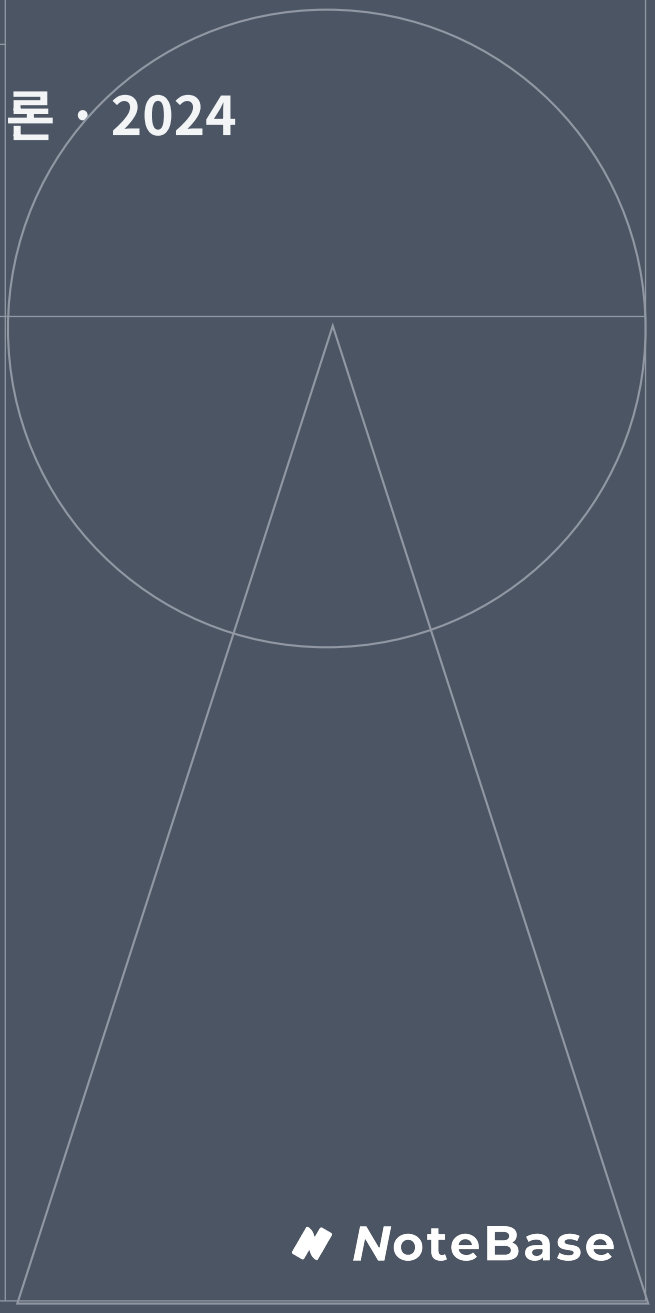
기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 회로이론 · 2024



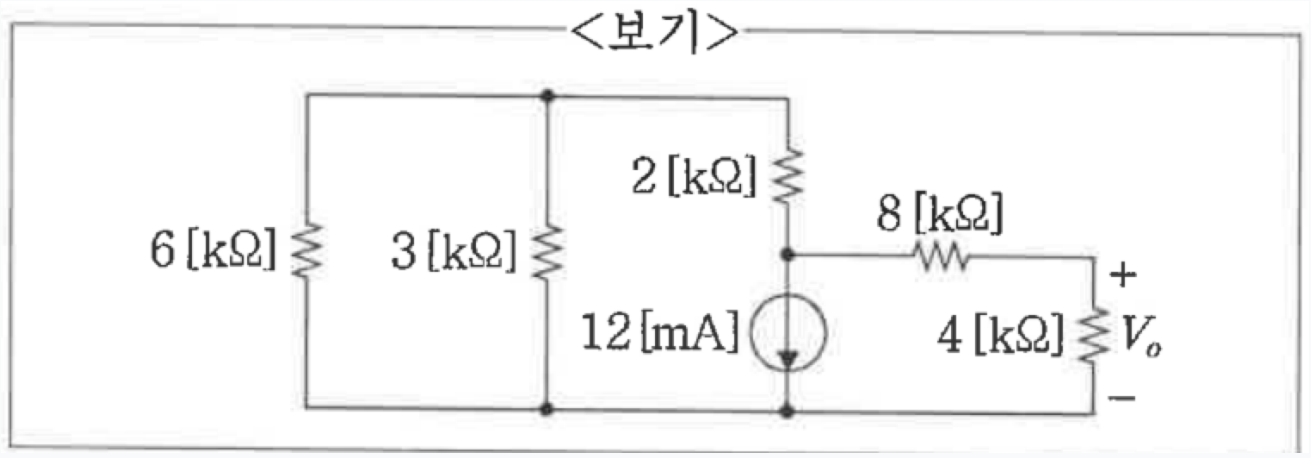
NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 회로이론 · 2024

공무원/서울시/7급 · 회로이론 · 2024

문 1. <보기>의 회로에서 전압 V_o의 값[V]은?



① -12

② -6

③ 6

④ 12

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 노드 전압법을 이용해 회로의 출력 전압 V_o를 구하는 문제이다.

조건 정리

기준 노드는 아래 공통선이다.
왼쪽의 6$k\Omega$, 3$k\Omega$는 위쪽 노드 V_A와 기준 노드 사이에 연결된다.
가운데 가지는 2$k\Omega$ 아래 노드 V_B에 12 mA 전류원이 아래 방향으로 연결된다.
오른쪽은 8$k\Omega$와 4$k\Omega$를 거쳐 노드 V_C가 형성되고, $V_o = V_C$이다.

NoteBase

사용할 공식

각 노드에서 KCL을 적용하는 노드 전압법을 사용한다.

$\sum I = 0$

이 회로는 전류원이 포함되어 있어 단순 직렬·병렬 합성보다 각 노드 전압을 식으로 세우는 방식이 직접적이다. 특히 V_B 노드에서는 전류원 12 mA가 아래로 빠져나가는 항으로 들어간다.

계산 과정

$\frac{V_A}{6k} + \frac{V_A}{3k} + \frac{V_A - V_B}{2k} = 0$

따라서 $V_B = 2V_A$이다.

$\frac{V_C}{4k} + \frac{V_C - V_B}{8k} = 0$

따라서 $V_B = 3V_C$이다.

$\frac{V_B - V_A}{2k} + \frac{V_B - V_C}{8k} + 12mA = 0$

여기에 $V_A = \frac{V_B}{2}$, $V_C = \frac{V_B}{3}$을 대입하면

$4\left(V_B - \frac{V_B}{2}\right) + \left(V_B - \frac{V_B}{3}\right) + 96 = 0$

$\frac{8}{3}V_B + 96 = 0 \Rightarrow V_B = -36V$

따라서 $V_o = V_C = \frac{V_B}{3} = -12V$이다.

선지 판단

1번: O. 계산 결과 $V_o = -12V$이므로 맞다.

2번: X. 노드방정식을 풀면 V_o는 $-6V$가 아니라 $-12V$이다. 틀린 값은 $-6V$이고 올바르게는 $V_o = -12V$이다.

3번: X. 전압의 부호와 크기 모두 맞지 않는다. 틀린 값은 $6V$이고 올바르게는 $V_o = -12V$이다.

4번: X. 전류원 방향을 반대로 해석하면 부호가 뒤집혀 $12V$처럼 보일 수 있으나 실제 계산값은 아니다. 틀린 값은 $12V$이고 올바르게는 $V_o = -12V$이다.

오답 포인트

전류원 화살표가 아래 방향이라는 점을 놓치면 V_B와 V_o의 부호가 뒤집힌다. 또한 오른쪽 $8k\Omega$-$4k\Omega$만 따로 떼어 단순 전압분배로 보면 가운데 노드와의 결합을 놓쳐 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

회로 전압 문제는 기준 노드를 먼저 잡고, 각 노드에 KCL을 세워 관계식을 만든 뒤, 마지막에 구하려는 전압의 극성과 부호를 확인하는 순서로 판단한다.

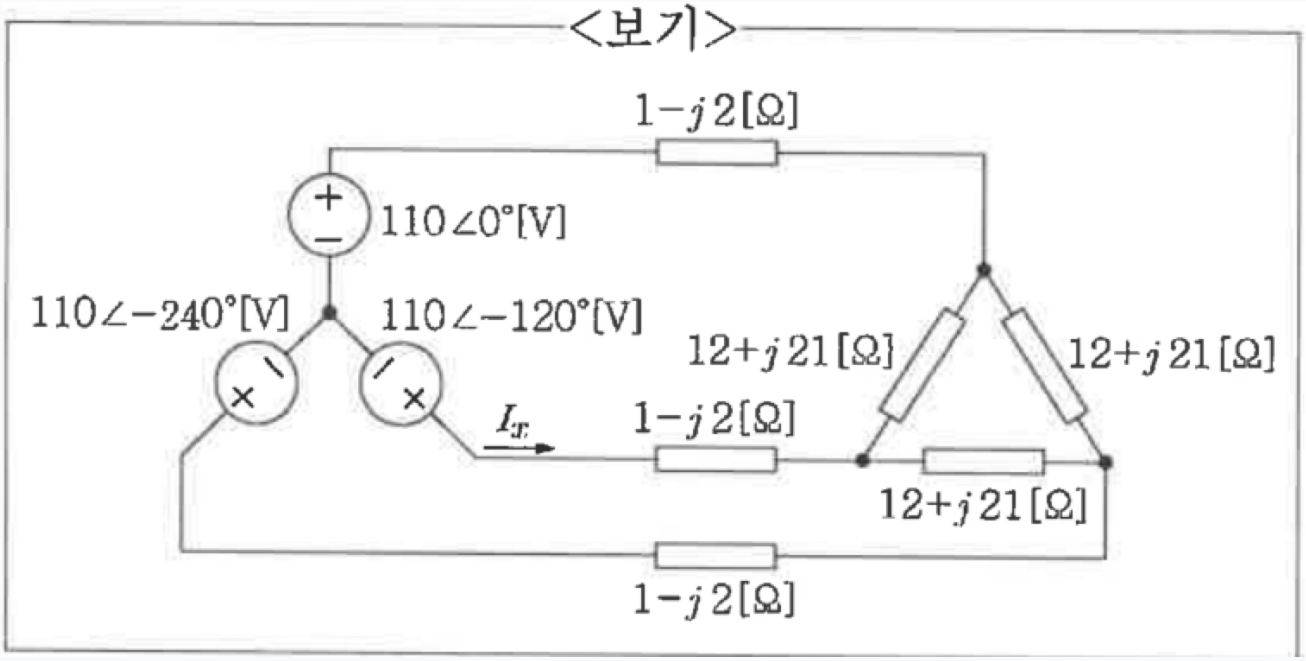
암기 포인트

전류원이 있는 저항회로의 전압은 단순 전압분배보다 노드 전압법이 우선이며, 전류원 화살표 방향이 전압 부호를 좌우한다.

NoteBase

문 2. <보기>의 3상 $Y-\Delta$ 회로에서 선전류 I_x의 값[A]은?

<보기>



① $5\sqrt{2}\angle -165^\circ$

② $5\sqrt{2}\angle -75^\circ$

③ $11\sqrt{2}\angle -165^\circ$

④ $11\sqrt{2}\angle -75^\circ$

정답 3번

출제 포인트

평형 3상 Y-Δ 회로에서 Δ부하를 Y등가로 변환한 뒤 선로 임피던스를 더해 상전류를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 상전압은 $110\angle 0^\circ$ V, $110\angle -120^\circ$ V, $110\angle -240^\circ$ V이다.
선로 임피던스는 각 상마다 $1-j2\Omega$이다.
Δ부하의 각 변 임피던스는 $12+j21\Omega$이고, 구해야 할 값은 x상 선전류 I_x이다.

사용할 공식

평형 Δ부하는 Y등가로 바꾸면 각 상 임피던스가 $Z_Y = Z_\Delta/3$가 된다.
따라서 전체 상임피던스는 $Z_{total} = Z_{line} + Z_Y$이고, 선전류는 $I_x = V_x/Z_{total}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 평형 3상 회로이므로 한 상만 등가회로로 바꾸어 계산해도 나머지 상이 동일하게 결정되기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

먼저 Δ부하를 Y로 환산하면 $Z_Y = (12 + j21)/3 = 4 + j7\Omega$이다.
전체 한 상의 임피던스는 Z_total=(1-j2)+(4+j7)=5+j5=5245^ Ω이다.
x상의 전압은 그림에서 $V_x = 110\angle -120^\circ$ V이므로
I_x=(110-120^)/(5245^)=112-165^ A.
따라서 I_x는 112-165^ A이다.

