포인트

병렬회로에서 전체 전류가 주어지면 먼저 $R_{eq} = V/I$를 구한다. 이 문제에서는 5Ω 가지가 2A를 흘리므로 오른쪽 회로도 2A를 흘려야 하고, 따라서 오른쪽 등가저항도 5Ω이어야 한다.

NoteBase

문 5. 각 주파수 ω가 1[rad/s]일 때 <보기>의 회로의 등가 임피던스 Z를 올바르게 표현한 것은?

<보기>



① 0.5[Ω] 저항과 0.5[H] 인덕터의 직렬 임피던스

② 2[Ω] 저항과 0.5[H] 인덕터의 직렬 임피던스

③ 0.5[Ω] 저항과 2[F] 커패시터의 직렬 임피던스

④ 2[Ω] 저항과 2[F] 커패시터의 직렬 임피던스

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 $\omega = 1$에서 저항-인덕터 병렬회로와 커패시터 직렬회로의 등가 임피던스를 계산한 뒤, 이를 직렬 R-C 형태로 다시 읽어내는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 저항 $R = 1[\Omega]$, 인덕터 $L = 1[H]$, 커패시터 $C = 1[F]$, 각주파수 $\omega = 1[rad/s]$이다.
저항과 인덕터는 같은 두 노드에 연결되어 있으므로 병렬이다.
이 병렬 임피던스에 커패시터 임피던스가 직렬로 이어진 구조이다.

사용할 공식

$Z_R = R, \quad Z_L = j\omega L, \quad Z_C = \frac{1}{j\omega C} = -\frac{j}{\omega C}$
$Z_{\parallel} = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}$
이 공식을 쓰는 이유는 회로에서 1[Ω] 저항과 1[H] 인덕터가 병렬이고, 그 결과가 1[F] 커패시터와 직렬이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 각 소자의 임피던스를 구하면 $Z_R = 1, Z_L = j, Z_C = -j$이다.
2. 저항과 인덕터의 병렬 임피던스는
$Z_{RL} = \frac{1 \cdot j}{1+j} = \frac{j(1-j)}{(1+j)(1-j)} = \frac{1+j}{2} = 0.5 + 0.5j$
이다.
3. 전체 임피던스는
$Z = Z_{RL} + Z_C = (0.5 + 0.5j) + (-j) = 0.5 - 0.5j$
이다.
4. $0.5 - 0.5j$는 실수부가 0.5[Ω] 저항, 허수부가 $-0.5j$이므로 커패시터 성분이다. $\omega = 1$에서 $Z_C = -\frac{j}{C}$이므로 $-\frac{j}{C} = -0.5j \Rightarrow C = 2[F]$이다.

선지별 해설

① X
0.5[Ω] 저항과 0.5[H] 인덕터의 직렬 임피던스는 $0.5 + j0.5$이다. 이는 병렬 R-L 부분까지만 본 값이고, 뒤에 직렬로 붙은 커패시터 $-j$가 빠져 있다. 틀린 표현은 '0.5[H] 인덕터'이며, 올바르게는 '2[F] 커패시터'이다.

② X
2[Ω] 저항과 0.5[H] 인덕터의 직렬 임피던스는 $2 + j0.5$이다. 실제 전체 임피던스 $0.5 - 0.5j$와 실수부와 허수부가 모두 다르다. 틀린 표현은 '2[Ω] 저항과 0.5[H] 인덕터'이며, 올바르게는 '0.5[Ω] 저항과 2[F] 커패시터'이다.

③ O
0.5[Ω] 저항과 2[F] 커패시터의 직렬 임피던스는 $0.5 + \frac{1}{j \cdot 1 \cdot 2} = 0.5 - 0.5j$이다. 계산한 전체 임피던스와 정확히 일치한다.

④ X
2[Ω] 저항과 2[F] 커패시터의 직렬 임피던스는 $2 - 0.5j$이다. 커패시터 값 2[F]는 맞더라도 저항값이 2[Ω]로 잘못되었다. 틀린 표현은 '2[Ω] 저항'이며, 올바르게는 '0.5[Ω] 저항'이다.

오답 포인트

병렬 R-L 값을 구한 뒤 그 값이 곧 전체 임피던스라고 멈추기 쉽다. 또 인덕터는 $+j$, 커패시터는 $-j$라는 부호를 반대로 읽으면 ①처럼 인덕터 직렬 형태로 오해하기 쉽다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 같은 두 노드에 연결된 소자를 찾아 병렬과 직렬을 확정한다. 그다음 각 소자를 j부호까지 포함한 임피던스로 바꾸어 합치고, 마지막에 실수부는 저항, 양의 허수부는 인덕터, 음의 허수부는 커패시터로 읽어내면 된다.

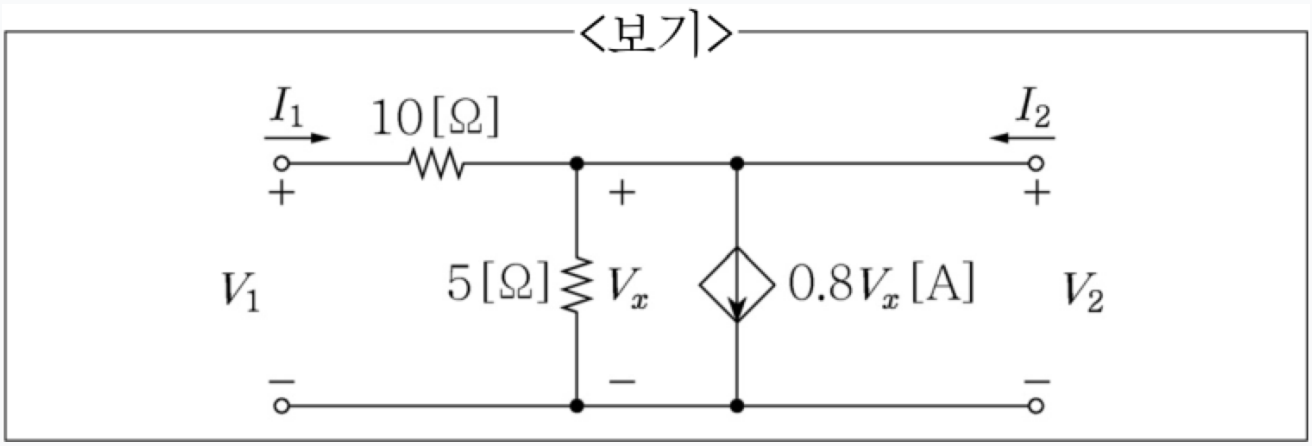
암기 포인트

실수부는 저항, $+jX$는 인덕터, $-jX$는 커패시터이다. $\omega = 1$이면 $Z_L = jL, Z_C = -j/C$로 바로 읽을 수 있다.

NoteBase

문 6. <보기>의 종속 전류원을 포함하는 2-포트 회로망의 Z-파라미터에서 Z_{11}의 값[Ω]은?

<보기>



① 5

② 9

③ 10

④ 11

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 Z-파라미터의 정의에서 $I_2 = 0$인 개방조건을 적용하여 $Z_{11} = V_1/I_1$을 구하는 문제이다.

조건 정리

- 구해야 할 값은 Z_{11}이다.
- Z_{11}은 $I_2 = 0$일 때의 V_1/I_1이다.
- 포트 2를 개방하면 $I_2 = 0$이고, 중앙 상단 노드 전압은 $V_x = V_2$이다.
- 접지로 내려가는 전류는 5Ω 저항 전류 $V_x/5$와 종속전류원 전류 $0.8V_x$의 합이다.

사용할 공식

$Z_{11} = \frac{V_1}{I_1}\Big|_{I_2 = 0}$

$I_1 = \frac{V_x}{5} + 0.8V_x$

$V_1 = 10I_1 + V_x$

이 공식을 쓰는 이유는 Z_{11}이 포트 2 개방조건에서 포트 1 입력전압과 입력전류의 비이기 때문이다. 따라서 먼저 $I_2 = 0$을 두고, 중앙 노드에서 KCL을 적용해 V_x와 I_1의 관계를 구해야 한다.

NoteBase

계산 과정

1. Z_{11}을 구할 때는 포트 2를 개방하므로 $I_2 = 0$이다.
2. 중앙 노드에서 KCL을 적용하면
$I_1 = \frac{V_x}{5} + 0.8V_x = 0.2V_x + 0.8V_x = V_x$
이므로 $V_x = I_1$이다.
3. 포트 1 전압은 10Ω 저항 전압강하와 노드전압의 합이므로
$V_1 = 10I_1 + V_x = 10I_1 + I_1 = 11I_1$
이다.
4. 따라서
$Z_{11} = \frac{V_1}{I_1} = 11\Omega$
이다.

선지별 해설

① X
- 5Ω는 접지로 연결된 저항 하나만 본 값이다. Z_{11}은 포트 1에서 본 전체 입력임피던스이므로 10Ω 직렬저항과 종속전류원이 만드는 효과까지 포함해야 한다. 틀린 값 5Ω → 올바른 값은 11Ω이다.

② X
- 9Ω는 중앙 노드 등가를 잘못 처리하여 직렬 10Ω에서 일부를 빼는 식으로 판단한 값이다. 실제로는 중앙 노드에서 $I_1 = V_x$가 되어 그 부분의 등가임피던스가 1Ω이고, 직렬합은 $10 + 1 = 11$이다. 틀린 값 9Ω → 올바른 값은 11Ω이다.

③ X
- 10Ω는 왼쪽 직렬저항만 본 값이다. 그러나 $I_2 = 0$이어도 5Ω 저항과 종속전류원 가지는 그대로 살아 있으므로 입력임피던스에 1Ω가 더해진다. 틀린 값 10Ω → 올바른 값은 11Ω이다.

④ O
- $I_2 = 0$에서 중앙 노드 KCL로 $I_1 = V_x$, 따라서 $V_1 = 10I_1 + V_x = 11I_1$이다. 그러므로 $Z_{11} = V_1/I_1 = 11\Omega$가 되어 옳다.

오답 포인트

③의 10Ω는 회로에서 가장 먼저 보이는 값이라서 쉽게 고르기 쉬운 함정이다. 그러나 Z_{11}은 앞의 10Ω만이 아니라 그 뒤 노드에 연결된 5Ω 저항과 종속전류원까지 포함한 전체 입력임피던스이다. 또한 $I_2 = 0$은 포트 2 개방을 뜻할 뿐 $V_2 = 0$을 뜻하지 않는다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

2포트 회로에서 Z_{11}은 먼저 $I_2 = 0$을 두고 포트 1에서 보이는 전체 임피던스를 구하는 순서로 판단한다.
개방조건에서는 반대 포트 전류가 0이 되며, 종속소자는 제거하지 않고 KCL이나 KVL에 그대로 포함한다.

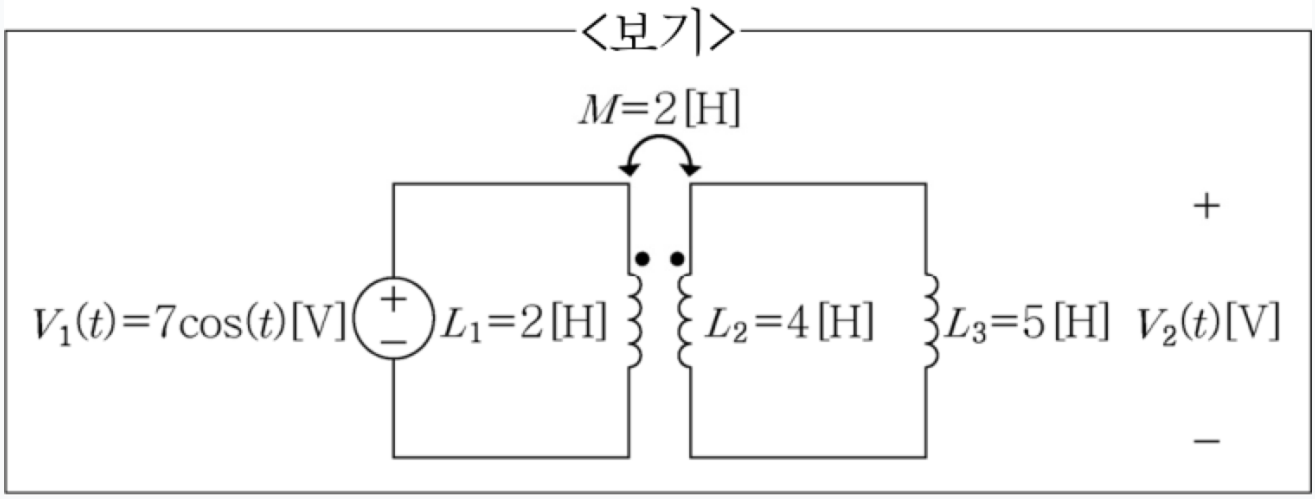
암기 포인트

Z_{11}은 $I_2 = 0$에서의 V_1/I_1이다. 개방은 전류 0이고, 종속소자는 끝까지 포함한다.