선지별 해설

① X: 각도는 -165°로 맞지만 크기가 다르다. 평형 Δ부하를 Y로 환산해 전체 상임피던스를 구하면 크기는 112가 되어야 한다. 올바르게는 112-165^ A이다.
② X: 크기와 각도가 모두 다르다. -75°는 임피던스 각 45°의 부호를 반대로 처리한 값에 가깝다. 올바르게는 112-165^ A이다.
③ O: $Z_\Delta/3$로 환산한 뒤 선로 임피던스를 더하면 전체 상임피던스가 $5 + j5\Omega$가 되고, $110\angle -120^\circ$ V를 나누면 I_x=112-165^ A가 된다.
④ X: 크기는 112로 맞지만 각도가 다르다. 유도성 성분이 있는 $5 + j5\Omega$에 전류는 전압보다 45° 늦어야 하므로 -75°가 아니라 -165°가 된다. 올바르게는 112-165^ A이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 Δ부하를 그대로 두고 계산하거나, 임피던스 각 45° 때문에 전류가 전압보다 늦는다는 점을 반대로 잡는 데 있다. 크기 오답은 주로 Δ→Y 변환을 빠뜨릴 때, 각도 오답은 $I = V/Z$에서 분모 각을 빼지 않고 더할 때 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

평형 3상 Y-Δ 회로는 먼저 Δ를 Y로 바꾸고, 선로 임피던스를 합쳐 한 상 등가회로를 만든 뒤 $I = V/Z$를 적용하면 된다. 각도는 항상 전압각에서 임피던스각을 빼서 구한다.

암기 포인트

평형 Δ부하는 $Z_Y = Z_\Delta/3$, 선전류는 한 상 등가회로에서 $I = V/Z$, 유도성 임피던스에서는 전류가 전압보다 늦는다.

NoteBase

문 3. 전달함수 $F(s)=\frac{s^2-3s+10}{(s+5)(s^2+5s+10)}$의 시간 함수 $f(t)$가 $t=\infty$일 때 가지는 $f(\infty)$의 값은?

① -1

② 0

③ 1

④ 2

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 최종값 정리로 시간함수 $f(t)$의 정상상태값 $f(\infty)$를 구할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 전달함수는 $F(s)=\frac{s^2-3s+10}{(s+5)(s^2+5s+10)}$이다. 구해야 할 값은 $t\to\infty$일 때의 $f(t)$이다. 최종값 정리를 쓰려면 $sF(s)$의 극이 모두 좌반평면에 있어야 한다.

사용할 공식

최종값 정리는 $f(\infty)=\lim_{s\to 0} sF(s)$ 이다. 이 문제의 극은 $s=-5$와 $s^2+5s+10=0$의 근들인데, 후자는 $\frac{-5\pm j\sqrt{15}}{2}$이므로 모두 실수부가 음수이다. 따라서 최종값 정리를 그대로 적용할 수 있다.

계산 과정

1. 최종값 정리를 적용하면 $f(\infty)=\lim_{s\to 0} s\cdot\frac{s^2-3s+10}{(s+5)(s^2+5s+10)}$ 이다.
2. 분자에는 s가 곱해져 있으므로 $s\to 0$에서 분자는 $0\cdot 10=0$이 된다.
3. 분모는 $(0+5)(0+0+10)=50$이므로 $f(\infty)=\frac{0}{50}=0$ 이다.

선지 판단

1번: X. 선택지 값은 -1이지만 계산 결과는 $f(\infty)=0$이다. 틀린 표현은 -1이며, 올바르게는 0이다.
2번: O. 최종값 정리로 계산하면 $f(\infty)=0$이므로 맞다.
3번: X. 선택지 값은 1이지만 최종값은 0이다. 틀린 표현은 1이며, 올바르게는 0이다.
4번: X. 선택지 값은 2이지만 최종값은 0이다. 틀린 표현은 2이며, 올바르게는 0이다.

오답 포인트

라플라스 역변환을 끝까지 하지 않아도 되는 문제인데 이를 놓치면 계산이 길어진다. 또 $f(\infty)$를 $F(0)$로 착각하거나, 최종값 정리의 s를 빠뜨리면 오답이 된다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

무한대에서의 시간응답을 묻고 전달함수 $F(s)$가 주어지면 먼저 최종값 정리 적용 가능 여부부터 본다. 극이 좌반평면에 있으면 $\lim_{s\to 0} sF(s)$만 계산하면 된다.

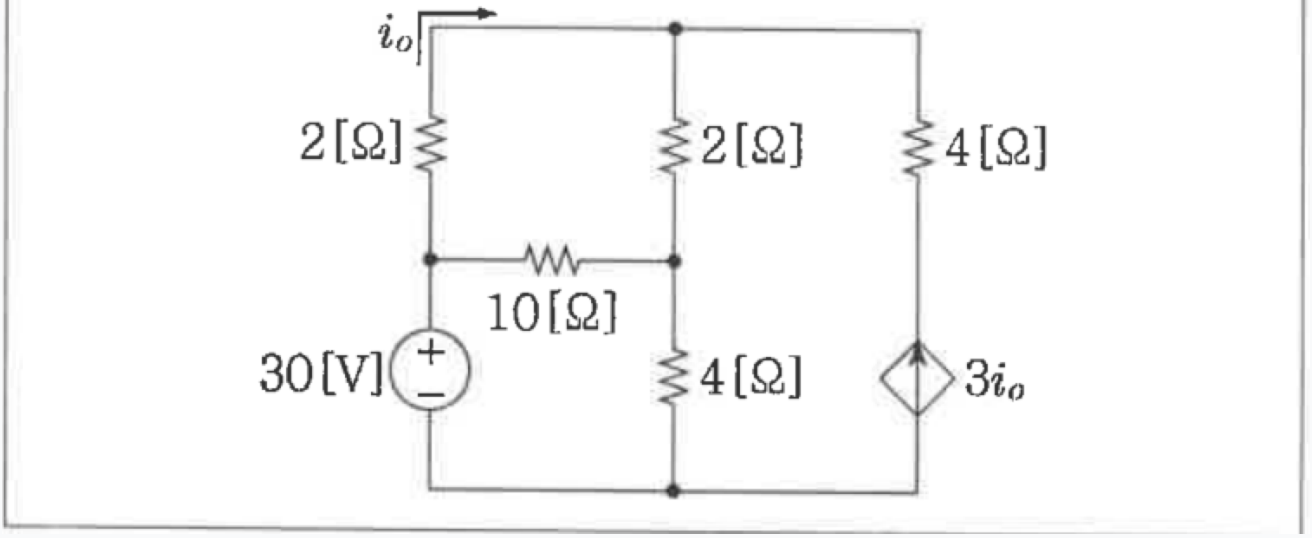
암기 포인트

정상상태값 문제는 $f(\infty)=\lim_{s\to 0} sF(s)$를 먼저 떠올리고, 적용 조건은 극의 좌반평면 여부로 판단한다.

NoteBase

문 4. <보기>의 회로에서 전류 i_o의 값[A]은?

<보기>



① 1

② 3

③ 5

④ 7

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 종속전류원이 포함된 회로에서 노드전압법으로 상단 도선 전류 i_o를 구하는 문제이다.

조건 정리

좌측 전압원의 윗단 노드 전압은 $30V$이다. 상단 공통 노드를 V_T, 중앙 노드를 V_B, 우측 종속전류원 윗단 노드를 V_C로 둔다. 구해야 할 값은 상단 도선 전류 i_o이다.

사용할 공식

좌측 2Ω 저항을 지나는 전류가 곧 i_o이므로 $i_o = \frac{30 - V_T}{2}$이다.

노드전압법을 적용하면

$$\frac{V_T - 30}{2} + \frac{V_T - V_B}{2} + \frac{V_T - V_C}{4} = 0$$

$$\frac{V_B - V_T}{2} + \frac{V_B}{4} + \frac{V_B - 30}{10} = 0$$

$$\frac{V_C - V_T}{4} - 3i_o = 0$$

이 식들을 함께 풀면 된다.

NoteBase

계산 과정

먼저 각 식의 분모를 없애 정리한다.
첫째 식에 4를 곱하면 $5V_T - 2V_B - V_C = 60$이다.
둘째 식에 20을 곱하면 $17V_B - 10V_T = 60$이다.
셋째 식은 $i_o = \frac{30 - V_T}{2}$를 대입하면 $\frac{V_C - V_T}{4} - 3 \cdot \frac{30 - V_T}{2} = 0$이 되고, 4를 곱해 정리하면 $V_C + 5V_T = 180$, 즉 $V_C = 180 - 5V_T$이다.
이 V_C를 첫째 식에 대입하면 $5V_T - 2V_B - (180 - 5V_T) = 60$이 되어 $10V_T - 2V_B = 240$, 곧 $V_B = 5V_T - 120$이다.
이를 둘째 식 $17V_B - 10V_T = 60$에 넣으면 $17(5V_T - 120) - 10V_T = 60$이 되고,
$85V_T - 2040 - 10V_T = 60$에서 $75V_T = 2100$이므로 $V_T = 28V$이다.
따라서 $V_B = 5 \cdot 28 - 120 = 20V$, $V_C = 180 - 5 \cdot 28 = 40V$이다.
마지막으로 $i_o = \frac{30 - V_T}{2} = \frac{30 - 28}{2} = 1A$이다.

선지별 해설

① O: 계산 결과 $i_o = 1A$이므로 맞는 선지이다.
② X: 틀린 표현은 $i_o = 3A$로 본 점이다. 올바르게는 $i_o = 1A$이다. 이 값은 종속전류원 크기 $3i_o$와 구해야 할 i_o를 직접 같게 놓으면 생기는 오답이다.
③ X: 틀린 표현은 $i_o = 5A$로 본 점이다. 올바르게는 $i_o = 1A$이다. 이 값은 노드전압을 구하지 않고 일부 저항 전류를 단순 합산하면 생기기 쉬운 오답이다.
④ X: 틀린 표현은 $i_o = 7A$로 본 점이다. 올바르게는 $i_o = 1A$이다. 이 값은 종속전류원 방향과 상단 도선 전류의 부호를 반대로 두면 생기기 쉬운 오답이다.

오답 포인트

상단 도선 전류 i_o와 우측 종속전류원 $3i_o$를 같은 값으로 착각하기 쉽다. 또한 화살표 방향을 무시하고 저항 전류를 감으로 더하면 큰 수의 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

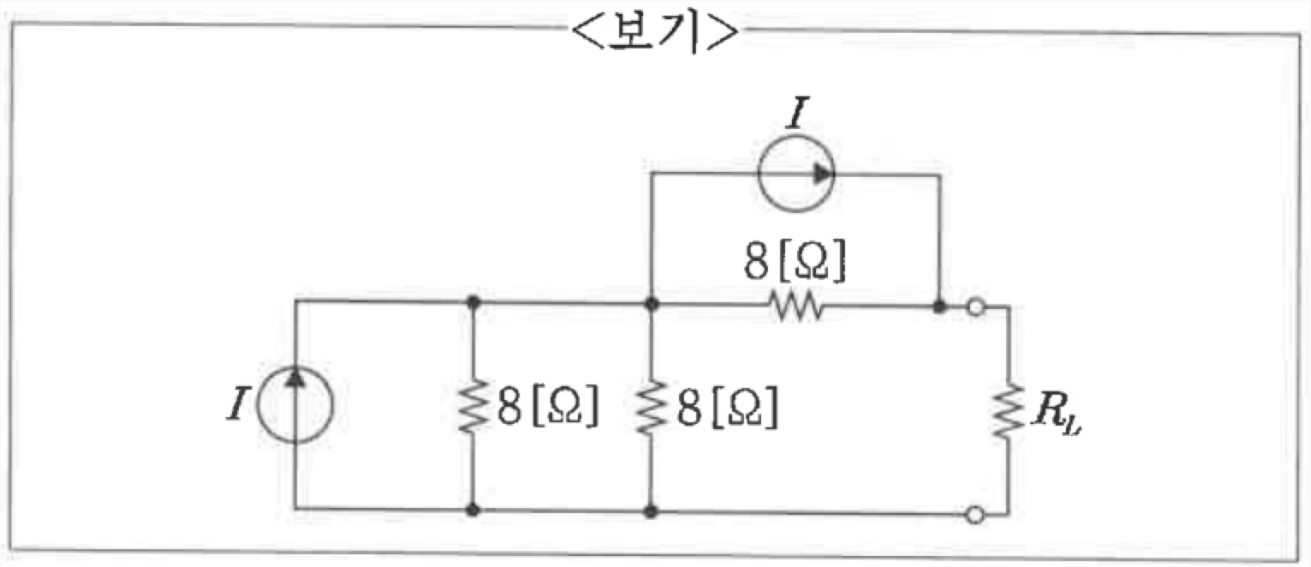
종속원이 있는 회로는 먼저 기준전류의 정의를 식으로 적고, 그다음 노드전압을 잡아 종속원 식까지 동시에 푼다고 판단하면 된다.

암기 포인트

종속원 회로는 기준변수 식 설정 후 노드전압법으로 묶어 푼다. 이 문항에서는 $i_o = \frac{30 - V_T}{2}$가 출발점이다.

NoteBase

문 5. <보기>의 회로에서 부하저항 R_L에 30[mW]의 최대 전력이 전달되기 위한 전류 I의 값[A]은?



① 0.01

② 0.1

③ 1.2

④ 12

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 부하저항에 최대전력이 전달되는 조건에서 테브난 등가회로를 구하고, 최대전력식으로 전류원 값 I를 계산하는 문제이다.