NoteBase

문 7. 1차코일 L_1은 2[H], 2차코일 L_2는 4[H], 상호인덕턴스 M은 2[H]인 변압기를 이용하여 <보기>와 같은 회로를 구성하였다. 입력 전압 $V_1(t)$를 <보기>와 같이 인가하였을 때, 출력 전압 $V_2(t)$[V]는?

<보기>



① $5\cos(t)$

② $7\cos(t)$

③ $7\sqrt{2}\cos(t)$

④ $14\cos(t)$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 점표시를 반영한 상호인덕턴스 연립식으로 2차측 전류를 구한 뒤 L_3 양단 전압을 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $L_1 = 2H, L_2 = 4H, L_3 = 5H, M = 2H, v_1(t) = 7\cos t$이다.
각주파수는 $\omega = 1rad/s$이다.
구해야 할 값은 L_3 양단의 출력 전압 $v_2(t)$이다.
두 메쉬 전류를 시계방향으로 잡으면 L_1 전류는 점단자로 들어가고 L_2 전류는 점단자에서 나오므로 상호항의 부호는 음수이다.

NoteBase

사용할 공식

연립 메쉬식은 다음과 같다.

$V_1 = j\omega L_1 I_1 - j\omega M I_2$

$0 = -j\omega M I_1 + j\omega(L_2 + L_3) I_2$

이 공식을 쓰는 이유는 1차측과 2차측이 상호인덕턴스로 결합되어 있고, 2차측은 L_2와 L_3가 직렬인 폐회로이기 때문이다.

계산 과정

$\omega = 1$이므로 식은

$7 = j2I_1 - j2I_2$

$0 = -j2I_1 + j9I_2$

가 된다.

둘째 식에서

$I_2 = \frac{2}{9} I_1$

이다.

이를 첫째 식에 대입하면

$7 = j2I_1 - j2 \cdot \frac{2}{9} I_1 = j\frac{14}{9} I_1$

이므로

$I_1 = -j4.5, \quad I_2 = -j1$

이다.

출력 전압은 L_3 양단 전압이므로

$V_2 = j\omega L_3 I_2 = j \cdot 5 \cdot (-j1) = 5$

이다.

따라서 $v_2(t) = 5\cos t$이다.

선지별 해설

① O이다. 연립식으로 구한 2차측 전류가 $I_2 = -j1$이므로 L_3 양단 전압은 $V_2 = j5I_2 = 5$이다. 따라서 $v_2(t) = 5\cos t$가 맞다.

② X이다. $7\cos t$는 입력 전압 크기 7을 출력으로 그대로 옮긴 값에 가깝고, 상호인덕턴스 결합과 2차측 직렬 리액턴스 $j9$를 반영하지 못한 값이다. 틀린 값은 $7\cos t$이고, 올바른 값은 $5\cos t$이다.

③ X이다. $7\sqrt{2}\cos t$는 $\sqrt{L_2/L_1} = \sqrt{2}$를 이상변압기 권수비처럼 잘못 적용한 값으로 볼 수 있다. 이 문제는 $M = \sqrt{L_1 L_2}$인 완전결합 변압기가 아니고, 출력도 L_3 양단 전압이므로 이런 비례식이 성립하지 않는다. 틀린 값은 $7\sqrt{2}\cos t$이고, 올바른 값은 $5\cos t$이다.

④ X이다. $14\cos t$는 $L_2/L_1 = 2$를 전압비로 단순 치환한 값으로, 점표시 부호와 2차측 회로방정식을 무시한 결과이다. 틀린 값은 $14\cos t$이고, 올바른 값은 $5\cos t$이다.

NoteBase

오답 포인트

상호인덕턴스 문제에서 가장 흔한 실수는 점표시를 무시하고 $j\omega M$의 부호를 잘못 넣는 실수이다. 또 L_2와 L_3가 직렬이라는 점을 놓치고 2차측 전체 리액턴스를 $j4$로 잘못 두면 계산값이 달라진다. 이상변압기 전압비를 그대로 적용하는 실수도 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

결합코일 계산형은 먼저 전류 방향과 점단자 진입 여부를 정해 상호항 부호를 확정하고, 그다음 각 루프의 전체 자기인덕턴스를 넣어 연립식으로 푼 뒤, 마지막에 요구한 소자 양단 전압인지 전체 2차측 전압인지를 구분해 판단한다.

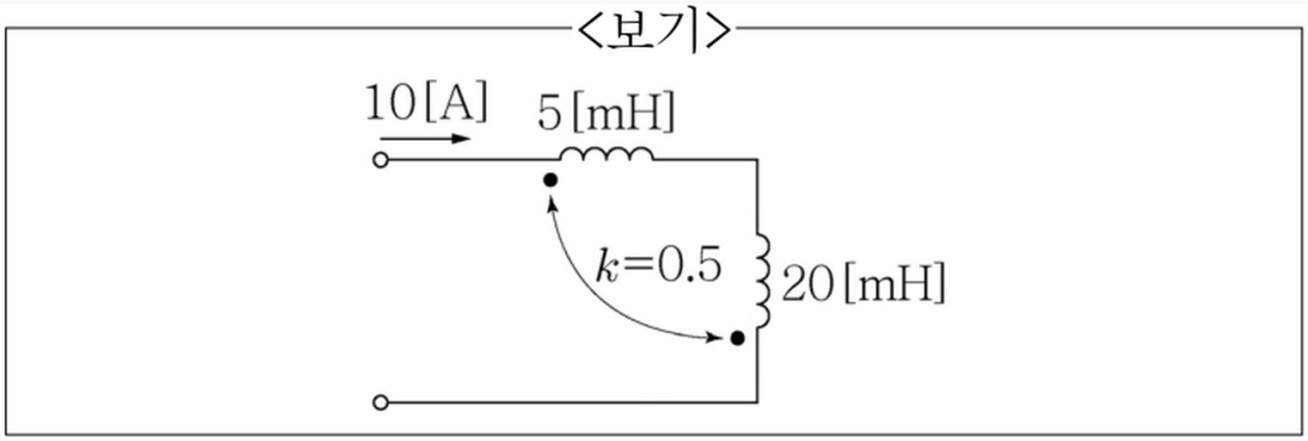
암기 포인트

결합코일은 점표시로 $\pm j\omega M$ 부호를 먼저 정하고, 출력 전압은 요구한 소자 양단에서 따로 계산한다.

NoteBase

문 8. <보기>의 결합 인덕터에 저장된 에너지의 값[J]은? (단, k는 결합 계수이다.)

<보기>



① 0.25

② 0.5

③ 0.75

④ 1

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 점표시를 보고 결합 인덕터의 직렬 가극성/감극성을 판별한 뒤 저장 에너지 $W = \frac{1}{2}Li^2$를 적용하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $L_1 = 5\text{mH}, L_2 = 20\text{mH}, k = 0.5, i = 10\text{A}$이다.
구해야 할 값은 결합 인덕터 전체에 저장된 에너지이다.
전류는 5 mH 코일의 점단자로 들어가고 20 mH 코일의 비점단자로 들어가므로 직렬 감극성 연결이다.

사용할 공식

상호 인덕턴스는 $M = k\sqrt{L_1 L_2}$이다.
직렬 감극성 등가 인덕턴스는 $L_{eq} = L_1 + L_2 - 2M$이다.
저장 에너지는 $W = \frac{1}{2}L_{eq}i^2$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 두 코일에 같은 전류가 흐르는 직렬 결합 회로이고, 점표시 기준으로 한 코일은 점단자 유입, 다른 코일은 비점단자 유입이어서 상호자속이 서로 감산되기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

먼저 상호 인덕턴스를 구하면 $M = 0.5\sqrt{5 \times 20}\,\text{mH} = 0.5 \times 10\text{mH} = 5\text{mH}$이다.
따라서 등가 인덕턴스는 $L_{eq} = 5 + 20 - 2 \times 5 = 15\text{mH} = 0.015\text{H}$이다.
저장 에너지는 $W = \frac{1}{2} \times 0.015 \times 10^2 = 0.75\text{J}$이다.

선지 판단

1번: X. 0.25 J가 아니라 0.75 J이다. 이 값은 직렬 감극성에서 $-2M$를 빠뜨리고 $L_{eq} = L_1 + L_2 - M = 20\text{mH}$처럼 잘못 계산했을 때 나오는 값이다. 올바르게는 상호항이 두 번 반영되어야 한다.
2번: X. 0.5 J가 아니라 0.75 J이다. 이 값은 상호 인덕턴스를 아예 무시하고 $L_{eq} = L_1 + L_2 = 25\text{mH}$로 두는 실수에서 나온다. 올바르게는 결합 계수 k로 구한 M을 반드시 반영해야 한다.
3번: O. 직렬 감극성이라 $L_{eq} = 15\text{mH}$이고, $W = \frac{1}{2}L_{eq}i^2 = 0.75\text{J}$이므로 맞다.
4번: X. 1 J가 아니라 0.75 J이다. 이 값은 점표시를 반대로 읽어 직렬 가극성으로 착각하고 $+2M$을 적용해 $L_{eq} = 35\text{mH}$로 계산할 때 나온다. 올바르게는 한 코일만 점단자 유입이므로 감극성이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 점표시를 보지 않고 무조건 $L_1 + L_2 \pm 2M$만 외워 대입하는 것이다. 이 문제는 전류가 어느 단자로 들어가는지를 같이 봐야 하며, 한쪽만 점단자 유입이면 감극성이라 $-2M$가 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

결합 인덕터 문제는 먼저 각 코일 전류가 점단자로 들어가는지부터 확인하고, 둘 다 점단자 유입 또는 둘 다 비점단자 유입이면 가극성, 하나만 점단자 유입이면 감극성으로 판단한다. 그다음 $M = k\sqrt{L_1 L_2}$, L_{eq}, $W = \frac{1}{2}Li^2$ 순서로 계산하면 된다.

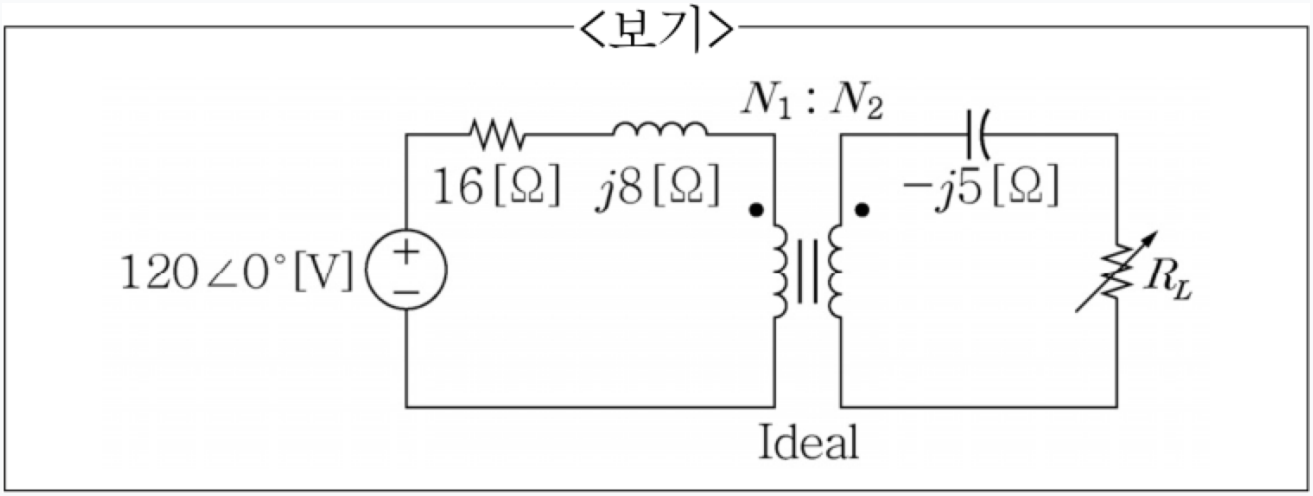
암기 포인트

결합 인덕터 에너지는 점표시 판별이 먼저이고, 직렬 감극성은 $L_1 + L_2 - 2M$, 직렬 가극성은 $L_1 + L_2 + 2M$이다.

NoteBase

문 9. <보기>와 같은 이상적인 변압기에서 최대 전력을 전달하기 위한 임피던스 정합 조건 R_L의 값[Ω]과 그 때의 최대전력[W]은? (단, 부하임피던스는 순저항이고, $\frac{N_2}{N_1} = 0.5$이다.)

<보기>



① R_L: 2[Ω], 최대전력: 100[W]

② R_L: 2[Ω], 최대전력: 120[W]

③ R_L: 5[Ω], 최대전력: 160[W]

④ R_L: 5[Ω], 최대전력: 200[W]

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 이상변압기의 임피던스 환산을 이용해 순저항 부하 R_L의 최대전력 조건과 그때의 전력을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 1차측 전원은 $120\angle 0^\circ V$, 직렬 임피던스는 $16 + j8\Omega$이다.
2차측 부하는 $-j5\Omega$와 순저항 R_L의 직렬회로이다.
권수비는 $\frac{N_2}{N_1} = 0.5$이므로 $\frac{N_1}{N_2} = 2$이다.
따라서 2차측 임피던스를 1차측으로 환산하면 $Z'_L = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 (R_L - j5) = 4R_L - j20$이다.

NoteBase

사용할 공식

전체 1차측 임피던스는

$Z_{\text{eq}} = (16 + j8) + (4R_L - j20) = (16 + 4R_L) - j12$

이다.

따라서 1차전류는

$I_1 = \frac{120}{(16 + 4R_L) - j12}$

이다.

이상변압기에서 $I_2 = \frac{N_1}{N_2} I_1 = 2I_1$이므로 부하전력은

$P_L = |I_2|^2 R_L = 4|I_1|^2 R_L$

이다.

이 공식을 쓰는 이유는 변압기 때문에 2차측 부하가 1차측에 반사되어 전체 전류가 결정되고, 실제 R_L 전력은 2차전류로 계산해야 하기 때문이다.

계산 과정

전류 크기는

$|I_1|^2 = \frac{120^2}{(16 + 4R_L)^2 + 12^2}$

이므로

$P_L = 4 \cdot \frac{120^2}{(16 + 4R_L)^2 + 12^2} R_L = \frac{57600 R_L}{(16 + 4R_L)^2 + 144}$

이다.

이를 정리하면

$P_L = \frac{3600 R_L}{R_L^2 + 8R_L + 25}$

이다.

최대값 조건을 위해 미분하면

$\frac{dP_L}{dR_L} \propto 25 - R_L^2 = 0$

이므로 $R_L = 5\Omega$이다.

이 값을 대입하면

$P_{\max} = \frac{3600 \cdot 5}{5^2 + 8 \cdot 5 + 25} = \frac{18000}{90} = 200W$

이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $R_L = 2\Omega$는 최대전력 조건이 아니다. 실제 최대조건은 $R_L = 5\Omega$이다. 또한 $R_L = 2\Omega$일 때 전력은 $P_L = 160W$이므로 100 W도 맞지 않는다. 틀린 표현은 '최대전력을 위한 R_L가 2\,\Omega'와 '최대전력이 100 W'라는 부분이고, 올바르게는 $R_L = 5\Omega$, $P_{\max} = 200W$이다.
② X: $R_L = 2\Omega$는 최대전력 조건이 아니며, 이때 전력도 120 W가 아니라 160 W이다. 틀린 표현은 '최대전력을 위한 R_L가 2\,\Omega'와 '최대전력이 120 W'라는 부분이고, 올바르게는 $R_L = 5\Omega$, $P_{\max} = 200W$이다.
③ X: $R_L = 5\Omega$는 맞지만 최대전력은 160 W가 아니라 200 W이다. 틀린 표현은 '최대전력이 160 W'라는 부분이고, 올바르게는 200 W이다. 이런 오답은 2차전류와 1차전류의 비 또는 환산임피던스 반영을 끝까지 하지 않으면 나오기 쉽다.
④ O: $R_L = 5\Omega$일 때 부하전력이 최대가 되고, 그 값은 200 W이다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.

오답 포인트

변압기 문제에서 가장 흔한 실수는 2차측 임피던스를 1차측으로 환산할 때 권수비 제곱을 빠뜨리는 실수와, $-j5\Omega$가 환산되면 $-j20\Omega$가 된다는 점을 놓치는 실수이다. 또 최대전력은 R_L 하나만 보는 것이 아니라 전체 회로의 전류식까지 만든 뒤 판단해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상변압기 최대전력 문제는 가변부하를 한쪽으로 환산한 뒤 전체 임피던스를 하나로 정리하고, $P_L = |I|^2 R$를 R_L의 함수로 만든 다음 최대조건을 찾는 순서로 판단한다. 부하가 순저항이면 남는 고정 리액턴스까지 포함한 식으로 최대값을 구해야 한다.

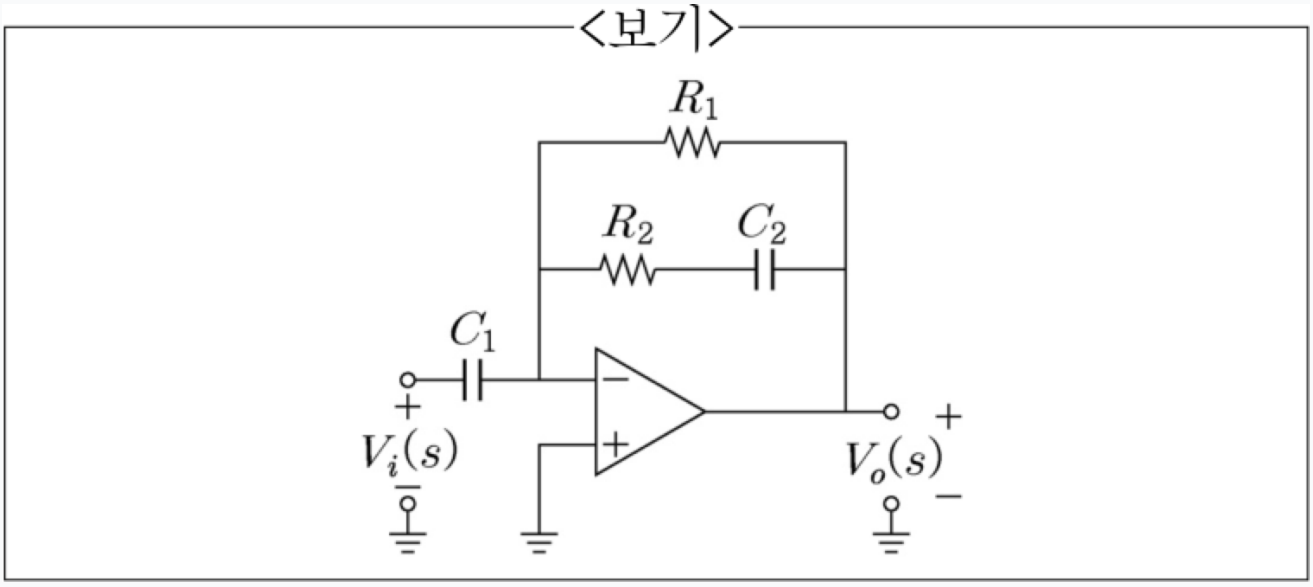
암기 포인트

이상변압기 환산은 $Z' = a^2 Z$, 전류비는 $I_2 = aI_1 (a = N_1/N_2)$이다. 최대전력은 환산 후 $P(R)$를 만든 뒤 결정한다.

NoteBase

문 10. <보기>의 회로에서 전달함수 $H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$는? (단, 연산증폭기는 이상적인 연산증폭기이다.)

<보기>



① $-\frac{R_1C_1s(1+R_2C_2s)}{1+sC_2(R_1+R_2)}$
② $-\frac{R_1C_2s(1+R_2C_1s)}{1+sC_1(R_1+R_2)}$
③ $-\frac{R_1C_1s(1+R_2C_2s)}{R_1C_1+sC_1R_2}$
④ $-\frac{R_1C_2s(1+R_2C_1s)}{R_1C_1+sC_1R_2}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 이상적인 반전 연산증폭기에서 입력 임피던스와 피드백 임피던스를 구해 전달함수 $H(s) = V_o(s)/V_i(s)$를 정리할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

입력단은 C_1 하나이므로 $Z_{in} = 1/(sC_1)$이다.
피드백단은 위 가지의 R_1과 아래 가지의 R_2 뒤에 C_2가 직렬인 회로가 병렬 연결된 형태이므로 $Z_f = R_1 \parallel (R_2 + 1/(sC_2))$이다.
이상적 연산증폭기이므로 비반전 입력이 접지이면 반전 입력 노드는 가상접지로 본다.

사용할 공식

반전 증폭기의 전달함수는 $H(s) = -Z_f/Z_{in}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 입력 신호가 반전 입력으로 C_1을 통해 들어가고, 출력에서 반전 입력으로 피드백 임피던스가 걸린 전형적인 반전형 구조이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

먼저 피드백 임피던스를 구하면
$Z_f = R_1 \parallel \left(R_2 + \frac{1}{sC_2}\right) = \frac{R_1\left(R_2 + \frac{1}{sC_2}\right)}{R_1 + R_2 + \frac{1}{sC_2}}$
이다.
분자와 분모에 sC_2를 곱하면
$Z_f = \frac{R_1(1 + R_2C_2s)}{1 + sC_2(R_1 + R_2)}$
이다.
따라서
$H(s) = -\frac{Z_f}{Z_{in}} = -sC_1Z_f = -\frac{R_1C_1s(1 + R_2C_2s)}{1 + sC_2(R_1 + R_2)}$
가 된다.

선지 판단

1번 O: $Z_{in} = 1/(sC_1)$, $Z_f = R_1 \parallel (R_2 + 1/(sC_2))$로 계산하면
$H(s) = -R_1C_1s(1 + R_2C_2s)/(1 + sC_2(R_1 + R_2))$가 되어 맞다.
2번 X: 입력 커패시터와 피드백 커패시터의 위치를 뒤바꾼 식이다. 틀린 표현은 분자의 $R_1C_2s(1 + R_2C_1s)$와 분모의 $1 + sC_1(R_1 + R_2)$이다. 올바르게는 $R_1C_1s(1 + R_2C_2s)$와 $1 + sC_2(R_1 + R_2)$가 들어가야 한다.
3번 X: 분자는 1번과 같지만 분모를 병렬합 공식으로 정리하지 못한 식이다. 틀린 표현은 분모의 $R_1C_1 + sC_1R_2$이다. 올바르게는 $1 + sC_2(R_1 + R_2)$가 되어야 한다.
4번 X: 2번처럼 C_1, C_2의 역할을 뒤바꾼 데다 3번처럼 분모도 잘못 정리한 식이다. 올바르게는 $-R_1C_1s(1 + R_2C_2s)/(1 + sC_2(R_1 + R_2))$이다.

오답 포인트

입력 쪽의 C_1은 $-Z_f/Z_{in}$에서 바깥의 sC_1로 올라오고, 피드백 쪽의 C_2는 병렬합을 정리한 뒤 분모의 $1 + sC_2(R_1 + R_2)$에 남는다. 이 위치를 바꾸면 2번, 4번 같은 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

연산증폭기 전달함수 문제는 먼저 반전형인지 비반전형인지 구분하고, 그다음 Z_{in}과 Z_f를 각각 구한 뒤 $H(s) = -Z_f/Z_{in}$에 대입해 정리하면 된다. 병렬 연결은 끝까지 임피던스 형태로 계산한 뒤 마지막에 s식으로 정리한다.