조건 정리

부하단자에서 본 회로의 등가를 구하면 된다. 회로는 두 개의 노드로 정리된다. 가운데 노드 V_A는 왼쪽 전류원의 윗단자, 접지로 내려가는 두 개의 8Ω, 오른쪽으로 가는 직렬 8Ω, 그리고 위쪽 전류원의 왼쪽 단자가 모두 만나는 점이다. 부하단자 노드 V_B는 직렬 8Ω의 오른쪽 끝이자 위쪽 전류원의 오른쪽 단자이며, 여기에 R_L이 붙는다. 왼쪽의 8Ω 두 개는 접지에 대한 병렬이므로 4Ω이다. 부하를 개방하면 오른쪽 단자전압이 테브난 전압 V_{th}가 되고, 전류원을 꺼서 보면 테브난 저항 R_{th}를 구할 수 있다. 최대전력은 30mW이다.

사용할 공식

최대전력전달조건은 $R_L = R_{th}$이고, 이때 부하의 최대전력은 $P_{max} = \frac{V_{th}^2}{4R_{th}}$이다. 이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 부하저항 R_L에 전달되는 최대전력을 직접 제시했기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 전류원을 꺼서 보면 두 전류원은 개방되므로 부하단자에서 본 저항은 $8 + (8 \parallel 8) = 8 + 4 = 12\Omega$이다. 따라서 $R_{th} = 12\Omega$이다.
2. 부하를 개방한 상태에서 가운데 노드 전압을 V_A, 부하단자 전압을 V_B라 둔다. 먼저 가운데 노드 V_A에 키르히호프 전류법칙을 적용한다. 이 노드에는 왼쪽 전류원이 I를 밀어 넣고, 동시에 위쪽 전류원이 I를 V_A에서 V_B 방향으로 끌어내므로 두 전류원의 기여가 서로 상쇄된다. 그 결과 V_A 노드 식에는 전류원 항이 남지 않고 저항 전류만 남아 $\frac{V_A}{4} + \frac{V_A - V_B}{8} = 0$이 된다(아래 두 저항은 병렬 4Ω). 여기서 $V_A = \frac{V_B}{3}$이다.
3. 다음으로 부하를 개방했으므로 직렬 8Ω에는 위쪽 전류원의 전류 I만 흐른다. 전류가 V_A에서 V_B 방향으로 흐를 때 8Ω의 전압강하만큼 V_B가 높아지므로 $V_B - V_A = 8I$이다. 이 두 관계를 연립하면 $V_A = 4I$, $V_B = 12I$가 나오므로 $V_{th} = 12I$이다.
4. 최대전력식에 대입하면 $P_{max} = \frac{V_{th}^2}{4R_{th}} = \frac{(12I)^2}{4 \cdot 12} = 3I^2$이다.
5. $3I^2 = 30\ \text{mW} = 0.03\ \text{W}$이므로 $I^2 = 0.01$, 따라서 $I = 0.1\ \text{A}$이다.

선지 판단

1번 X: 계산 결과는 $I = 0.1\ \text{A}$이므로 0.01A는 틀리다. 이 값은 $I^2 = 0.01$을 $I = 0.01$로 잘못 읽은 오답이다. 올바르게는 0.1A이다.
2번 O: 최대전력식에 $R_{th} = 12\Omega$, $V_{th} = 12I$를 대입하면 $I = 0.1\ \text{A}$가 되므로 맞다.
3번 X: 계산 결과와 12배 차이가 나는 값으로, 테브난 저항과 전압의 계수 12를 그대로 전류값으로 혼동한 오답이다. 올바르게는 0.1A이다.
4번 X: 계산 결과와 120배 차이가 나는 값으로, 최대전력전달조건을 적용하지 않고 회로의 12라는 수만 보고 선택한 오답이다. 올바르게는 0.1A이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 최대전력 문제를 단순한 등가저항 계산으로 끝내거나, $3I^2 = 0.03$에서 제곱근을 빼먹는 데 있다. 특히 1번은 I^2와 I를 혼동할 때 바로 나오는 전형적인 오답이다.

다시 나오면 이렇게 판단

최대전력전달 문제는 먼저 부하단자에서 R_{th}, V_{th}를 구한 뒤 $P_{max} = \frac{V_{th}^2}{4R_{th}}$에 대입하는 순서로 판단한다. 마지막에는 단위를 W로 통일하고 제곱근 계산까지 확인해야 한다.

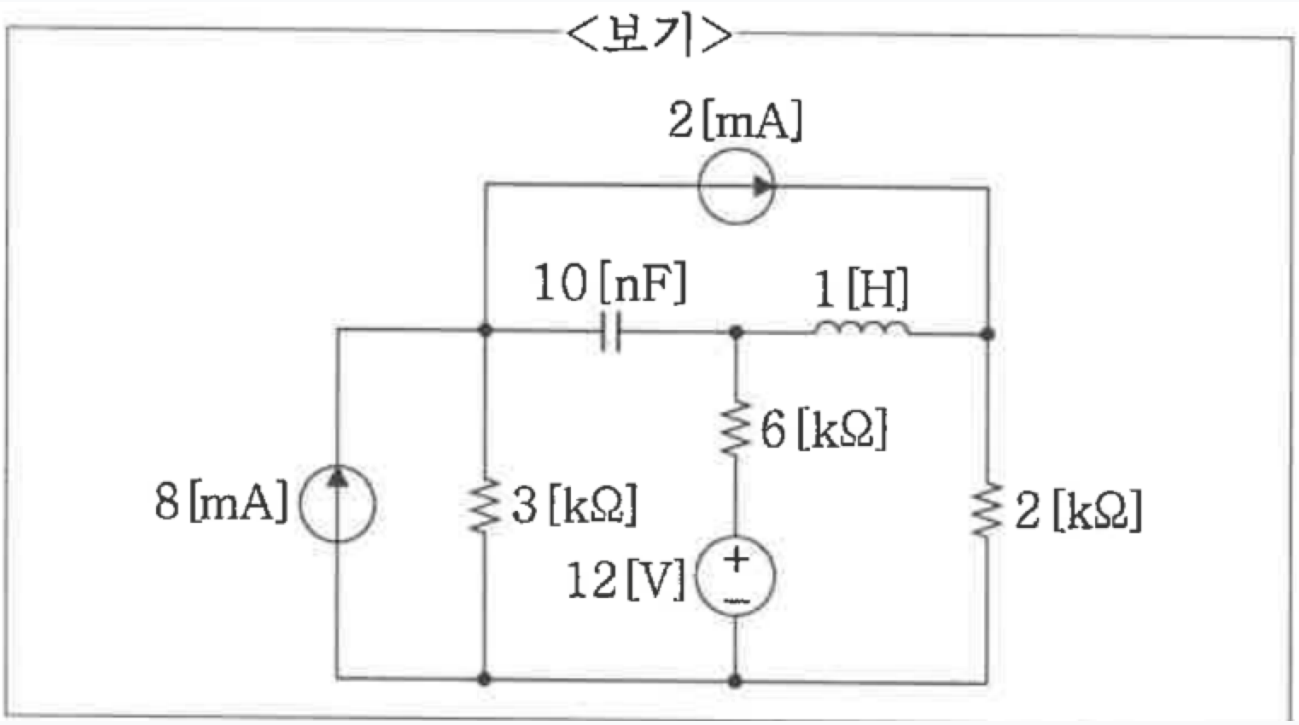
암기 포인트

최대전력전달은 $R_L = R_{th}$, $P_{max} = \frac{V_{th}^2}{4R_{th}}$로 정리된다.

NoteBase

문 6. <보기>의 회로가 정상 상태(steady-state)일 때, 인덕터에 저장된 에너지의 값[μJ]은?

<보기>



① 0.5

② 1

③ 1.5

④ 2

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 정상상태 DC 회로에서 커패시터와 인덕터를 등가변환한 뒤, 인덕터 전류를 구하여 저장 에너지 $W = \frac{1}{2}LI^2$를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 커패시터 10 nF, 인덕터 1 H, 저항 3 kΩ, 6 kΩ, 2 kΩ, 전류원 8 mA와 2 mA, 전압원 12 V이다.
구해야 할 값: 인덕터에 저장된 에너지이다.
주의할 조건: 정상상태 DC이므로 커패시터는 개방회로, 인덕터는 단락회로로 본다.

NoteBase

사용할 공식

공식은 $W = \frac{1}{2}LI^2$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 인덕터의 저장 에너지는 정상상태에서도 인덕터 전류만 알면 바로 계산할 수 있고, 이 회로에서는 먼저 정상상태 등가회로에서 인덕터 전류를 구하면 된다.

계산 과정

1. 정상상태이므로 커패시터는 열리고 인덕터는 짧은 도선이 된다. 따라서 인덕터의 왼쪽 노드와 오른쪽 노드는 같은 전위 V_x가 된다.
2. 그 노드에서 KCL을 적용하면
$\frac{V_x}{2000} + \frac{V_x - 12}{6000} - 0.002 = 0$
이므로 $V_x = 6V$이다.
3. 6 kΩ 가지 전류는
$I_{6k} = \frac{12 - 6}{6000} = 1mA$
이다. 이 전류는 12 V 전원 쪽에서 노드로 올라온다. 커패시터는 개방이라 중간 노드에서 빠져나갈 다른 길이 없으므로 인덕터 전류는 $I_L = 1mA$이다.
4. 저장 에너지는
$W = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot (1 \times 10^{-3})^2 = 0.5 \times 10^{-6}J = 0.5\mu J$
이다.

선지 판단

1번 O: 정상상태 등가회로에서 인덕터 전류가 $1mA$로 계산되므로 저장 에너지는 $0.5\mu J$이다. 계산 결과와 일치한다.
2번 X: $1\mu J$는 인덕터 전류 $1mA$는 맞게 구하고도 $\frac{1}{2}$를 빠뜨려 $W = LI^2$로 계산한 값이다. 올바르게는 $W = \frac{1}{2}LI^2 = 0.5\mu J$이다.
3번 X: $1.5\mu J$가 되려면 인덕터 전류가 $\sqrt{3}mA$여야 한다. 그러나 정상상태 등가회로의 KCL을 만족하는 인덕터 전류는 $1mA$이므로 성립하지 않는다. 올바르게는 인덕터 전류를 먼저 구한 뒤 $0.5\mu J$로 판단한다.
4번 X: $2\mu J$는 위쪽 2 mA 전류원을 곧바로 인덕터 전류로 오인할 때 나오는 값이다. 실제로는 12 V 가지에서 추가로 $1mA$가 노드로 들어오고, 인덕터 전류는 그중 중간 노드를 통과하는 $1mA$이다. 올바른 값은 $0.5\mu J$이다.

오답 포인트

정상상태에서 커패시터는 개방, 인덕터는 단락이라는 등가변환을 먼저 하지 않으면 전류 경로를 잘못 잡기 쉽다. 또한 인덕터 에너지 공식의 $\frac{1}{2}$를 빠뜨리거나, 2 mA 전류원을 인덕터 전류와 동일시하면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

정상상태 회로 계산은 소자 등가변환을 먼저 한 뒤, 인덕터 전류나 커패시터 전압처럼 에너지 저장량에 직접 들어가는 값을 KCL 또는 KVL로 구하고 마지막에 에너지 공식을 적용하는 순서로 판단한다.

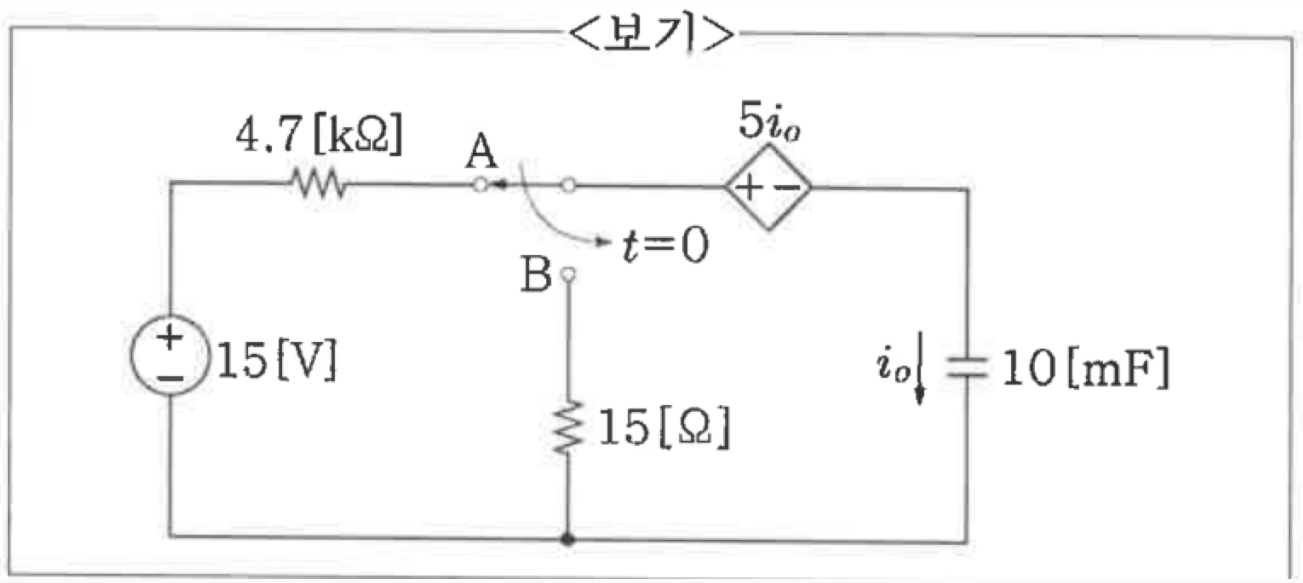
NoteBase

암기 포인트

정상상태 DC에서 C는 개방, L은 단락이며 인덕터 에너지는 $W = \frac{1}{2}LI^2$이다.