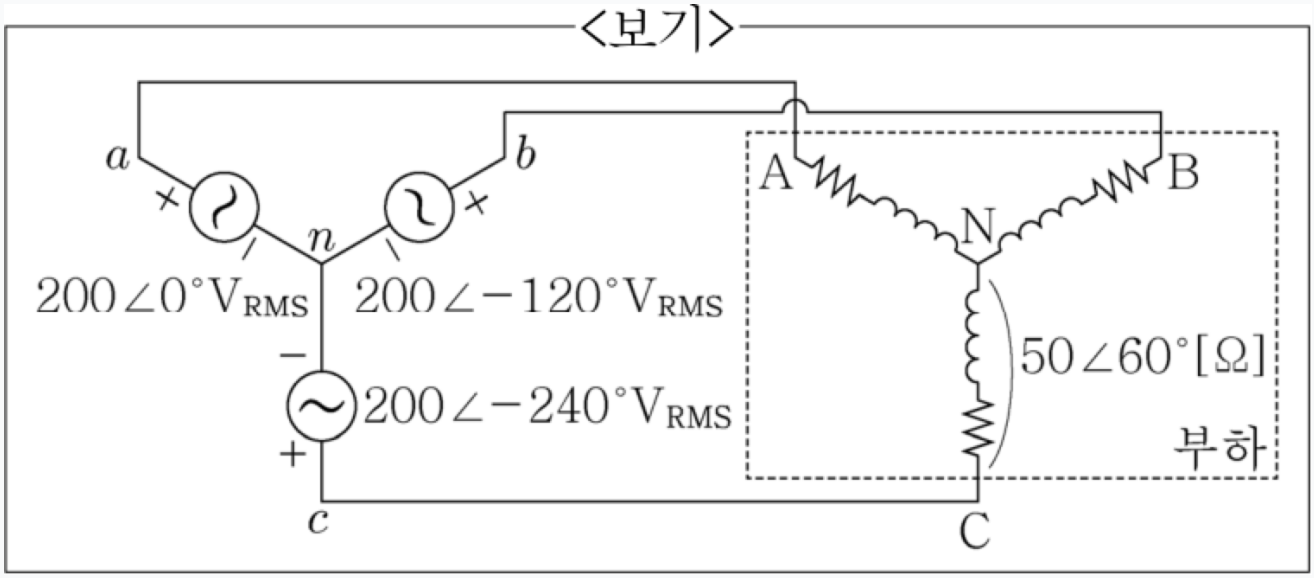
암기 포인트

반전형 전달함수는 $H(s) = -Z_f/Z_{in}$이고, 입력 커패시터는 바깥의 sC, 피드백 직렬 RC는 $1 + RCs$ 형태로 나타난다.

NoteBase

문 11. <보기>의 평형 3상 Y-Y 회로의 부하에서 소모되는 전체 평균전력[W]은?

<보기>



① 300

② 600

③ 900

④ 1,200

정답 4번

출제 포인트

평형 3상 Y-Y 회로에서 상전압, 상임피던스, 역률각을 이용해 전체 유효전력 $P = 3V_{ph}I_{ph}\cos\phi$를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 각 상 전원전압은 $200\angle 0^\circ\, V_{RMS}$, $200\angle -120^\circ\, V_{RMS}$, $200\angle -240^\circ\, V_{RMS}$이다.
부하: 평형 Y결선 부하의 각 상 임피던스는 $50\angle 60^\circ\,\Omega$이다.
구해야 할 값: 부하에서 소모되는 전체 평균전력이다.
주의할 조건: 평형 Y-Y이므로 각 부하 상전압의 크기는 200 V이고, 평균전력은 임피던스 각도 60 °에 대한 역률까지 반영한 유효전력으로 계산된다.

NoteBase

사용할 공식

사용 공식은
$I_{ph} = \frac{V_{ph}}{Z_{ph}}, \qquad P_{total} = 3V_{ph}I_{ph}\cos\phi$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 평형 3상 Y부하의 전체 유효전력이 각 상의 유효전력 $V_{ph}I_{ph}\cos\phi$의 3배이기 때문이다.

계산 과정

1. 상전류의 크기는
$|I_{ph}| = \frac{|V_{ph}|}{|Z_{ph}|} = \frac{200}{50} = 4A$
이다.
2. 임피던스 각도가 60°이므로 역률은
$\cos\phi = \cos 60^\circ = 0.5$
이다.
3. 한 상의 유효전력은
$P_{ph} = V_{ph}I_{ph}\cos\phi = 200 \times 4 \times 0.5 = 400W$
이다.
4. 전체 평균전력은
$P_{total} = 3P_{ph} = 3 \times 400 = 1200W$
이다.

선지별 해설

① X
계산된 전체 평균전력은 1,200 W이므로 300 W는 맞지 않는다. 틀린 표현은 "300 W"이며, 올바르게는 "1,200 W"이다.

② X
한 상 전력이 400 W, 전체 3상 전력이 1,200 W이므로 600 W는 전체 평균전력이 아니다. 틀린 표현은 "600 W"이며, 올바르게는 "1,200 W"이다.

③ X
평형 3상 부하의 전체 유효전력은 $3V_{ph}I_{ph}\cos\phi$로 계산되며 결과는 1,200 W이다. 따라서 900 W는 계산값과 다르다. 틀린 표현은 "900 W"이며, 올바르게는 "1,200 W"이다.

④ O
상전류는 4 A, 역률은 0.5이므로 한 상 전력은 400 W이고 전체 전력은 $3 \times 400 = 1200W$이다. 따라서 1,200 W가 옳다.

NoteBase

오답 포인트

주어진 200 V를 선간전압이 아니라 상전압으로 읽어야 한다는 점이 핵심 함정이다. 또한 임피던스의 위상각 60 °를 보고 역률 cos 60 °를 반드시 곱해야 하는데, 이 항을 빠뜨리면 유효전력이 아니라 피상전력 쪽 계산으로 흘러 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

평형 3상 전력 문제는 먼저 결선에서 상전압과 선간전압을 구분하고, 다음에 $I_{ph} = V_{ph}/Z_{ph}$를 구한 뒤, 마지막에 $P = 3V_{ph}I_{ph}\cos\phi$를 적용하는 순서로 판단하면 된다.

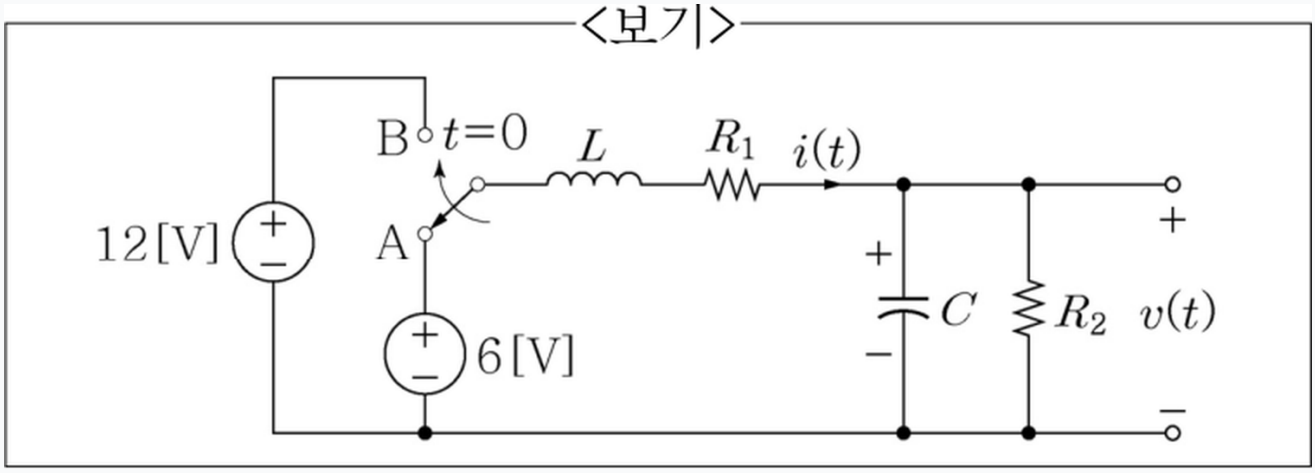
암기 포인트

평형 Y부하의 전체 유효전력은 3× 상전압 × 상전류 × φ이다.

NoteBase

문 12. <보기>의 회로에서 스위치는 $t < 0$일 때 A에서 오랫동안 닫혀있었다. $t = 0$에서 스위치를 A에서 B로 이동할 경우, $0 \le t$에서 전압 $v(t)$가 임계감쇠가 되기 위한 저항 R_1의 값[Ω]은? (단, $R_2 = 1[\Omega]$, $L = 1[H]$, $C = 1[F]$이다.)

<보기>



① 1

② 2

③ 3

④ 4

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 스위치 전환 뒤 회로의 자연응답 특성방정식을 세워 임계감쇠 조건을 만족하는 R_1을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:

- $R_2 = 1\Omega, L = 1H, C = 1F$이다.
- $t < 0$에는 6 V가, $t \ge 0$에는 12 V가 인가된다.

구해야 할 값:

- $0 \le t$에서 $v(t)$가 임계감쇠가 되게 하는 R_1이다.

주의할 조건:

- 감쇠 형태는 입력 전압의 크기보다 특성방정식으로 결정된다.

NoteBase

사용할 공식

출력 노드 전류는 $i(t) = C\frac{dv}{dt} + \frac{v}{R_2} = \frac{dv}{dt} + v$이다.
직렬 구간 KVL은 $V_s - v = L\frac{di}{dt} + R_1 i$이다.
이를 대입하면
$V_s = \frac{d^2v}{dt^2} + (R_1 + 1)\frac{dv}{dt} + (R_1 + 1)v$
이므로 자연응답의 특성방정식은
$s^2 + (R_1 + 1)s + (R_1 + 1) = 0$
이다.
이 공식을 쓰는 이유:
- 임계감쇠 여부는 2차 회로의 특성방정식 중근 조건으로 판단할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 출력 노드에서 $i = v' + v$를 만든다.
2. 이를 KVL에 대입하면 $V_s = v'' + (R_1 + 1)v' + (R_1 + 1)v$가 된다.
3. 자연응답의 특성방정식은 $s^2 + (R_1 + 1)s + (R_1 + 1) = 0$이다.
4. 임계감쇠 조건은 판별식이 0인 경우이므로
$(R_1 + 1)^2 - 4(R_1 + 1) = 0$
$(R_1 + 1)(R_1 - 3) = 0$
이다.
5. 물리적으로 유효한 저항값은 $R_1 = 3\Omega$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- $R_1 = 1$이면 특성방정식은 $s^2 + 2s + 2 = 0$이고 판별식은 $4 - 8 = -4$이다. 부족감쇠이므로 임계감쇠가 아니다.
- 틀린 표현은 값이 1이라는 점이며, 올바르게는 $R_1 = 3\Omega$일 때 임계감쇠가 된다.

② X
- $R_1 = 2$이면 특성방정식은 $s^2 + 3s + 3 = 0$이고 판별식은 $9 - 12 = -3$이다. 역시 부족감쇠이다.
- 틀린 표현은 값이 2라는 점이며, 올바르게는 $R_1 = 3\Omega$이어야 한다.

③ O
- $R_1 = 3$이면 특성방정식은 $s^2 + 4s + 4 = 0 = (s + 2)^2$이다. 중근을 가지므로 임계감쇠 조건을 정확히 만족한다.

④ X
- $R_1 = 4$이면 특성방정식은 $s^2 + 5s + 5 = 0$이고 판별식은 $25 - 20 = 5$이다. 서로 다른 두 실근을 가지는 과감쇠이므로 임계감쇠가 아니다.
- 틀린 표현은 값이 4라는 점이며, 올바르게는 $R_1 = 3\Omega$일 때가 임계감쇠이다.

오답 포인트

입력 전압이 6 V에서 12 V로 바뀌는 점에 시선이 묶이면 감쇠 조건도 전압 크기에 따라 바뀐다고 오해하기 쉽다. 이 문항의 핵심은 강제응답이 아니라 자연응답의 특성방정식이며, R_2와 C가 병렬이어서 $i = v' + v$가 된다는 점을 빠뜨리면 계수를 잘못 세우게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

RLC 2차 회로에서 임계감쇠를 묻는 문제는 먼저 저장소자 두 개가 만드는 2차 특성방정식을 세운다. 그다음 판별식 $D = 0$ 조건만 적용하면 초기전압이나 입력 전압 크기를 길게 계산하지 않아도 된다.

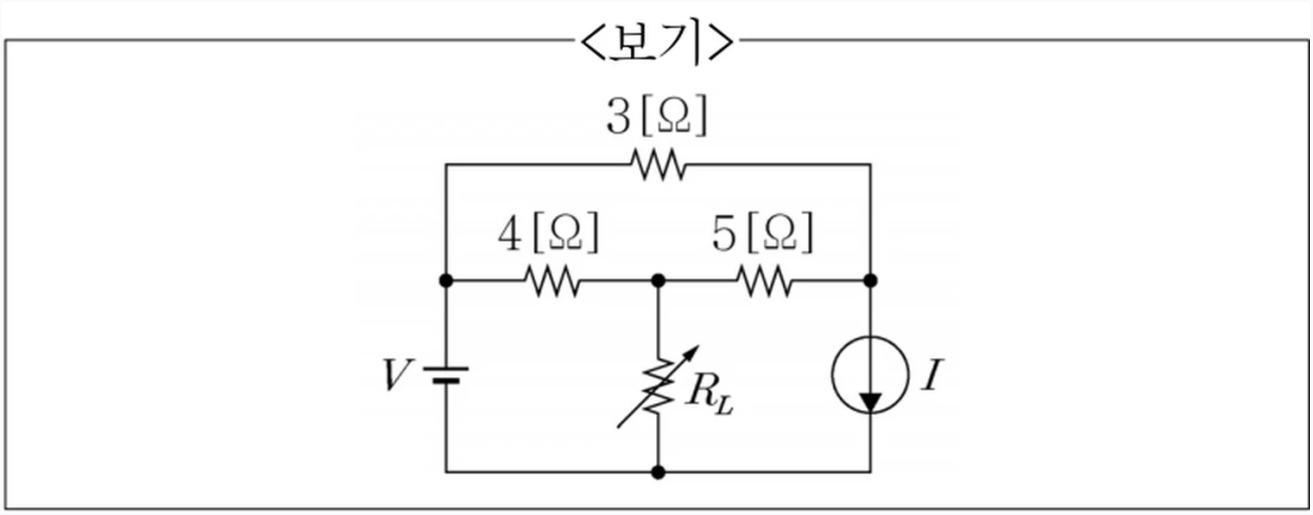
암기 포인트

임계감쇠는 2차 특성방정식의 중근 조건 $D = 0$으로 판단하며, 이 회로는 $s^2 + (R_1 + 1)s + (R_1 + 1) = 0$이 된다.

NoteBase

문 13. <보기>의 회로에서 부하저항 R_L에 최대 전력이 전달되기 위한 부하저항 R_L의 값[Ω]은?

<보기>



① $\frac{8}{3}$
② $\frac{9}{4}$
③ $\frac{35}{12}$
④ $\frac{60}{47}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 최대 전력 전달 조건 $R_L = R_{th}$를 이용해 부하저항 값을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 회로에서 R_L 단자에서 본 테브난 저항을 구해야 한다.
최대 전력 전달 조건에서는 부하저항이 테브난 저항과 같아진다.
독립 전원 제거 규칙은 전압원 단락, 전류원 개방이다.

사용할 공식

최대 전력 전달 조건은 $R_L = R_{th}$이다.
R_{th}는 R_L를 떼어 내고 독립 전원을 제거한 뒤 그 단자에서 본 등가저항이다.
이 공식을 쓰는 이유는 부하에 전달되는 전력이 최대가 되는 조건이 부하저항과 나머지 회로의 테브난 저항이 일치하는 경우이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 전압원 V는 단락하고 전류원 I는 개방한다.
2. 그러면 R_L 단자에서 볼 때 4Ω는 바로 하단 노드로 연결되고, 5Ω는 오른쪽 노드를 거쳐 3Ω와 직렬이 되어 8Ω가 된다.
3. 따라서
$R_{th} = 4 \parallel (5 + 3) = \frac{4 \times 8}{4 + 8} = \frac{32}{12} = \frac{8}{3}\Omega$
4. 최대 전력 전달 조건에서 $R_L = R_{th}$이므로 $R_L = \frac{8}{3}\Omega$이다.

선지별 해설

① O: 계산 결과가 $\frac{8}{3}\Omega$이므로 옳다.
② X: $\frac{9}{4}\Omega$는 전원 제거 뒤의 직렬·병렬 관계를 바르게 반영하지 못한 값이다. 틀린 값 $\frac{9}{4}\Omega$ → 올바르게는 $4 \parallel (5 + 3) = \frac{8}{3}\Omega$이다.
③ X: $\frac{35}{12}\Omega$는 3Ω와 4Ω를 같은 가지의 직렬로 잘못 묶고, 그 결과를 5Ω와 병렬로 본 경우의 값이다. 틀린 값 $\frac{35}{12}\Omega$ → 올바르게는 5Ω와 3Ω가 직렬이고 그 직렬값 8Ω와 4Ω가 병렬이다.
④ X: $\frac{60}{47}\Omega$는 전류원을 개방하지 않고 단락하여 $4\Omega \parallel 5\Omega \parallel 3\Omega$처럼 계산할 때 나오는 값이다. 틀린 값 $\frac{60}{47}\Omega$ → 올바르게는 전류원을 개방해야 하므로 $4\Omega \parallel (5 + 3)$으로 계산한다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 전원 제거 규칙과 저항 연결 관계를 동시에 틀리기 쉽다는 점이다. 전압원은 단락하고 전류원은 개방해야 하며, 그 다음에야 3Ω와 5Ω의 직렬, 그 직렬값과 4Ω의 병렬 관계가 드러난다.

다시 나오면 이렇게 판단

최대 전력 전달 문항은 먼저 $R_L = R_{th}$를 떠올리고, 독립 전원을 제거한 회로를 다시 본 뒤 R_L 단자에서 보이는 직렬·병렬 관계만 정리하면 된다.

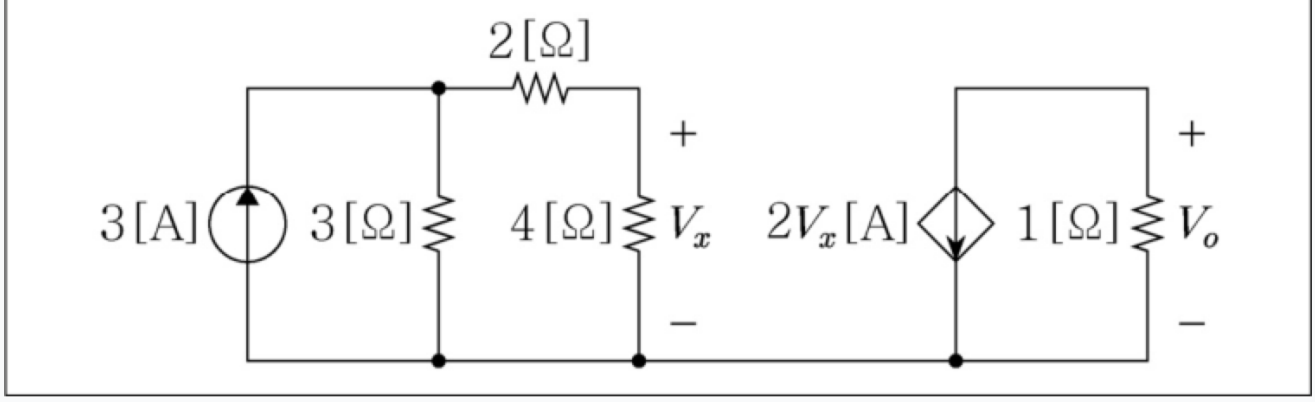
암기 포인트

최대 전력 전달은 $R_L = R_{th}$, 전압원은 단락, 전류원은 개방이다.

NoteBase

문 14. <보기>의 회로에서 1[Ω] 저항에 걸리는 전압 V_o의 값[V]은?

<보기>



① +16

② +8

③ -16

④ -8

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 왼쪽 회로에서 V_x를 구한 뒤, 그 값을 제어변수로 하는 종속전류원의 방향과 KCL 부호를 반영하여 오른쪽 1Ω 저항의 전압 V_o를 구하는 문제이다.

조건 정리

- 왼쪽 회로에는 3A 전류원, 3Ω 저항, 2Ω와 4Ω의 직렬 가지가 있다.
- V_x는 4Ω 저항의 위쪽이 +, 아래쪽이 −인 전압이다.
- 오른쪽 회로에는 아래 방향의 종속전류원 $2V_xA$와 1Ω 저항이 병렬로 연결되어 있다.
- V_o는 1Ω 저항의 위쪽이 +, 아래쪽이 −인 전압이다.

사용할 공식

KCL: 한 노드로 들어오는 전류의 합 = 나가는 전류의 합

$V = IR$

이 공식을 쓰는 이유는 왼쪽 회로는 병렬 가지 전류 분배로 V_x를 구할 수 있고, 오른쪽 회로는 종속전류원과 저항만 연결된 한 노드의 KCL로 V_o를 바로 정할 수 있기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 왼쪽 위 노드 전압을 V_A라 두면, 그 노드에서 아래로 흐르는 전류는 3Ω 가지의 $\frac{V_A}{3}$와 $2\Omega + 4\Omega = 6\Omega$ 가지의 $\frac{V_A}{6}$이다.
$3 = \frac{V_A}{3} + \frac{V_A}{6}$
따라서 $V_A = 6V$이다.
2. 2Ω와 4Ω 직렬 가지 전류는 $\frac{6}{6} = 1A$이다. 따라서 4Ω 저항 전압은
$V_x = 1 \times 4 = 4V$
이다.
3. 오른쪽 회로의 위 노드에서 아래 방향을 +로 잡아 KCL을 쓰면, 저항 전류는 $\frac{V_o}{1} = V_o$, 종속전류원 전류는 $2V_x$이다.
$V_o + 2V_x = 0$
$V_x = 4V$를 대입하면
$V_o + 8 = 0$
이므로
$V_o = -8V$
이다.

선지별 해설

① X
- V_o의 실제값은 $-8V$이므로 $+16V$는 될 수 없다. 이 값은 왼쪽에서 V_x를 $8V$로 잘못 구하고 오른쪽 부호까지 반대로 본 경우의 오답이다. 올바르게는 $V_x = 4V$, $V_o = -8V$이다.

② X
- 크기 8만 맞고 부호가 틀렸다. 오른쪽 종속전류원이 아래 방향이므로 저항 전류는 위로 $8A$가 되어야 하고, 따라서 V_o는 음수인 $-8V$가 된다. 올바르게는 $+8V$가 아니라 $-8V$이다.

③ X
- $-16V$는 종속전류원 값을 $16A$로 잘못 본 경우의 오답이다. $2V_x$에서 $V_x = 4V$이므로 종속전류원은 $8A$가 맞다. 올바르게는 $-16V$가 아니라 $-8V$이다.

④ O
- 왼쪽 회로에서 $V_x = 4V$, 오른쪽 회로에서 $2V_x = 8A$이므로 KCL에 의해 $V_o = -8V$가 된다. 따라서 ④가 옳다.

오답 포인트

왼쪽 회로에서 2Ω와 4Ω를 직렬 6Ω로 보지 못하면 V_x를 틀리기 쉽다. 또 오른쪽 회로에서는 종속전류원의 화살표가 아래 방향이므로 V_o의 크기뿐 아니라 부호까지 함께 판단해야 한다는 점이 함정이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

제어변수가 있는 회로는 먼저 제어변수 V_x를 독립적으로 계산하고, 그다음 종속원의 방향을 반영하여 KCL을 세우면 된다. 마지막에는 전압의 기준 극성과 전류 방향이 서로 맞는지 검산하면 부호 실수를 줄일 수 있다.