문 7. <보기>의 회로에서 스위치가 $t < 0$일 때 오랫동안 A에서 닫혀있었고, $t = 0$에서 B의 위치로 이동하였다. $t > 0$에서 전류 $i_o(t)$의 값[A]은?

<보기>



① $1.5e^{-50t}$

② $-0.75e^{-50t}$

③ $-0.75e^{-5t}$

④ $15e^{-5t}$

정답 3번

출제 포인트

스위치 전환 전 정상상태 초기조건과 종속전압원이 있는 1차 RC 자연응답을 이용해 $i_o(t)$를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 독립전원 15 V, 저항 4.7kΩ와 15Ω, 커패시터 10mF, 종속전압원 $5i_o$이다.
구해야 할 값: $t > 0$에서의 $i_o(t)$이다.
주의할 조건: $t < 0$에는 A에 오래 접속되어 정상상태이고, $t = 0$ 이후에는 B로 이동하므로 커패시터 전압은 연속이다.

NoteBase

사용할 공식

$t<0$ 정상상태에서는 커패시터가 개방회로이므로 $i_o(0^-)=0$이고 종속전압원 전압도 0이다. 따라서 $v_C(0^-)=15V$, 곧 $v_C(0^+)=15V$이다.
또 $t>0$에서는
$i_o=C\frac{dv_C}{dt}, \quad v_1-v_C=5i_o, \quad \frac{v_1}{15}+i_o=0$
이다.
이 공식을 쓰는 이유: 스위치가 B로 이동한 뒤에는 15Ω 저항, 종속전압원, 커패시터만 남는 1차 자연응답이므로 초기전압과 KCL, 소자식을 함께 써서 미분방정식을 세우면 된다.

계산 과정

1. $t<0$ 정상상태에서 전류가 0이므로 4.7kΩ에 전압강하가 없고, 커패시터 전압은 $v_C(0^+)=15V$이다.
2. $t>0$에서 초노드 KCL을 쓰면 $\frac{v_1}{15}+i_o=0$이므로 $v_1=-15i_o$이다. 종속전압원 관계 $v_1-v_C=5i_o$를 대입하면 $v_C=-20i_o$, 따라서 $i_o=-\frac{v_C}{20}$이다.
3. $i_o=C\frac{dv_C}{dt}=0.01\frac{dv_C}{dt}$를 대입하면
$0.01\frac{dv_C}{dt}=-\frac{v_C}{20}\Rightarrow\frac{dv_C}{dt}=-5v_C$
이다.
4. 초기조건 $v_C(0^+)=15$를 적용하면 $v_C(t)=15e^{-5t}$이고,
$i_o(t)=0.01\frac{dv_C}{dt}=-0.75e^{-5t}[A]$
이다.

선지별 해설

① X: $15e^{-50t}$는 초기전류를 15A로 본 값인데, 실제 $i_o(0^+)=-\frac{15}{20}=-0.75A$이다. 또한 지수부 $-50t$는 실제 시정수 $\tau=20\Omega\times10mF=0.2s$와 맞지 않는다. 틀린 표현은 전류의 부호와 시정수이며, 올바르게는 $i_o(t)=-0.75e^{-5t}$이다.
② X: 부호는 음수로 맞추었지만 지수부 $-50t$가 틀렸다. 이 회로는 $R_{eq}=20\Omega$, $C=10mF$이므로 $\tau=0.2s$이고, 따라서 지수는 $-t/\tau=-5t$가 된다. 올바르게는 $i_o(t)=-0.75e^{-5t}$이다.
③ O: 초기전류 $i_o(0^+)=-0.75A$이고 자연응답 지수는 $-5t$이므로 $i_o(t)=-0.75e^{-5t}$가 맞다.
④ X: 지수부 $-5t$는 맞지만 전류의 부호와 계수가 틀렸다. i_o는 아래 방향을 양으로 잡았을 때 초기에는 커패시터가 방전하므로 음수가 되어야 하며, 크기도 15가 아니라 0.75이다. 올바르게는 $i_o(t)=-0.75e^{-5t}$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 i_o의 방향과 종속전압원의 부호를 동시에 놓치는 데 있다. 커패시터 초기전압은 15 V로 유지되지만, $t>0$에는 저항 쪽으로 방전하므로 아래 방향 전류 i_o는 음수가 된다. 또 $-50t$처럼 시정수를 한 자리 잘못 잡으면 부호를 맞춰도 오답이 된다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

스위치 전환 RC 문제는 먼저 $t < 0$ 정상상태로 초기전압을 구하고, $t > 0$ 회로에서 KCL과 종속소자식을 세워 R_{eq} 또는 미분방정식을 만든 뒤, 마지막에 전류 방향 부호까지 확인하는 순서로 판단한다.

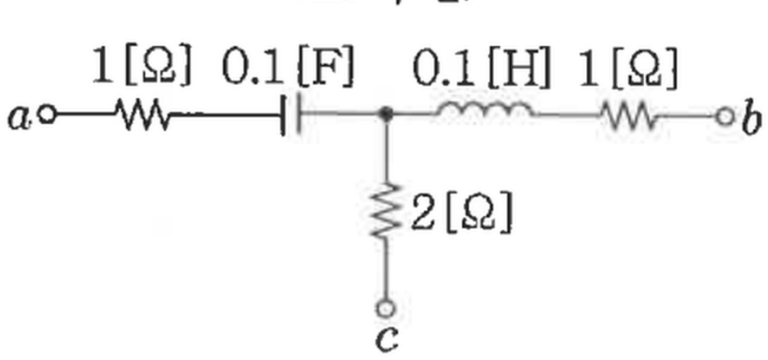
암기 포인트

정상상태 커패시터는 개방, 커패시터 전압은 연속, $i = C\frac{dv}{dt}$, 전류 방향이 방전 방향과 반대이면 부호는 음수이다.

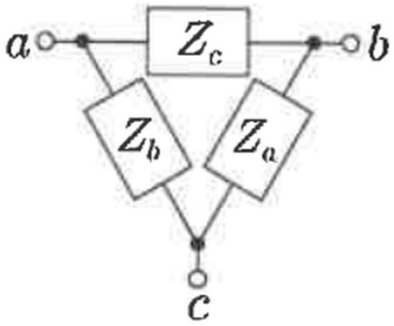
NoteBase

문 8. <보기 1>의 회로를 <보기 2>의 등가 회로로 변환시킬 때, 임피던스의 합 $Z_a + Z_b + Z_c$의 값[Ω]은? (단, 각 주파수 $w = 10$[rad/s]이다.)

<보기 1>



<보기 2>



① $j3$

② 9

③ $9 - j3$

④ $9 + j3$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 주어진 Y회로의 각 가지 임피던스를 구한 뒤 Y-Δ 변환식으로 Δ회로의 세 변 임피던스 합을 계산하는 문제이다.

NoteBase

기출OX 해설집 · 공무원/서울시/7급 · 회로이론 · 2024

조건 정리

주어진 값은 저항 1Ω, 커패시터 0.1F, 인덕터 0.1H, 저항 2Ω, 각주파수 $\omega = 10\text{rad/s}$이다.
Y회로의 각 가지 임피던스는 a쪽 $Z_A = 1 + \frac{1}{j\omega C} = 1 - j$, b쪽 $Z_B = 1 + j\omega L = 1 + j$, c쪽 $Z_C = 2$이다.
구해야 할 값은 Δ회로의 $Z_a + Z_b + Z_c$이다.

사용할 공식

Y-Δ 변환식은 $Z_{ab} = Z_A + Z_B + \frac{Z_A Z_B}{Z_C}$, $Z_{bc} = Z_B + Z_C + \frac{Z_B Z_C}{Z_A}$, $Z_{ca} = Z_C + Z_A + \frac{Z_C Z_A}{Z_B}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 <보기 1>이 중심점에서 a, b, c로 뻗는 Y회로이고, <보기 2>는 a-b-c를 잇는 Δ회로이기 때문이다.

계산 과정

먼저 $\frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j \cdot 10 \cdot 0.1} = \frac{1}{j} = -j$, $j\omega L = j \cdot 10 \cdot 0.1 = j$이므로 $Z_A = 1 - j$, $Z_B = 1 + j$, $Z_C = 2$이다.
따라서 $Z_c = Z_{ab} = (1 - j) + (1 + j) + \frac{(1 - j)(1 + j)}{2} = 2 + \frac{2}{2} = 3$이다.
또한 $Z_a = Z_{bc} = (1 + j) + 2 + \frac{(1 + j) \cdot 2}{1 - j} = 3 + j + 2j = 3 + 3j$이다.
또한 $Z_b = Z_{ca} = 2 + (1 - j) + \frac{2(1 - j)}{1 + j} = 3 - j - 2j = 3 - 3j$이다.
따라서 $Z_a + Z_b + Z_c = (3 + 3j) + (3 - 3j) + 3 = 9$이다.

선지별 해설

1번 X: $j3$은 허수부만 남는 값인데 실제 합은 $+3j$와 $-3j$가 상쇄되어 실수 9만 남는다. 틀린 표현은 \"합이 $j3$이다\"이고, 올바르게는 \"허수부는 상쇄되어 합은 9이다\"이다.
2번 O: 계산 결과 $Z_a + Z_b + Z_c = 9$이므로 옳다.
3번 X: $9 - j3$은 $Z_b = 3 - 3j$ 한 항을 전체 합으로 착각한 값이다. 틀린 표현은 \"합이 $9 - j3$이다\"이고, 올바르게는 \"$+3j$와 $-3j$를 더하면 허수부가 없어져 합은 9이다\"이다.
4번 X: $9 + j3$은 허수부 부호를 상쇄하지 않고 남겨 둔 값이다. 틀린 표현은 \"합이 $9 + j3$이다\"이고, 올바르게는 \"켤레 형태의 허수부가 서로 소거되어 합은 9이다\"이다.

오답 포인트

커패시터 임피던스를 $-j$가 아니라 $+j$로 잘못 쓰거나, Δ의 각 변 하나를 구한 뒤 그 값을 전체 합으로 착각하면 1번, 3번, 4번 같은 오답이 나온다. 특히 $(1 + j)/(1 - j) = j$, $(1 - j)/(1 + j) = -j$의 부호 처리가 핵심 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

회로 변환 계산형 문제는 먼저 각 소자의 임피던스를 R, $j\omega L$, $1/(j\omega C)$로 바꾼 뒤 Y회로 각 가지를 정리하고, 그다음 Y-Δ 공식을 적용해 마지막에 허수부 상쇄 여부까지 검산하는 순서로 판단한다.

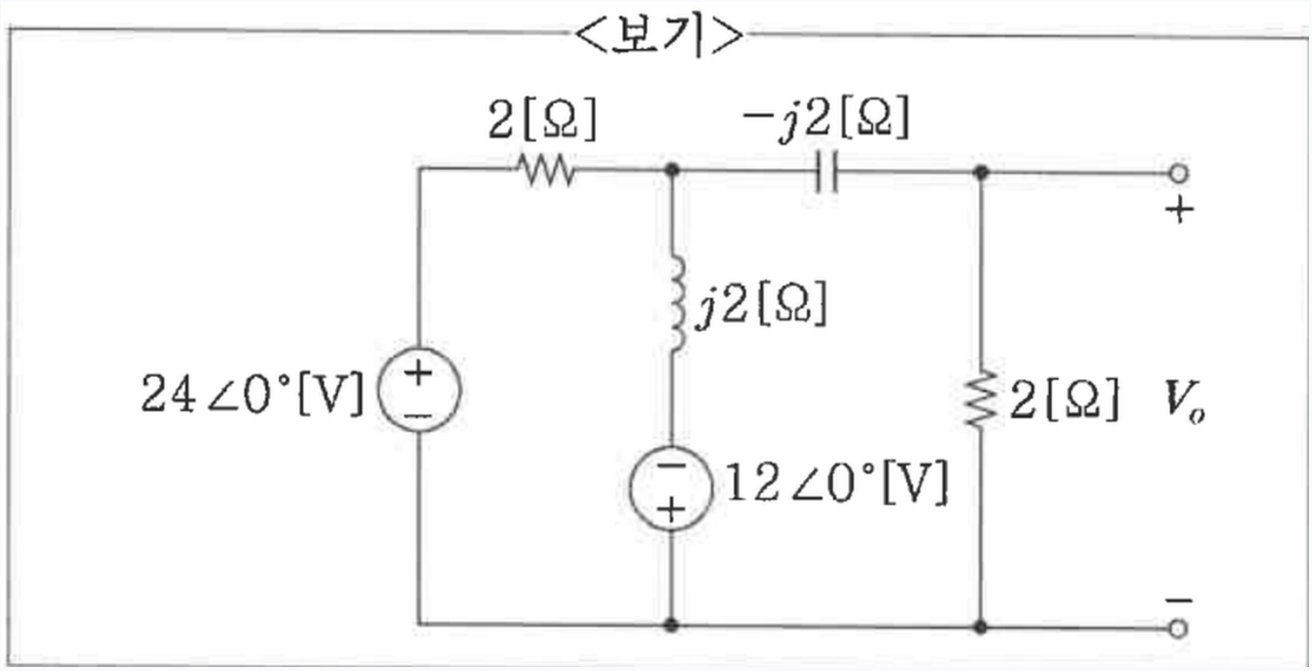
NoteBase

암기 포인트

회로이론의 기본 암기는 $Z_L = j\omega L, Z_C = 1/(j\omega C) = -j/(\omega C)$이며, 켤레쌍 허수부는 합에서 소거될 수 있다.

NoteBase

문 9. <보기>의 회로에서 전압 V_o의 값[V]은?



① $6\angle -90^\circ$

② $6\angle 90^\circ$

③ $12\angle -90^\circ$

④ $12\angle 90^\circ$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 기준 노드를 잡고 결절전압법으로 출력 전압 V_0를 구하는 문제이다.

조건 정리

왼쪽 전원 위 노드는 $24\angle 0^\circ$이다. 가운데 전원은 아래가 +극이므로 그 위 노드는 기준 노드보다 $-12\angle 0^\circ$이다. 임피던스는 좌측 저항 2Ω, 인덕터 $j2\Omega$, 커패시터 $-j2\Omega$, 부하 저항 2Ω이다.

사용할 공식

미지 결절이 두 개이므로 각 결절에 KCL을 적용한다. 어드미턴스는 $\frac{1}{2}, \frac{1}{j2} = -\frac{j}{2}, \frac{1}{-j2} = \frac{j}{2}$가 된다. 전원으로 전압이 이미 정해진 노드가 있으므로 망로전류법보다 결절전압법이 바로 적용된다.

NoteBase

계산 과정

중앙 결절 전압을 V_B, 출력 결절 전압을 V_0로 둔다.
$\frac{V_B-24}{2}+\frac{V_B-V_0}{-j2}+\frac{V_B-(-12)}{j2}=0$
$\frac{V_0-V_B}{-j2}+\frac{V_0}{2}=0$
첫째 식은 $V_B-jV_0=24+12j$로 정리된다. 둘째 식은 $j(V_0-V_B)+V_0=0$이므로 $V_B=(1-j)V_0$가 된다.
이를 대입하면
$(1-2j)V_0=24+12j$
$V_0=\frac{24+12j}{1-2j}=\frac{(24+12j)(1+2j)}{(1-2j)(1+2j)}=12j=12\angle 90^\circ$
따라서 출력 전압은 $V_0=12\angle 90^\circ$이다.

선지별 해설

① X: 계산 결과는 $12\angle 90^\circ$이므로 크기도 절반이고 위상도 반대이다. 틀린 표현 $6\angle -90^\circ$ → 올바르게는 $12\angle 90^\circ$이다.
② X: 위상 90°는 맞지만 크기가 6으로 작다. 틀린 표현 $6\angle 90^\circ$ → 올바르게는 $12\angle 90^\circ$이다.
③ X: 크기 12는 맞지만 위상이 -90°로 반대이다. 틀린 표현 $12\angle -90^\circ$ → 올바르게는 $12\angle 90^\circ$이다.
④ O: 결절방정식을 풀면 $V_0=12\angle 90^\circ$가 되므로 옳다.

오답 포인트

가운데 전원의 극성이 위가 -극, 아래가 +극이라는 점을 놓치면 결절 전압 부호가 뒤집힌다. 또한 커패시터 임피던스 $-j2\Omega$의 역수 부호를 잘못 쓰면 $\pm 90^\circ$가 바뀌어 ①이나 ③ 같은 오답으로 흐르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

교류 회로의 전압 계산 문제는 기준 노드를 먼저 정하고, 전원 극성으로 이미 아는 결절 전압을 확정한 뒤, 임피던스를 어드미턴스로 바꾸어 KCL을 세우고 마지막에 크기와 위상을 함께 검산하는 순서로 판단한다.

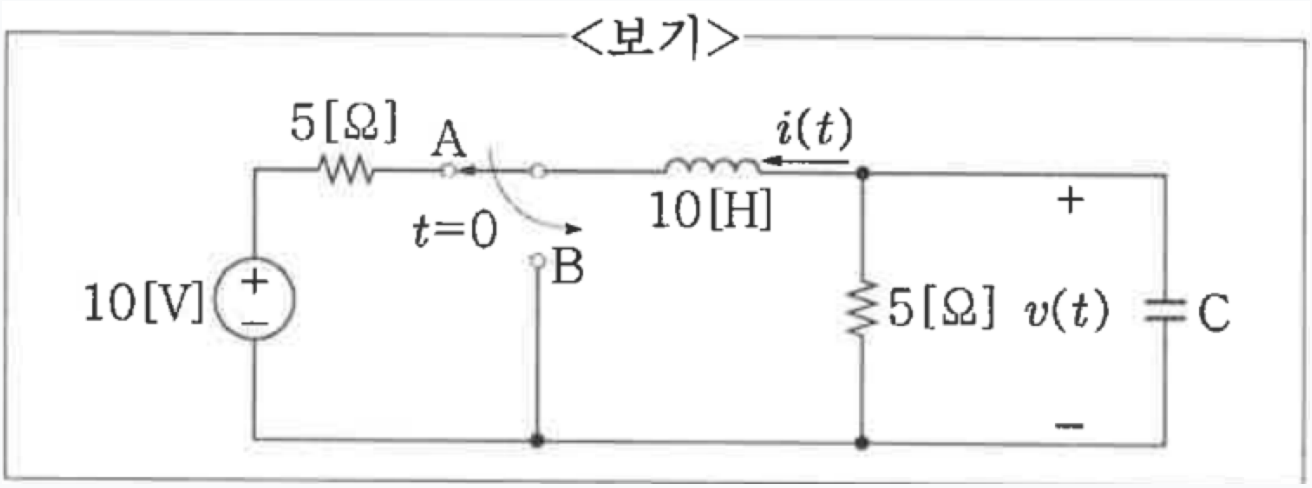
암기 포인트

인덕터는 $+jX$, 커패시터는 $-jX$, 극성이 뒤집힌 전원은 결절 전압 부호도 함께 바뀐다.

NoteBase

문 10. <보기>의 회로에서 스위치가 $t<0$일 때 오랫동안 A에서 닫혀있었고, $t=0$에서 B의 위치로 이동하였다. $t>0$에서 전압 $v(t)$가 임계감쇠되기 위한 커패시턴스 C의 값[F]과 전압 $v(t)$의 값[V]을 옳게 짝지은 것은?

<보기>



① C[F]: 0.01, $v(t)$[V]: $(10+5t)e^{-\frac{t}{2}}$

② C[F]: 0.1, $v(t)$[V]: $(5+5t)e^{-\frac{t}{2}}$

③ C[F]: 0.01, $v(t)$[V]: $(10+5t)e^{-\frac{t}{10}}$

④ C[F]: 0.1, $v(t)$[V]: $(5+5t)e^{-t}$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 병렬 RLC 자연응답의 임계감쇠 조건과 초기조건 $v(0^+)$, $\frac{dv}{dt}(0^+)$를 이용해 C와 $v(t)$를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $L=10H$, $R=5\Omega$, 전원 $10V$이다. 구해야 할 값은 임계감쇠가 되게 하는 커패시턴스 C와 그때의 전압 $v(t)$이다. $t<0$에서 정상상태이므로 인덕터는 단락, 커패시터는 개방으로 본다. 따라서 분압으로 $v(0^-)=5V$이고, 인덕터 전류의 크기는 $1A$이다. 스위치가 B로 옮겨지면 전원은 분리되고 인덕터, 저항, 커패시터가 병렬인 자연응답 회로가 된다.

사용할 공식

병렬 RLC 자연응답의 특성방정식은 $s^2+\frac{1}{RC}s+\frac{1}{LC}=0$이다. 임계감쇠 조건은 중근이므로 $\alpha=\omega_0$, $\alpha=\frac{1}{2RC}$, $\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}$를 쓴다. 이 문제는 스위치 전환 뒤 외부 전원이 없는 병렬 RLC 회로이므로 이 공식을 사용한다.

NoteBase

계산 과정

1. $t<0$ 정상상태에서 인덕터는 단락, 커패시터는 개방이므로 오른쪽 노드 전압은 분압으로 $v(0^-)=10\times\frac{5}{5+5}=5V$이다.
2. 정상상태 전류는 $\frac{10}{5+5}=1A$이다. 스위치 전환 뒤 인덕터 전류 연속조건을 적용하면, 그림의 화살표 방향 기준으로 $i_L(0^+)=-1A$가 된다. 따라서 $t=0^+$에서 KCL $\frac{v}{R}+C\frac{dv}{dt}+i_L=0$에 $v(0^+)=5V$, $i_L(0^+)=-1A$를 대입하면 $\frac{5}{5}+C\frac{dv}{dt}(0^+)-1=0$이므로 $\frac{dv}{dt}(0^+)=0$이다.
3. 임계감쇠 조건 $\alpha=\omega_0$를 적용하면 $\frac{1}{2RC}=\frac{1}{\sqrt{LC}}$이고, 이를 정리하면 $C=\frac{L}{4R^2}=\frac{10}{4\times25}=0.1F$이다.
4. 이때 $\alpha=\frac{1}{2RC}=1$이므로 전압은 $v(t)=(A+Bt)e^{-t}$ 꼴이다. 초기조건 $v(0)=5$로부터 $A=5$이고, $v'(0)=0$이므로 $B-A=0$, 즉 $B=5$이다. 따라서 $v(t)=(5+5t)e^{-t}$이다.

선지별 해설

① X: $C=0.01F$는 임계감쇠 조건 $C=\frac{L}{4R^2}=0.1F$와 맞지 않는다. 또한 $(10+5t)e^{-t/2}$는 $v(0)=10V$를 전제로 하는데 실제 초기 전압은 $5V$이다. 틀린 표현은 `` $C=0.01F$ ``와 `` $(10+5t)$ `` 부분이고, 올바르게는 `` $C=0.1F$ ``, `` $(5+5t)$ ``이다.
② X: $C=0.1F$까지는 맞지만, 이때 $\alpha=\frac{1}{2RC}=1$이므로 지수항은 e^{-t}가 되어야 한다. 틀린 표현은 `` $e^{-t/2}$ ``이고, 올바르게는 `` $e^{-t}$ ``이다.
③ X: $C=0.01F$이면 임계감쇠가 아니라 $\alpha=10$, $\omega_0=\sqrt{10}$이 되어 조건 자체를 만족하지 못한다. 또한 $(10+5t)e^{-t/10}$는 초기전압과 감쇠율을 모두 잘못 잡은 식이다. 틀린 표현은 `` $C=0.01F$ ``와 `` $e^{-t/10}$ ``이고, 올바르게는 `` $C=0.1F$ ``, `` $e^{-t}$ ``이다.
④ O: 임계감쇠 조건에서 $C=0.1F$가 나오고, 초기조건 $v(0)=5V$, $v'(0)=0$를 적용하면 $v(t)=(5+5t)e^{-t}$가 된다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.

오답 포인트

정상상태에서 커패시터 전압을 전원전압 $10V$로 바로 두거나, 병렬 RLC의 임계감쇠 조건을 직렬 RLC 공식처럼 잘못 적용하면 ①, ③ 같은 오답이 나온다. 또 $C=0.1F$를 구하고도 $\alpha=\frac{1}{2RC}$를 다시 대입하지 않으면 ②처럼 지수항을 $e^{-t/2}$로 잘못 적기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

스위치 과도회로는 먼저 $t<0$ 정상상태에서 $v(0^-)$, $i(0^-)$를 구하고, 그다음 $t=0^+$ 연속조건으로 $v(0^+)$, $i(0^+)$, 필요하면 $v'(0^+)$까지 정리한 뒤 특성방정식과 감쇠조건을 적용하면 된다.

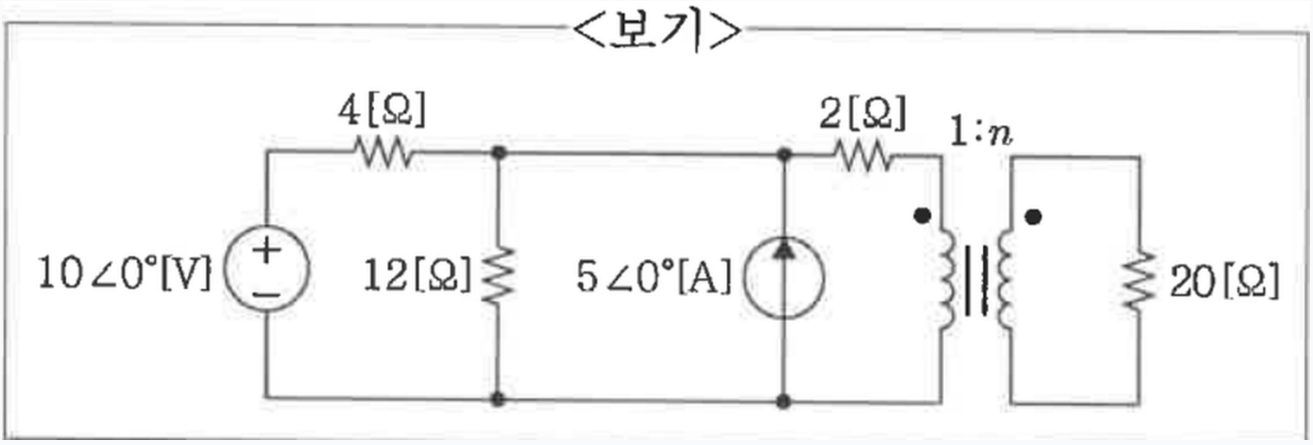
암기 포인트

병렬 RLC 임계감쇠는 $\alpha=\frac{1}{2RC}=\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}$이고, 정상상태 초기값은 인덕터 단락·커패시터 개방으로 잡는다.