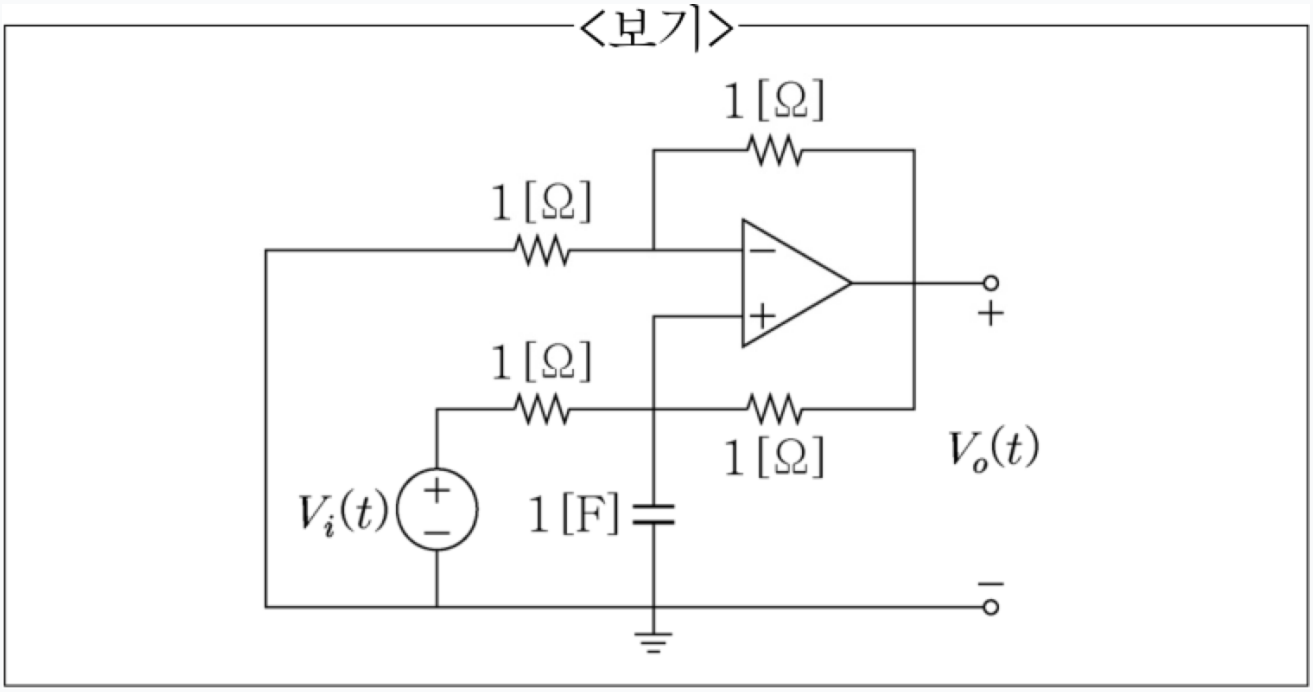
암기 포인트

종속원이 나오면 제어변수 계산 → 종속원 값 결정 → KCL로 최종 전압 계산의 순서로 푼다.

NoteBase

문 15. 이상적인 연산 증폭기를 포함한 <보기>의 회로의 출력 전압 $V_o(t)$[V]는? (단, $V_i(t) = \cos(t)$[V]이다.)

<보기>



① $\sin(t)$

② $2\sin(t)$

③ $\cos(t)$

④ $2\cos(t)$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 이상적 연산증폭기의 가상단락 조건과 비반전 입력 노드의 KCL을 이용해 출력전압 $V_o(t)$를 구하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

모든 저항은 1Ω, 커패시터는 1F이다.
이상적 연산증폭기는 입력 임피던스가 무한대이므로 두 입력 단자로는 전류가 흐르지 않고, 가상단락으로 두 입력 전압이 같다($V_+ = V_-$).
비반전 입력 노드 전압을 V_x라 하면, 이 노드에는 입력 전원 쪽 1Ω, 출력 피드백 쪽 1Ω, 그리고 접지로 연결된 1F 커패시터가 모여 있다.
반전 입력 쪽은 출력과 접지 사이의 1:1 분압이므로 $V_- = V_o/2$이고, 가상단락에 의해 $V_x = V_+ = V_- = V_o/2$이다.
입력은 $V_i(t) = \cos t$이다.

사용할 공식

비반전 입력 노드 V_x에는 op-amp 쪽으로 전류가 흐르지 않으므로(입력 임피던스 무한대), 이 노드로 들어오고 나가는 전류의 합이 0이라는 KCL을 적용한다.
입력 쪽 1Ω으로부터 흘러 들어오는 전류는 $(V_i - V_x)/1$, 출력 피드백 1Ω으로부터 흘러 들어오는 전류는 $(V_o - V_x)/1$, 접지로 연결된 커패시터로 빠져나가는 전류는 $i_C = C\frac{dV_x}{dt} = 1 \cdot \frac{dV_x}{dt}$이다(C=1F).
따라서 들어오는 전류의 합이 커패시터 전류와 같아
$(V_i - V_x) + (V_o - V_x) = \frac{dV_x}{dt}$
이다.
이 식을 쓰는 이유는 비반전 입력 노드가 입력 전원, 출력 피드백, 커패시터와 직접 연결된 유일한 동적 노드이기 때문이다.

계산 과정

$V_o = 2V_x$를 KCL 식에 대입하면
$(V_i - V_x) + (2V_x - V_x) = \frac{dV_x}{dt}$
$V_i = \frac{dV_x}{dt}$
이다.
따라서
$\frac{dV_x}{dt} = \cos t$
이고, 선택지가 순수 정현파 형태이므로 적분상수는 0으로 두면
$V_x = \sin t$
이다.
출력은 $V_o = 2V_x$이므로
$V_o(t) = 2\sin t$
이다.

NoteBase

선지별 해설

1번 X: $\sin t$는 비반전 입력 노드 전압 V_x에는 해당하지만 출력전압은 아니다. 이 회로의 출력은 $V_o = 2V_x$이므로 올바르게는 $2\sin t$이다.
2번 O: 가상단락으로 $V_+ = V_- = V_o/2$가 되고, 비반전 입력 노드 KCL로 $dV_x/dt = \cos t$가 되어 $V_x = \sin t$이다. 따라서 $V_o = 2V_x = 2\sin t$이므로 맞다.
3번 X: $\cos t$는 입력 $V_i(t)$일 뿐 출력이 아니다. 커패시터 때문에 비반전 입력 노드 전압은 입력을 적분한 $\sin t$가 되고, 출력은 그 2배인 $2\sin t$가 된다.
4번 X: 비반전 증폭기의 이득 2만 보고 위상을 그대로 두면 나오는 값이다. 그러나 커패시터가 있어 $\cos t$가 그대로 전달되지 않고 적분되어 $\sin t$로 바뀌므로 올바르게는 $2\sin t$이다.

오답 포인트

반전 입력이 1:1 분압이라서 $V_o = 2V_+$가 된다는 점을 놓치면 1번으로 흐르기 쉽다. 또 커패시터가 있는 노드를 단순 저항성 노드처럼 보면 입력 $\cos t$가 그대로 나온다고 착각해 3번이나 4번으로 흐르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상적 연산증폭기 회로는 먼저 $V_+ = V_-$와 저항비로 노드 관계를 만든다. 그다음 커패시터가 붙은 노드에 KCL을 써서 미분방정식을 세우고, 마지막에 출력과 노드 전압의 배수를 연결해 정답을 결정한다.

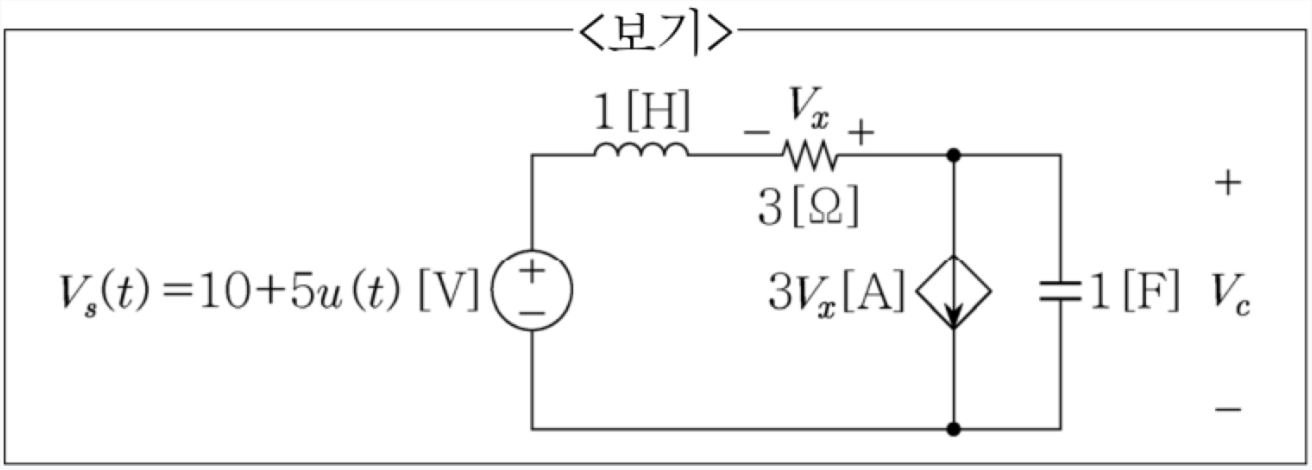
암기 포인트

$R_f = R_g$인 비반전형이면 $V_o = 2V_+$이다. 커패시터 접지 노드에서 $\cos t$를 적분하면 $\sin t$가 되어 최종 출력은 $2\sin t$이다.

NoteBase

문 16. <보기>의 회로에서 커패시터에 걸리는 전압 V_c의 초깃값, 즉 $V_c(t=0^-)$의 값[V]과, 오랜 시간이 흐른 후의 최종값, 즉 $V_c(t=\infty)$의 값[V]은? (단, $u(t)$는 단위 계단 함수로서 $t<0$일 때는 0, $t\geq 0$일 때는 1의 값을 갖는다.)

<보기>



① $V_c(t=0^-)$[V]: 0, $V_c(t=\infty)$[V]: 5

② $V_c(t=0^-)$[V]: 5, $V_c(t=\infty)$[V]: 10

③ $V_c(t=0^-)$[V]: 5, $V_c(t=\infty)$[V]: 15

④ $V_c(t=0^-)$[V]: 10, $V_c(t=\infty)$[V]: 15

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 직류 정상상태에서 인덕터는 단락, 커패시터는 개방으로 본 뒤 종속전류원이 포함된 회로의 KCL로 $V_c(t=0^-)$와 $V_c(t=\infty)$를 구하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

주어진 값:
- $V_s(t) = 10 + 5u(t)[V]$
- $L = 1[H], R = 3[\Omega], C = 1[F]$
- 종속전류원은 $3V_x[A]$이고, V_x는 저항의 오른쪽 전압에서 왼쪽 전압을 뺀 값이다.

구해야 할 값:
- $V_c(t = 0^-)$
- $V_c(t = \infty)$

주의할 조건:
- $t < 0$에서는 $V_s = 10[V]$이다.
- $t \geq 0$에서 충분히 시간이 지나면 $V_s = 15[V]$이다.
- 정상상태 DC에서는 인덕터는 단락, 커패시터는 개방이다.

사용할 공식

$V_x = V_c - V_s$

$\frac{V_c - V_s}{3} + 3(V_c - V_s) = 0$

이 공식을 쓰는 이유:

초기값과 최종값은 모두 직류 정상상태 값이므로 미분방정식을 풀 필요가 없고, 정상상태 등가회로에서 노드 KCL만 세우면 된다.

계산 과정

1. $t = 0^-$에서는 $u(t) = 0$이므로 $V_s = 10[V]$이다. 정상상태에서 인덕터는 단락, 커패시터는 개방이므로

$\frac{V_c - 10}{3} + 3(V_c - 10) = 0$

이고, 따라서 $V_c(t = 0^-) = 10[V]$이다.

2. $t = \infty$에서는 $u(t) = 1$이므로 $V_s = 15[V]$이다. 같은 방식으로

$\frac{V_c - 15}{3} + 3(V_c - 15) = 0$

이고, 따라서 $V_c(t = \infty) = 15[V]$이다.

3. 따라서 구하는 값은 (10, 15)이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- $V_c(t=0^-)=0[V]$라는 표현이 틀렸고, 초기 정상상태의 KCL 결과는 $10[V]$이다.
- $V_c(t=\infty)=5[V]$라는 표현도 틀렸고, 최종 정상상태 전압은 $15[V]$이다.
- 올바르게는 (10, 15)이다.

② X
- $V_c(t=0^-)=5[V]$가 틀렸고 초기 정상상태 값은 $10[V]$이다.
- $V_c(t=\infty)=10[V]$도 틀렸고 최종 정상상태 값은 $15[V]$이다.
- 올바르게는 (10, 15)이다.

③ X
- $V_c(t=0^-)=5[V]$가 틀렸고 초기 정상상태 값은 $10[V]$이다.
- $V_c(t=\infty)=15[V]$는 맞지만 앞값이 틀렸으므로 오답이다.
- 올바르게는 (10, 15)이다.

④ O
- $V_c(t=0^-)=10[V]$, $V_c(t=\infty)=15[V]$로 두 값이 모두 계산 결과와 일치한다.
- 따라서 정답이다.