NoteBase

문 11. 이상적인 변압기를 포함한 <보기>의 회로에서 20[Ω] 저항에 최대 전력을 전달하기 위한 변압기의 권수비 n의 값은?

<보기>



① 1

② 2

③ 5

④ 10

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 최대 전력 전달 조건과 이상적 변압기의 임피던스 환산을 이용해 권수비 n을 구하는 문제이다.

조건 정리

부하는 2차측의 20[Ω]이다. 변압기 권수비는 1:n이다. 1차측 단자에서 좌측 회로를 보면 2[Ω]이 직렬로 있고, 그 왼쪽 회로의 내부저항은 전원을 껐을 때 구할 수 있다.

사용할 공식

최대 전력 전달 조건은 부하저항이 테브난 저항과 같을 때 성립한다. 이상적 변압기에서 2차 부하 20[Ω]을 1차로 환산하면 $R_L' = 20\left(\frac{1}{n}\right)^2 = \frac{20}{n^2}$이다. 이 공식을 쓰는 이유는 20[Ω] 저항이 변압기 2차측에 있으므로 1차측에서 본 등가저항으로 바꾸어야 좌측 회로의 테브난 저항과 직접 비교할 수 있기 때문이다.

계산 과정

전압원은 단락시키고 전류원은 개방시키면, 1차측에서 본 좌측 회로 저항은 $R_{th} = 2 + (4 \parallel 12)$이다.
병렬저항은 $4 \parallel 12 = \frac{4 \cdot 12}{4+12} = 3$이므로 $R_{th} = 2 + 3 = 5$[Ω]이다. 최대 전력 전달 조건에 따라 $R_L' = R_{th}$이므로 $\frac{20}{n^2} = 5$이다. 따라서 $n^2 = 4$, $n = 2$이다.

NoteBase

선지 판단

1번: X. ①의 $n=1$이면 1차 환산 부하는 $\frac{20}{1^2}=20[\Omega]$가 된다. 이는 테브난 저항 5[Ω]와 같지 않으므로 최대 전력 전달 조건을 만족하지 않는다. 올바르게는 $n=2$이어야 한다.
2번: O. ②의 $n=2$이면 1차 환산 부하는 $\frac{20}{2^2}=5[\Omega]$가 된다. 이는 1차측에서 본 좌측 회로의 테브난 저항 5[Ω]와 일치하므로 20[Ω] 저항에 최대 전력이 전달된다.
3번: X. ③의 $n=5$이면 1차 환산 부하는 $\frac{20}{25}=0.8[\Omega]$가 된다. 부하가 지나치게 작아져 최대 전력 전달 조건과 맞지 않는다. 올바르게는 $n=2$이어야 한다.
4번: X. ④의 $n=10$이면 1차 환산 부하는 $\frac{20}{100}=0.2[\Omega]$가 된다. 이는 테브난 저항 5[Ω]와 크게 달라 최대 전력 전달이 되지 않는다. 올바르게는 $n=2$이어야 한다.

오답 포인트

2[Ω] 저항을 제외하고 $4\parallel 12=3[\Omega]$만 테브난 저항으로 잡으면 $\frac{20}{n^2}=3$으로 오답이 나온다. 변압기 1차 단자에서 본 전체 좌측 저항이므로 2[Ω]까지 포함해 5[Ω]으로 잡아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

변압기가 포함된 최대전력전달 문제는 먼저 부하를 1차 또는 2차 한쪽으로 환산하고, 그 단자에서 본 소스측 테브난 저항을 구한 뒤, 두 저항을 같게 두어 판단한다.

암기 포인트

이상적 변압기에서 저항은 권수비의 제곱으로 환산되며, 최대 전력 전달은 환산부하저항과 테브난 저항이 같을 때 성립한다.

NoteBase

문 12. <보기>의 함수 $F(s)$에 대한 라플라스 역변환 $f(t)=\mathcal{L}^{-1}\{F(s)\}$는? (단, $u(t)$는 단위 계단 함수이다.)

<보기>

$F(s)=\frac{7s^2+9}{s(s+1)(s+3)^2}$

① $(1+4e^{-t}+12te^{-3t})u(t)$

② $(1-4e^{-t}+12te^{-3t})u(t)$

③ $(1-4e^{-t}-3e^{-3t}+12te^{-3t})u(t)$

④ $(1-4e^{-t}+3e^{-3t}+12te^{-3t})u(t)$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 부분분수 전개를 한 뒤 기본 라플라스 역변환 공식을 적용하여 $f(t)$를 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 함수는 $F(s)=\frac{7s^2+9}{s(s+1)(s+3)^2}$이다.
구해야 할 값은 $f(t)=\mathcal{L}^{-1}\{F(s)\}$이다.
분모에 $s, s+1, (s+3)^2$가 있으므로 $\frac{A}{s}+\frac{B}{s+1}+\frac{C}{s+3}+\frac{D}{(s+3)^2}$ 꼴로 전개한다.

사용할 공식

$F(s)=\frac{A}{s}+\frac{B}{s+1}+\frac{C}{s+3}+\frac{D}{(s+3)^2}$
$\mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{1}{s}\right\}=u(t), \quad \mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{1}{s+a}\right\}=e^{-at}u(t), \quad \mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{1}{(s+a)^2}\right\}=te^{-at}u(t)$
이 문제는 분모가 1차 인수와 중근 $(s+3)^2$로 나뉘어 있으므로 부분분수 전개 후 각 항을 표준형으로 바로 역변환할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

부분분수 전개를 두면
$\frac{7s^2+9}{s(s+1)(s+3)^2} = \frac{A}{s} + \frac{B}{s+1} + \frac{C}{s+3} + \frac{D}{(s+3)^2}$
이다.
양변에 $s(s+1)(s+3)^2$를 곱하면
$7s^2+9 = A(s+1)(s+3)^2 + Bs(s+3)^2 + Cs(s+1)(s+3) + Ds(s+1)$
이다.
$s=0$을 대입하면 $9 = 9A$이므로 $A=1$이다.
$s=-1$을 대입하면 $16 = -4B$이므로 $B=-4$이다.
$s=-3$을 대입하면 $72 = 6D$이므로 $D=12$이다.
또한 s^3의 계수는 0이어야 하므로 $A+B+C=0$에서 $1-4+C=0$, 따라서 $C=3$이다.
따라서
$F(s) = \frac{1}{s} - \frac{4}{s+1} + \frac{3}{s+3} + \frac{12}{(s+3)^2}$
이고 역변환하면
$f(t) = (1 - 4e^{-t} + 3e^{-3t} + 12te^{-3t})u(t)$
이다.

선지 판단

1번: X. e^{-t} 항의 계수 부호가 잘못되었다. 부분분수 전개에서 $\frac{1}{s+1}$의 계수는 -4이므로 $+4e^{-t}$가 아니라 $-4e^{-t}$가 되어야 한다. 올바르게는 $(1 - 4e^{-t} + 3e^{-3t} + 12te^{-3t})u(t)$이다.
2번: X. $-4e^{-t}$와 $12te^{-3t}$는 맞지만 $\frac{3}{s+3}$ 항이 빠졌다. 따라서 $+3e^{-3t}$가 반드시 포함되어야 한다. 올바르게는 $(1 - 4e^{-t} + 3e^{-3t} + 12te^{-3t})u(t)$이다.
3번: X. e^{-3t} 항의 부호가 잘못되었다. $\frac{3}{s+3}$의 역변환은 $+3e^{-3t}u(t)$이므로 $-3e^{-3t}$가 아니라 $+3e^{-3t}$가 되어야 한다. 올바르게는 $(1 - 4e^{-t} + 3e^{-3t} + 12te^{-3t})u(t)$이다.
4번: O. 부분분수 전개 결과 $\frac{1}{s} - \frac{4}{s+1} + \frac{3}{s+3} + \frac{12}{(s+3)^2}$가 되고, 이를 항별로 역변환하면 $(1 - 4e^{-t} + 3e^{-3t} + 12te^{-3t})u(t)$가 된다.

오답 포인트

중근 $(s+3)^2$를 보면 te^{-3t} 항까지는 잘 찾지만, 동시에 생기는 단순극 $\frac{3}{s+3}$ 항의 존재나 부호를 놓치기 쉽다. 또한 $s=-1, s=-3$ 대입 과정에서 부호를 잘못 처리하면 1번이나 3번 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

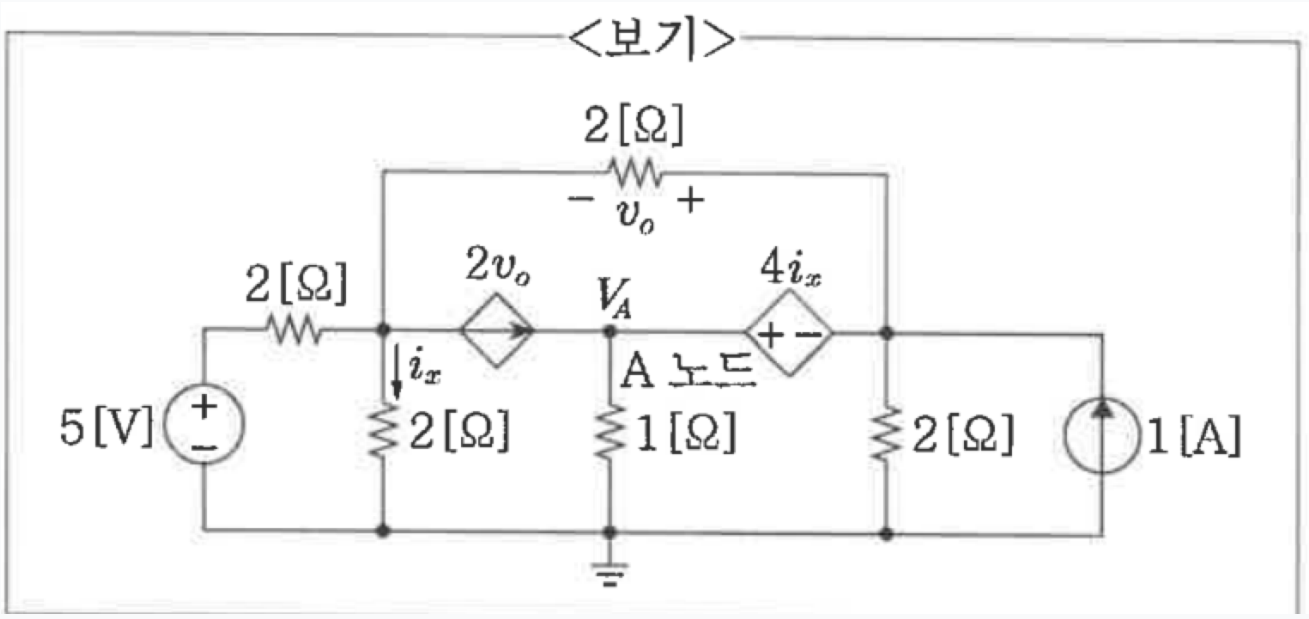
역라플라스 계산형은 분모 인수를 보고 부분분수 형태를 먼저 정한 뒤, 각 계수를 특수값 대입으로 구하고, 마지막에 $\frac{1}{s+a} \to e^{-at}$, $\frac{1}{(s+a)^2} \to te^{-at}$를 항별로 대응시키면 된다.

NoteBase

암기 포인트

$(s+a)^{-1}$는 e^{-at}, $(s+a)^{-2}$는 te^{-at}로 바뀌며, 중근이 있으면 t가 한 번 붙는다.

문 13. <보기>의 회로에서 A 노드에서의 전압 V_A의 값[V]은?



① $\frac{7}{3}$
② $\frac{10}{3}$
③ $\frac{13}{3}$
④ $\frac{16}{3}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 종속 전류원과 종속 전압원이 함께 있는 회로에서 노드전압법과 초노드 KCL을 적용하여 V_A를 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

좌측 검은 점 노드 전압을 V_L, 우측 검은 점 노드 전압을 V_R라 두면 구하는 값은 V_A이다.
i_x는 좌측 2Ω 저항의 아래방향 전류이므로 $i_x = \frac{V_L}{2}$이다.
상단 2Ω 저항의 전압 v_o는 좌측이 −, 우측이 +로 표시되어 있으므로 $v_o = V_R - V_L$이다.
종속 전류원 $2v_o$는 화살표가 좌측 노드에서 우측 노드로 향하므로, V_L 노드에서는 빠져나가는 전류, V_R 노드에서는 들어오는 전류로 처리한다.
종속 전압원 $4i_x$는 A 노드 쪽이 +, 우측 노드 쪽이 −이므로 $V_A - V_R = 4i_x = 2V_L$가 된다. 이 전압원이 A와 우측 노드 사이에 끼어 있어 두 노드를 하나의 초노드로 묶어야 한다.

NoteBase

기출OX 해설집 · 공무원/서울시/7급 · 회로이론 · 2024

사용할 공식

노드전압법의 기본은 각 노드 또는 초노드에서 '빠져나가는 전류의 합 = 0'으로 KCL을 세우는 것이다.
좌측 노드 V_L에는 일반 KCL을 적용한다. 좌측 2Ω(5 V 전원 쪽)로 나가는 전류 $\frac{V_L-5}{2}$, 아래 2Ω로 나가는 전류 $\frac{V_L}{2}$, 상단 2Ω로 우측에 나가는 전류 $\frac{V_L-V_R}{2}$, 종속 전류원으로 빠져나가는 $2v_o$를 모두 더해 0으로 둔다.
A 노드와 우측 노드는 종속 전압원 $4i_x$로 묶인 초노드이므로, 두 노드에서 빠져나가는 전류(A의 1Ω, 우측의 2Ω와 상단 2Ω)의 합에서 우측으로 들어오는 1A 전류원과 종속 전류원 $2v_o$를 빼서 0으로 둔다.
사용 식은 $\frac{V_L-5}{2}+\frac{V_L}{2}+\frac{V_L-V_R}{2}+2v_o=0$, $V_A+\frac{V_R}{2}+\frac{V_R-V_L}{2}-1-2v_o=0$, $V_A-V_R=2V_L$이다.

계산 과정

1. 초노드 (A, R)에 KCL을 세우면 $v_o=V_R-V_L$이므로 $V_A+\frac{V_R}{2}+\frac{V_R-V_L}{2}-1-2(V_R-V_L)=0$ 이다.
2. 종속 전압원에서 $V_A-V_R=2V_L$이므로 $V_A=V_R+2V_L$를 위 식에 대입하면
$(V_R+2V_L)+\frac{V_R}{2}+\frac{V_R-V_L}{2}-1-2(V_R-V_L)=0$ 이다. 양변에 2를 곱하면
$(2V_R+4V_L)+V_R+(V_R-V_L)-2-4(V_R-V_L)=0$이고, V_R 항은 $2V_R+V_R+V_R-4V_R=0$으로 모두 소거되어 $4V_L-V_L+4V_L-2=0$, 즉 $7V_L-2=0$에서 $V_L=\frac{2}{7}$이다.
3. 좌측 노드 KCL을 세우면 $\frac{V_L-5}{2}+\frac{V_L}{2}+\frac{V_L-V_R}{2}+2(V_R-V_L)=0$ 이고, 양변에 2를 곱해 정리하면
$(V_L-5)+V_L+(V_L-V_R)+4(V_R-V_L)=0$, 즉 $-V_L+3V_R-5=0$에서 $V_R=\frac{V_L+5}{3}$이다.
4. $V_L=\frac{2}{7}$을 대입하면 $V_R=\frac{\frac{2}{7}+5}{3}=\frac{\frac{37}{7}}{3}=\frac{37}{21}$이다.
5. $V_A=V_R+2V_L=\frac{37}{21}+\frac{4}{7}=\frac{37}{21}+\frac{12}{21}=\frac{49}{21}=\frac{7}{3}$이므로 정답은 1번이다.

선지 판단

1번 O: 계산 결과 $V_A=\frac{7}{3}V$이므로 맞는 선택지이다.
2번 X: $V_A=\frac{10}{3}V$는 틀리다. 상단 2Ω의 v_o를 V_L-V_R로 부호를 반대로 두면 종속 전류원 항 $2v_o$의 부호가 두 KCL에서 모두 뒤집혀 V_L 값이 달라지고 이런 과대값이 나온다.
3번 X: $V_A=\frac{13}{3}V$는 틀리다. 초노드 KCL에서 우측 1A 전류원의 유입 항 -1을 빼먹으면 우변 상수가 사라져 V_A가 실제보다 크게 치우친다.
4번 X: $V_A=\frac{16}{3}V$는 틀리다. 종속 전압원 관계식을 $V_A-V_R=4i_x=2V_L$ 대신 부호나 계수를 잘못 써서 $V_A=V_R+2V_L$ 대입이 어긋나거나, 좌측 노드에서 $5V$ 전원 가지 전류 $\frac{V_L-5}{2}$를 누락하면 이런 과대값이 나온다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 종속원의 부호와 방향, 그리고 전압원이 끼어 있는 A 노드와 우측 노드를 초노드로 묶어야 한다는 점이다. 특히 v_o는 좌측이 −, 우측이 +이므로 V_R-V_L로 잡아야 하며, 이를 V_L-V_R로 두는 순간 종속 전류원 $2v_o$ 항이 두 식에서 모두 뒤집혀 식 전체가 어긋난다. 또한 종속 전류원의 화살표 방향(좌→우)을 거꾸로 보면 V_L과 V_R 노드의 유입·유출이 바뀐다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

종속원이 있는 회로의 노드전압 문제는 먼저 기준전압과 종속변수 i_x, v_o를 노드전압으로 표현하고, 그다음 전압원이 끼어 있으면 초노드를 만든 뒤 KCL 두 개와 종속원 관계식 한 개를 함께 푼다고 판단한다.

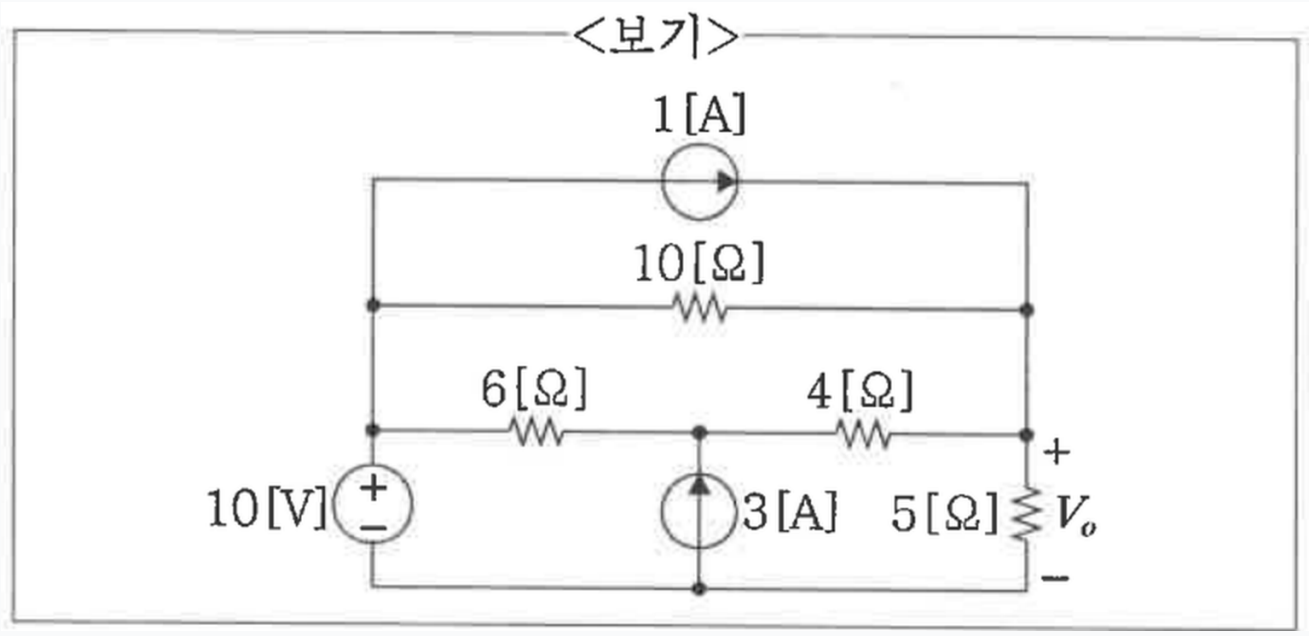
암기 포인트

종속원 회로는 부호 정의가 반 계산이다. i_x, v_o를 먼저 노드전압으로 바꾸고 초노드 KCL을 세우면 V_A가 정리된다.

NoteBase

문 14. <보기>의 회로에서 전압 V_o의 값[V]은?

<보기>



① 7

② 9.5

③ 12

④ 14.5

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 절점해석으로 각 노드에 키르히호프 전류법칙을 적용하여 V_o를 구하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

주어진 값:

왼쪽 노드는 10 V 전원에 직접 연결되어 있으므로 전압이 10 V이다.

왼쪽과 오른쪽 사이에는 10 Ω 저항과 1 A 전류원이 병렬 연결되어 있다.

왼쪽과 가운데 사이는 6 Ω, 가운데와 오른쪽 사이는 4 Ω이다.

가운데 노드에는 아래에서 위로 3 A 전류원이 연결되어 있다.

오른쪽 노드는 5 Ω를 거쳐 기준 노드와 연결되어 있고, 이 전압이 V_o이다.

구해야 할 값:

오른쪽 노드 전압 V_o이다.

주의할 조건:

1 A 전류원은 왼쪽에서 오른쪽으로 전류를 공급한다.

3 A 전류원은 기준 노드에서 가운데 노드로 전류를 공급한다.

사용할 공식

왼쪽 노드 전압을 10 V, 가운데 노드 전압을 V_C, 오른쪽 노드 전압을 V_o라 두면 절점해석 식은 다음과 같다.

$$\frac{V_C-10}{6}+\frac{V_C-V_o}{4}=3$$

$$\frac{V_o-10}{10}+\frac{V_o-V_C}{4}+\frac{V_o}{5}=1$$

이 공식을 쓰는 이유:

전압원이 왼쪽 노드 전압을 바로 정해 주므로, 나머지 두 노드에 대해 KCL을 세우면 가장 짧게 해를 구할 수 있다.

계산 과정

1. 가운데 노드에서 KCL을 적용하면 $\frac{V_C-10}{6}+\frac{V_C-V_o}{4}=3$이고, 정리하면 $5V_C-3V_o=56$이다.
2. 오른쪽 노드에서 KCL을 적용하면 $\frac{V_o-10}{10}+\frac{V_o-V_C}{4}+\frac{V_o}{5}=1$이고, 정리하면 $11V_o-5V_C=40$이다.
3. 첫 식에서 $5V_C=56+3V_o$이므로 이를 두 번째 식에 대입하면 $11V_o-(56+3V_o)=40$이다.
4. 따라서 $8V_o=96$, $V_o=12$가 된다.

선지 판단

1번: X. $V_o=7$이면 가운데 노드 식과 오른쪽 노드 식을 동시에 만족하지 않는다. 틀린 표현은 $V_o=7$이며, 올바르게는 $V_o=12$이다.

2번: X. $V_o=9.5$이면 10 Ω, 4 Ω, 5 Ω 가지 전류의 합이 전류원 조건과 맞지 않는다. 틀린 표현은 $V_o=9.5$이며, 올바르게는 $V_o=12$이다.

3번: O. 절점해석 결과 오른쪽 노드 전압은 $V_o=12$이므로 맞는 선택지이다.

4번: X. $V_o=14.5$이면 오른쪽 노드에서 접지로 흐르는 전류가 과대해져 KCL이 성립하지 않는다. 틀린 표현은 $V_o=14.5$이며, 올바르게는 $V_o=12$이다.

NoteBase

오답 포인트

왼쪽 노드가 이미 10 V로 고정된다는 점을 놓치거나, 1 A와 3 A 전류원의 방향을 식에 반대로 넣으면 오답이 나온다. 병렬 10 Ω 저항과 1 A 전류원을 하나로 단순화하려다 부호를 틀리는 경우도 많다.

다시 나오면 이렇게 판단

회로 계산형 문제는 기준 노드를 먼저 정하고, 전압원이 직접 연결된 노드는 즉시 값으로 확정한 뒤, 나머지 노드에 KCL을 세워 연립방정식으로 정리하면 된다.

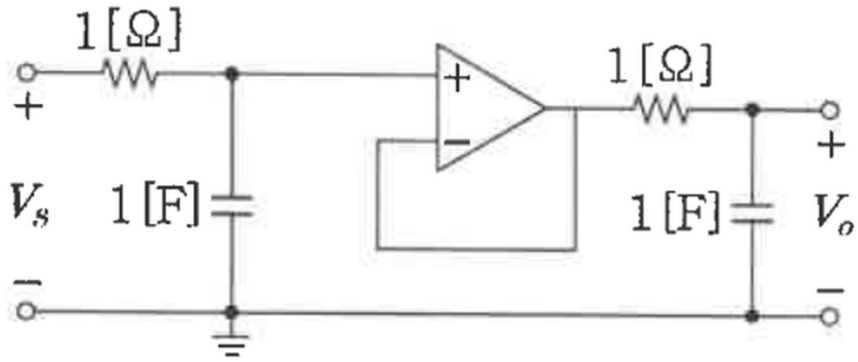
암기 포인트

전류원이 포함된 저항 회로는 절점해석이 빠르며, 접지와 직접 연결된 전압원은 해당 노드 전압을 바로 결정한다.