오답 포인트

종속전류원이 있다고 해서 노드전압이 공급전압과 달라질 것이라고 섣불리 생각하기 쉽다. 이 회로는 정상상태에서 $V_x=V_c-V_s$이고 KCL이 $(V_c-V_s)(1/3+3)=0$으로 정리되므로 결국 $V_c=V_s$가 된다. 또한 $t=0^-$는 스위칭 직전의 10 V 조건으로 구해야 하는데, 이를 스위칭 이후의 15 V와 혼동하면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

초기값과 최종값을 묻는 회로는 먼저 각 시점을 정상상태 DC 회로로 바꾼다. 그다음 인덕터 단락, 커패시터 개방을 적용하고, 종속원이 있으면 제어변수 V_x를 노드전압으로 표현한 뒤 KCL 한 번으로 값을 결정한다.

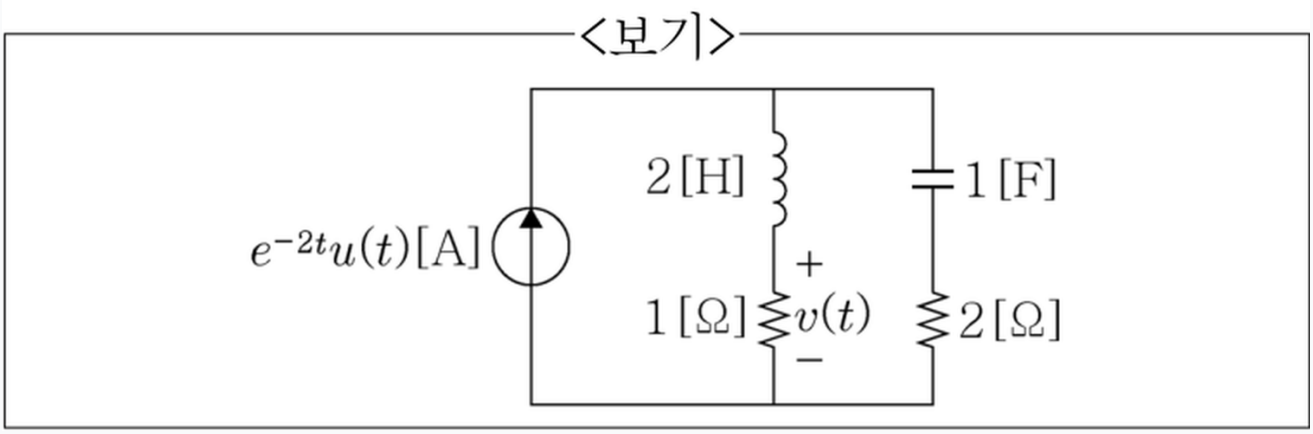
암기 포인트

정상상태 DC에서는 인덕터 단락, 커패시터 개방이며, 종속원이 있어도 제어변수를 회로변수로 바꾸어 KCL을 세우면 초기값과 최종값을 바로 구할 수 있다.

NoteBase

문 17. <보기>의 회로에서 전압 $v(t)$[V]는? (단, $u(t)$는 단위 계단 함수이고, 인덕터와 커패시터의 초깃값은 0이다.)

<보기>



① $(e^{-t}-e^{-2t})u(t)$

② $(e^{-t}+e^{-2t})u(t)$

③ $(e^{-2t}-e^{-t})u(t)$

④ $-(e^{-t}+e^{-2t})u(t)$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 라플라스 영역에서 각 가지의 어드미턴스를 구한 뒤 전류분배로 $v(t)$를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 입력 전류원은 $i_s(t)=e^{-2t}u(t)$이다.
가운데 가지는 $2H$ 인덕터와 1Ω 저항의 직렬회로이다.
오른쪽 가지는 $1F$ 커패시터와 2Ω 저항의 직렬회로이다.
구해야 할 값은 가운데 가지의 1Ω 저항 양단 전압 $v(t)$이다.
인덕터 전류와 커패시터 전압의 초기값이 0이므로 라플라스 변환을 바로 적용할 수 있다.

NoteBase

사용할 공식

입력 전류의 라플라스 변환은 $I_s(s) = \frac{1}{s+2}$이다.
가운데 가지 임피던스는 $Z_1 = 2s + 1$, 오른쪽 가지 임피던스는 $Z_2 = \frac{1}{s} + 2 = \frac{2s+1}{s}$이다.
따라서 어드미턴스는 $Y_1 = \frac{1}{2s+1}$, $Y_2 = \frac{s}{2s+1}$이다.
전류원에 병렬 가지가 연결된 형태이므로 전류분배식을 어드미턴스로 쓰면
$I_1(s) = I_s(s)\frac{Y_1}{Y_1 + Y_2}$
가 된다.
구하는 전압은 1Ω 저항 전압이므로 $V(s) = I_1(s) \cdot 1 = I_1(s)$이다.

계산 과정

$I_1(s) = \frac{1}{s+2} \cdot \frac{\frac{1}{2s+1}}{\frac{1}{2s+1} + \frac{s}{2s+1}} = \frac{1}{s+2} \cdot \frac{1}{s+1} = \frac{1}{(s+1)(s+2)}$
부분분수 전개를 하면
$\frac{1}{(s+1)(s+2)} = \frac{1}{s+1} - \frac{1}{s+2}$
이므로
$v(t) = \mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{1}{(s+1)(s+2)}\right\} = (e^{-t} - e^{-2t})u(t)$
이다.

선지별 해설

① O
계산 결과가 바로 $v(t) = (e^{-t} - e^{-2t})u(t)$이므로 옳다.

② X
$e^{-t} + e^{-2t}$는 부분분수 전개에서 부호를 둘 다 +로 잘못 둔 식이다. 틀린 표현은 "+e^{-2t}"이고, 올바르게는 "-e^{-2t}"이다.

③ X
$e^{-2t} - e^{-t}$는 정답의 부호가 전체적으로 뒤집힌 식이다. 틀린 표현은 항의 순서와 부호 관계이고, 올바르게는 $e^{-t} - e^{-2t}$이다. 이는 저항 전압의 기준극성을 반대로 잡으면 나올 수 있는 오답이다.

④ X
$-(e^{-t} + e^{-2t})$는 ②의 부분분수 부호 오류에 더해 전압 극성까지 반대로 본 식이다. 틀린 표현은 두 항을 더한 뒤 전체에 음수를 붙인 부분이고, 올바르게는 $e^{-t} - e^{-2t}$이다.

NoteBase

오답 포인트

이 문항의 함정은 병렬회로를 전압분배처럼 처리하는 실수와 부분분수 전개의 부호 실수이다. 특히 $Y_1 + Y_2 = \frac{1+s}{2s+1}$에서 가운데 가지 전류가 $\frac{1}{s+1}$만큼 한 번 더 걸러진다는 점을 놓치면 ②, ③, ④ 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

전류원이 병렬 가지를 먹이는 회로는 먼저 각 가지를 s영역 임피던스나 어드미턴스로 바꾼 뒤 전류분배를 적용한다. 그다음 구하는 값이 가지전류인지 소자전압인지 확인하여 마지막에 $V = IR$을 붙이면 된다.

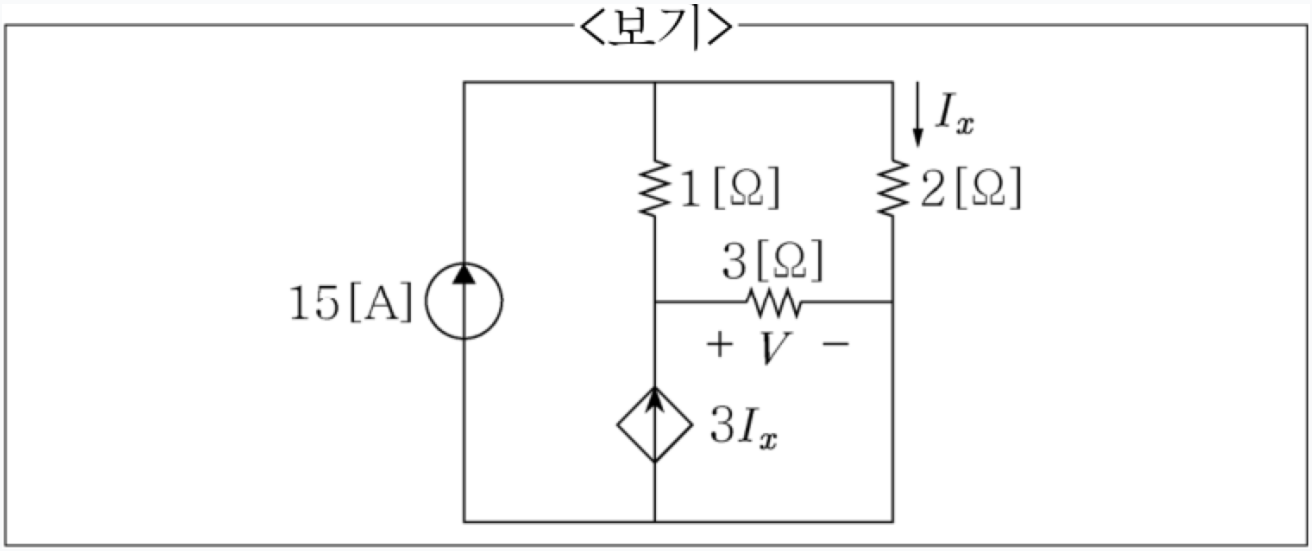
암기 포인트

전류원 병렬회로는 어드미턴스 전류분배, $\frac{1}{(s+1)(s+2)} \rightarrow e^{-t} - e^{-2t}$이다.

NoteBase

문 18. <보기>의 회로에서 전압 V의 값[V]은?

<보기>



① -40

② -75

③ 40

④ 75

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 종속전류원이 포함된 회로에서 노드전압법으로 3Ω 저항 양단 전압 V를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 독립전류원 15A, 저항 1Ω, 2Ω, 3Ω, 종속전류원 $3I_x$이다.
구해야 할 값: 3Ω 저항의 왼쪽이 +, 오른쪽이 −인 전압 V이다.
주의할 조건: 오른쪽 3Ω 단자는 아래 도선과 직접 연결되어 기준노드와 같으므로 V는 가운데 노드전압 자체이다.
또한 I_x는 2Ω 저항을 흐르는 아래방향 전류이다.

사용할 공식

노드전압법과 옴의 법칙을 사용한다.
이 공식을 쓰는 이유: 전류원이 포함된 회로는 각 노드에서 KCL을 세우면 미지 전압과 종속전류원의 관계를 가장 직접적으로 연결할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

아래 공통선을 기준노드로 두고 위 노드전압을 V_T, 가운데 노드전압을 V_M라 두면 구하는 전압은 $V = V_M$이다.
2Ω 저항 전류는 $I_x = \frac{V_T}{2}$이다.
위 노드 KCL은 $\frac{V_T}{2} + (V_T - V_M) = 15$이므로 $3V_T - 2V_M = 30$이다.
가운데 노드 KCL은 $(V_M - V_T) + \frac{V_M}{3} = 3I_x = \frac{3V_T}{2}$이므로 $8V_M - 15V_T = 0$이다.
두 식을 풀면 $V_T = -40$, $V_M = -75$이므로 최종적으로 $V = -75V$이다.

선지별 해설

① X: 계산 결과 $V = -75V$이므로 틀리다. 틀린 표현은 전압 V를 $-40V$로 본 점이다. $-40V$는 위 노드전압 V_T이고, 3Ω 양단전압의 올바른 값은 $-75V$이다.
② O: 계산 결과가 그대로 $-75V$이므로 옳다.
③ X: 계산 결과와 크기와 부호가 모두 맞지 않는다. 틀린 표현은 $40V$로 본 점이다. 이는 위 노드전압조차 부호를 반대로 읽은 값이며, 올바르게는 $V = -75V$이다.
④ X: 크기 75만 맞고 부호가 반대이므로 틀리다. 틀린 표현은 $75V$로 본 점이다. 3Ω 왼쪽 노드전압이 기준노드보다 낮으므로 올바르게는 $-75V$이다.

오답 포인트

가장 흔한 오답은 V를 위 노드전압 V_T와 혼동하는 경우와, 전압의 극성 $+V-$를 보고도 부호를 반대로 쓰는 경우이다. 이 문항에서는 오른쪽 3Ω 단자가 바로 기준노드라는 점을 먼저 잡아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

종속전류원이 있는 회로는 먼저 기준노드를 정하고, 구하려는 전압이 어느 노드전압과 같은지 확인한 뒤, I_x를 노드전압으로 표현하고 KCL 두 식을 세워 푼다고 판단한다.

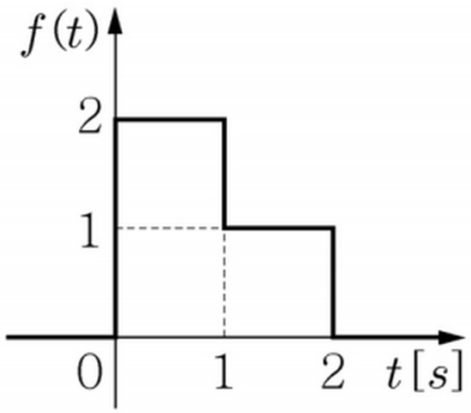
암기 포인트

도선으로 기준노드에 직접 연결된 단자는 0 V이므로, 그 단자와의 전압은 반대편 노드전압 하나로 바로 정리된다.

NoteBase

문 19. <보기>의 시간 함수 $f(t)$의 라플라스 변환은?

<보기>



① $\frac{2-2e^{-s}-e^{-2s}}{s}$

② $\frac{2-e^{-s}-e^{-2s}}{s}$

③ $\frac{2+e^{-s}-e^{-2s}}{s}$

④ $\frac{2-e^{-s}+2e^{-2s}}{s}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 그래프로 주어진 계단함수를 단위계단함수로 표현한 뒤 라플라스 변환 $\mathcal{L}\{u(t-a)\} = e^{-as}/s$를 적용하는 문제이다.

조건 정리

주어진 함수는 $0 \le t < 1$에서 2, $1 \le t < 2$에서 1, $t \ge 2$에서 0이다.
이를 단위계단함수로 쓰면 $f(t) = 2u(t) - u(t-1) - u(t-2)$이다.
$t = 1$에서 2가 1로 한 단계 내려가므로 1만큼 빼고, $t = 2$에서 1이 0으로 내려가므로 다시 1만큼 뺀다.

사용할 공식

사용할 공식은 $\mathcal{L}\{u(t)\} = 1/s$, $\mathcal{L}\{u(t-a)\} = e^{-as}/s$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 그래프가 시간 $t = 1$, $t = 2$에서 값이 변하는 계단함수이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 그래프를 계단함수로 정리하면 $f(t) = 2u(t) - u(t-1) - u(t-2)$이다.
2. 라플라스 변환을 취하면
$F(s) = \mathcal{L}\{f(t)\} = \frac{2}{s} - \frac{e^{-s}}{s} - \frac{e^{-2s}}{s}$
이다.
3. 정리하면
$F(s) = \frac{2 - e^{-s} - e^{-2s}}{s}$
이다.

선지별 해설

① X: $\frac{2 - 2e^{-s} - e^{-2s}}{s}$는 $t = 1$에서 2를 한꺼번에 빼는 형태이다. 그러면 $1 \le t < 2$ 구간 값이 1이 아니라 0이 된다. 틀린 표현은 $-2e^{-s}$이고, 올바르게는 $-e^{-s}$이다.
② O: $\frac{2 - e^{-s} - e^{-2s}}{s}$는 $t = 1$에서 1만큼 감소하고 $t = 2$에서 다시 1만큼 감소하는 실제 그래프와 정확히 일치한다.
③ X: $\frac{2 + e^{-s} - e^{-2s}}{s}$는 $t = 1$에서 값을 빼야 하는데 오히려 더하는 형태이다. 그러면 $1 \le t < 2$ 구간 값이 1이 아니라 3이 된다. 틀린 표현은 $+e^{-s}$이고, 올바르게는 $-e^{-s}$이다.
④ X: $\frac{2 - e^{-s} + 2e^{-2s}}{s}$는 $t = 2$에서 1을 더하는 형태라서 그래프가 0으로 내려가지 않는다. 틀린 표현은 $+2e^{-2s}$이고, 올바르게는 $-e^{-2s}$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 구간의 높이 자체를 바로 계수로 옮기는 실수이다. $t = 1$과 $t = 2$에서는 그 시점의 함수값이 아니라 직전 구간 대비 변화량을 적어야 한다. 그래서 2, 1, 0이라는 높이를 그대로 쓰는 것이 아니라 $+2,\ -1,\ -1$의 변화량으로 본다.

다시 나오면 이렇게 판단

계단함수 그래프는 각 전환 시점에서 변화량만 적어 $u(t-a)$의 계수로 옮기면 된다. 시작 높이는 처음 값, 이후 계수는 이전 값과의 차이로 정리한 뒤 e^{-as}/s를 붙여 합하면 된다.

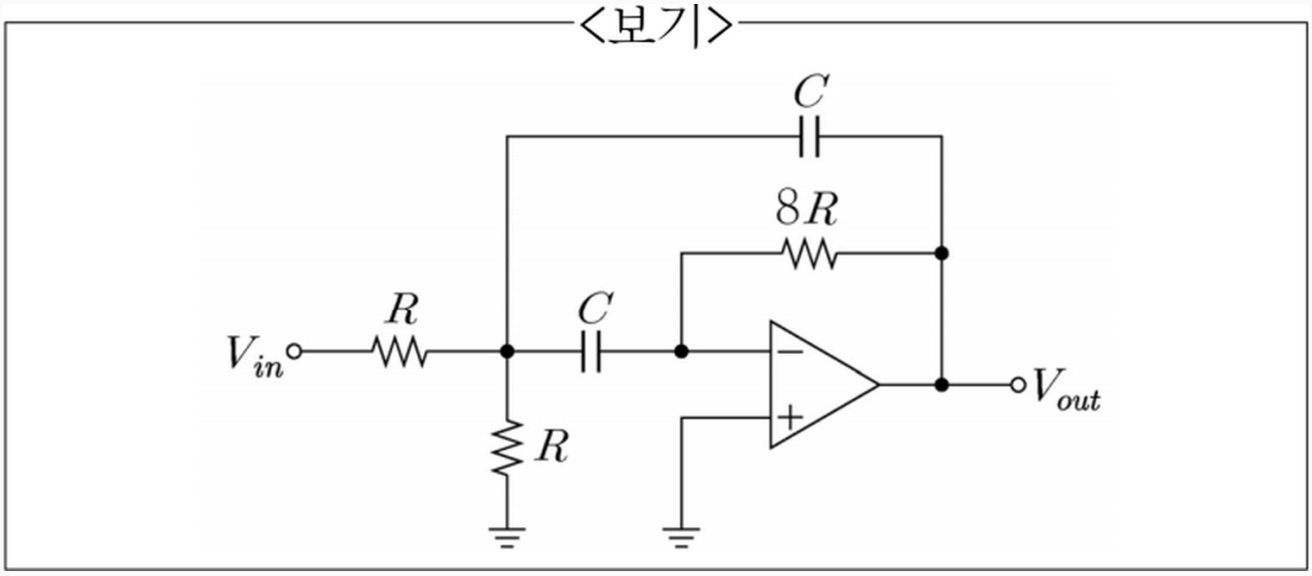
암기 포인트

계단함수 라플라스 변환은 높이 자체가 아니라 변화량을 읽는 문제이다.

NoteBase

문 20. <보기>의 연산증폭기를 이용한 대역통과필터를 설계하고자 할 때 공진주파수를 $f_o = 1{,}000[Hz]$로 하기 위한 저항 R의 값$[k\Omega]$은? (단, $C = \frac{1}{4\pi}[\mu F]$이며, 연산증폭기는 이상적인 연산증폭기이다.)

<보기>



① 0.5

② 1

③ 2

④ 4

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 이상적 연산증폭기 대역통과필터의 전달함수를 정리해 공진주파수 f_0와 R, C의 관계를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $f_0 = 1000Hz$, $C = \frac{1}{4\pi}\mu F$, 피드백 저항은 $8R$이다.
구해야 할 값: 저항 R의 값이다.
주의할 조건: 이상적 연산증폭기이므로 반전 입력단은 가상접지이고, 공진각주파수는 전달함수 분모를 표준 2차식과 비교해 구한다.

NoteBase

사용할 공식

노드 A 전압을 V_A라 둔다. 먼저 이상적 연산증폭기 조건을 적용하면 반전 입력 V_-는 비반전 입력(접지)과 가상단락되어 $V_- = 0$(가상접지)이고, 두 입력단으로는 전류가 흐르지 않는다.
반전 입력 노드의 KCL을 세우면, 노드 A에서 직렬 C를 통해 들어오는 전류 $sC(V_A - 0)$와 피드백 저항 $8R$을 통해 V_{out}으로 나가는 전류가 균형을 이루므로 $sCV_A + \frac{0 - V_{out}}{8R} = 0$이고, 이를 정리하면 $V_{out} = -8RCsV_A$가 된다.
노드 A의 KCL은 네 경로의 전류 합이 0이라는 식이다: $\frac{V_A - V_{in}}{R}$(직렬 입력저항 R을 통한 전류), $\frac{V_A}{R}$(접지로 가는 병렬저항 R을 통한 전류), sCV_A(반전 입력으로 가는 직렬 C를 통한 전류), $sC(V_A - V_{out})$(V_{out}으로 되먹임되는 상단 C를 통한 전류). 즉 $\frac{V_A - V_{in}}{R} + \frac{V_A}{R} + sCV_A + sC(V_A - V_{out}) = 0$이다. 여기서 상단 C는 노드 A와 V_{out} 사이에, $8R$은 반전 입력과 V_{out} 사이에 각각 연결되므로 두 소자가 하나의 직렬 임피던스로 합쳐지지는 않는다.
두 식에서 V_{out}을 소거하면 전달함수는 $\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-4RCs}{4R^2C^2s^2 + RCs + 1}$이 되고, 표준 2차 대역통과필터 분모 $s^2 + \frac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^2$ 꼴과 비교하면 $\omega_0 = \frac{1}{2RC}$, $f_0 = \frac{1}{4\pi RC}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제는 공진주파수를 지정한 능동 대역통과필터의 소자값을 묻고 있으므로 분모의 고유각주파수와 f_0의 관계를 써야 한다.

계산 과정

1. $f_0 = \frac{1}{4\pi RC}$에서 $R = \frac{1}{4\pi C f_0}$로 정리한다.
2. $C = \frac{1}{4\pi}\mu F = \frac{1}{4\pi} \times 10^{-6} F$를 대입하면 $R = \frac{1}{4\pi \cdot \frac{1}{4\pi} \times 10^{-6} \cdot 1000} = \frac{1}{10^{-3}} = 10^3 \Omega$이다.
3. 따라서 $R = 1k\Omega$이다.

선지별 해설

① X: $0.5k\Omega$이면 $f_0 = \frac{1}{4\pi RC} = 2000Hz$가 되어 조건보다 2배 크다. 이 값은 $2RC$ 또는 2π 계수를 중복 적용했을 때 나오기 쉽다. 올바르게는 $R = 1k\Omega$이다.
② O: 계산 결과 $R = 1k\Omega$이므로 공진주파수 $1000Hz$를 정확히 만족한다.
③ X: $2k\Omega$이면 $f_0 = 500Hz$가 된다. 이는 1차 RC 회로처럼 $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$로 잘못 외운 경우의 대표적인 오답이다. 올바르게는 $R = 1k\Omega$이다.
④ X: $4k\Omega$이면 $f_0 = 250Hz$가 되어 조건과 크게 다르다. C의 $\frac{1}{4\pi}$와 필터식의 계수를 동시에 잘못 처리하면 이런 값이 나온다. 올바르게는 $R = 1k\Omega$이다.

오답 포인트

이 회로를 단순 RC 필터로 보고 $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$를 대입하면 ③으로 빠진다. 능동 대역통과필터는 전달함수 분모의 s^2 계수까지 포함해 ω_0를 읽어야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

회로형 계산문제는 먼저 이상적 OP AMP 조건으로 가상접지를 잡고, 다음에 전달함수 분모를 $s^2 + \cdots + \omega_0^2$ 꼴과 비교해 f_0를 읽는다. 마지막에 $\mu F \to F$, $\Omega \to k\Omega$ 단위 검산을 한다.

NoteBase

암기 포인트

이 회로는 $\omega_0 = \frac{1}{2RC}$, 따라서 $f_0 = \frac{1}{4\pi RC}$인 능동 대역통과필터이다.