NoteBase

문 15. 이상적인 연산증폭기를 포함하는 <보기>의 회로의 전달함수 $H(\omega)$는? (단, 입력 전압은 V_s이고, 출력 전압은 V_o이다.)

<보기>



① $(j\omega+1)^2$

② $\frac{1}{(j\omega+1)(j\omega+2)}$

③ $\frac{j\omega+1}{j\omega+2}$

④ $\frac{1}{(j\omega+1)^2}$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 이상적인 연산증폭기 전압 팔로어가 두 개의 RC 저역통과단을 분리할 때 전체 전달함수 $H(\omega)$를 구하는 문제이다.

조건 정리

각 저항은 1Ω, 각 커패시터는 1F이다. 연산증폭기는 출력이 음극 입력으로 되먹임된 이상적인 전압 팔로어이므로 이득은 1이고 입력 임피던스는 무한대, 출력 임피던스는 0이다. 따라서 앞단 RC 회로와 뒷단 RC 회로는 서로 적재되지 않는다.

사용할 공식

1차 RC 저역통과회로의 전달함수는 $H_{RC}(\omega)=\frac{Z_C}{R+Z_C}=\frac{1}{1+j\omega RC}$이다. 여기서 $Z_C=\frac{1}{j\omega C}$이다. 이 공식을 쓰는 이유는 앞단과 뒷단이 모두 저항 직렬, 커패시터 접지형의 1차 저역통과회로이고, 중간의 이상적 버퍼가 두 단을 완전히 분리하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

앞단의 전달함수는 $R=1, C=1$이므로 $H_1(\omega)=\frac{1}{1+j\omega}$이다. 중간 연산증폭기는 전압 팔로어이므로 전달함수는 1이다. 뒷단도 동일한 RC 저역통과회로이므로 $H_2(\omega)=\frac{1}{1+j\omega}$이다. 따라서 전체 전달함수는 $H(\omega)=H_1(\omega)\cdot 1\cdot H_2(\omega)=\frac{1}{(1+j\omega)^2}$이다.

선지 판단

1번 X: $(j\omega+1)^2$는 실제 전달함수의 역수이다. 틀린 표현은 분자가 1이 아니라 $(j\omega+1)^2$로 뒤집힌 점이다. 올바르게는 $\frac{1}{(j\omega+1)^2}$이다.
2번 X: $\frac{1}{(j\omega+1)(j\omega+2)}$라면 두 단의 시정수가 서로 다르거나 적재효과로 극점이 달라져야 한다. 이 회로는 두 단 모두 $RC=1$이고 버퍼가 있어 서로 영향을 주지 않으므로 틀리다. 올바르게는 두 극점이 모두 -1인 $\frac{1}{(j\omega+1)^2}$이다.
3번 X: $\frac{j\omega+1}{j\omega+2}$는 분자에 영점이 하나 생긴 형태인데, 이 회로는 저항과 커패시터만 있는 두 개의 저역통과단이므로 그런 영점이 생기지 않는다. 또한 $\omega=0$에서 이 식은 $\frac{1}{2}$이지만 실제 회로는 직류에서 감쇠가 없어 1이 된다. 올바르게는 $\frac{1}{(j\omega+1)^2}$이다.
4번 O: 각 단의 전달함수가 모두 $\frac{1}{j\omega+1}$이고 버퍼 이득이 1이므로 전체는 그 곱인 $\frac{1}{(j\omega+1)^2}$가 된다.

오답 포인트

이상적인 연산증폭기 버퍼를 무시하고 두 RC 단이 서로 적재된다고 착각하면 2번처럼 다른 극점을 만들기 쉽다. 또 전달함수를 구할 때 커패시터 전압 출력형 저역통과회로를 반대로 써서 1번처럼 역수를 고르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

연산증폭기가 나오면 먼저 전압 팔로어인지 반전기인지 구성을 확인한다. 전압 팔로어이면 앞뒤 회로를 분리해서 각 단의 전달함수를 구한 뒤 곱한다. 각 단이 R-직렬, C-접지에 출력이 커패시터 양단이면 기본형 $\frac{1}{1+j\omega RC}$를 바로 적용할 수 있다.

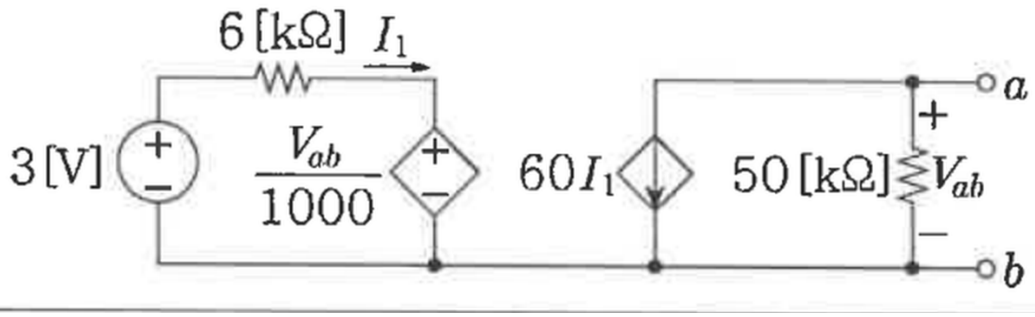
암기 포인트

이상적 버퍼가 끼면 앞단과 뒷단은 서로 적재되지 않으므로 전체 전달함수는 각 단 전달함수의 곱이 된다.

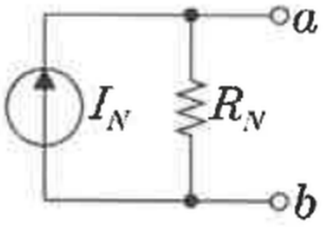
NoteBase

문 16. <보기 1>의 회로를 <보기 2>의 노튼 등가 회로로 표현할 때, 전류 I_N[mA]과 저항 R_N[kΩ]의 값을 옳게 짝지은 것은?

<보기 1>



<보기 2>



① I_N[mA]: −100, R_N[kΩ]: 30

② I_N[mA]: 100, R_N[kΩ]: 30

③ I_N[mA]: −30, R_N[kΩ]: 100

④ I_N[mA]: 30, R_N[kΩ]: 100

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 종속원이 포함된 1포트 회로를 노튼 등가회로로 바꾸기 위해 단자 전류식과 등가 저항을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 3 V 전압원, 6 kΩ 저항, $V_{ab}/1000$ 종속 전압원, $60I_1$ 종속 전류원, 50 kΩ 저항이다.
구해야 할 값은 보기 2의 I_N과 R_N이다.
보기 2의 전류원 화살표는 위쪽이므로 부호를 화살표 기준으로 읽어야 한다.

NoteBase

사용할 공식

좌측 루프에 KVL을 적용하면 $3 - 6I_1 = V_{ab}/1000$이다.
단자 a-b에서 아래 방향 단자전류를 I라 두면 $I = 60I_1 + V_{ab}/50$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 노튼 등가회로의 단자식이 $I = -I_N + V_{ab}/R_N$ 꼴이므로, 원회로의 I-V_{ab} 관계를 같은 꼴로 정리하면 I_N과 R_N을 바로 읽을 수 있기 때문이다.

계산 과정

먼저 KVL에서 I_1을 정리하면 $I_1 = (3 - V_{ab}/1000)/6 = 0.5 - V_{ab}/6000$ mA이다.
이를 단자전류식에 대입하면 $I = 60\left(0.5 - \frac{V_{ab}}{6000}\right) + \frac{V_{ab}}{50} = 30 - \frac{V_{ab}}{100} + \frac{V_{ab}}{50} = 30 + \frac{V_{ab}}{100}$ 이다.
따라서 원회로의 단자식은 $I = 30 + V_{ab}/100$ mA이고, 노튼형 $I = -I_N + V_{ab}/R_N$와 비교하면 $I_N = -30$ mA, $R_N = 100$ kΩ이다.
같은 결과를 단락과 개방으로 확인하면, $V_{ab} = 0$일 때 $I_1 = 0.5$ mA이므로 단락전류의 크기는 30 mA이고 화살표 기준 부호는 음수이다. 또 개방 시 $I = 0$이므로 $V_{ab} = -3000$ V가 되어 $R_N = V_{oc}/I_N = 100$ kΩ가 된다.

선지별 해설

① X. (-100 mA, 30 kΩ)는 둘 다 틀렸다. 단자식의 상수항은 30이므로 I_N의 크기는 30 mA이고, V_{ab}의 계수는 1/100이므로 $R_N = 100$ kΩ이다. 틀린 값 조합 -> 올바르게는 (-30 mA, 100 kΩ)이다.
② X. (100 mA, 30 kΩ)도 둘 다 틀렸다. 100 mA는 I_1 또는 종속원 값을 잘못 대입해 단락전류를 과대평가한 경우에 나오고, 30 kΩ는 단자식의 기울기를 잘못 읽은 값이다. 틀린 값 조합 -> 올바르게는 (-30 mA, 100 kΩ)이다.
③ O. 단자식 $I = 30 + V_{ab}/100$을 노튼형과 비교하면 $I_N = -30$ mA, $R_N = 100$ kΩ이므로 맞다.
④ X. $R_N = 100$ kΩ는 맞지만 $I_N = 30$ mA의 부호가 틀렸다. 30 mA는 단락전류의 크기일 뿐이고, 보기 2의 전류원은 위쪽 화살표 기준이므로 실제 값은 -30 mA이다. 틀린 표현 -> 올바르게는 $I_N = -30$ mA이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 전류원 화살표의 기준 부호와 단자식의 전류 방향을 섞어 읽는 데 있다. ④처럼 크기 30 mA만 맞추고 부호를 놓치기 쉽고, ①·②처럼 V_{ab} 계수를 잘못 정리하면 R_N까지 함께 틀리게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

종속원이 있는 등가회로 문제는 단락전류와 저항을 따로 감으로 읽지 않고, 먼저 KVL·KCL로 단자식 $I = f(V_{ab})$를 만든 뒤 노튼형 $I = -I_N + V_{ab}/R_N$와 항별 비교하는 방식으로 판단하면 부호와 저항을 동시에 안정적으로 구할 수 있다.

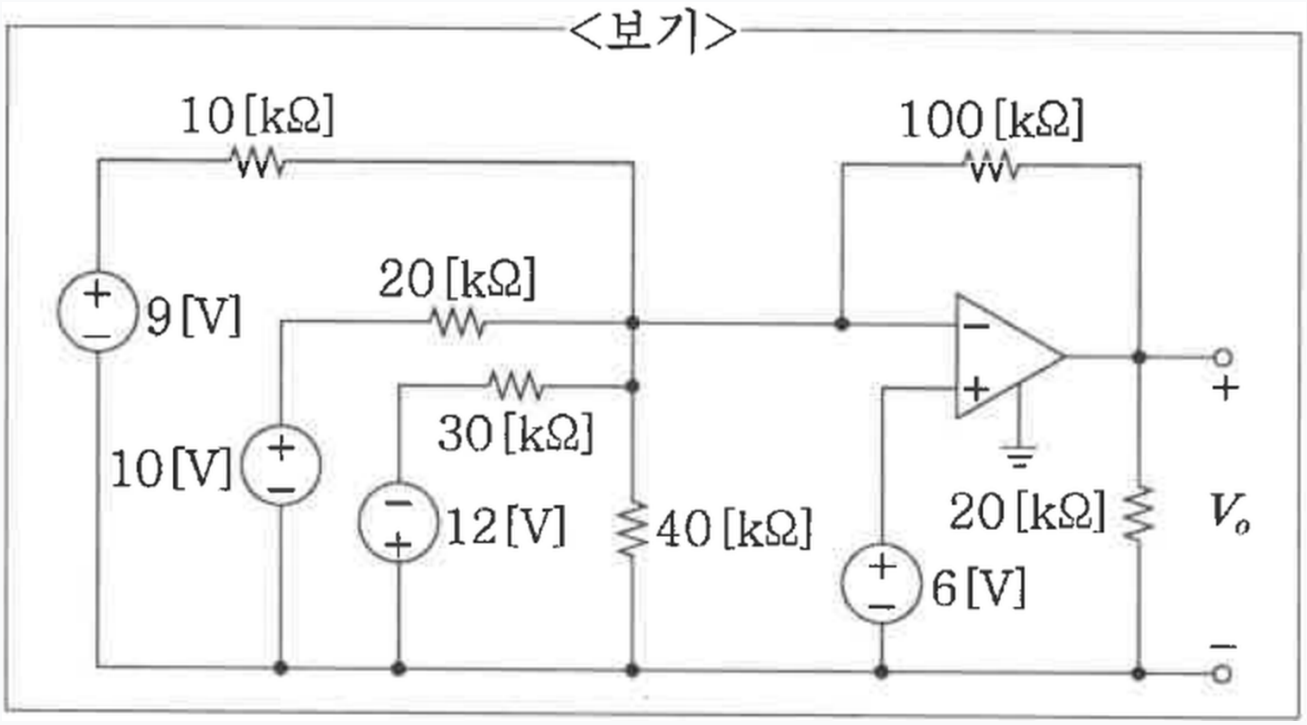
암기 포인트

종속원이 있으면 단자식 비교가 가장 안전하며, 노튼형 전류원의 부호는 그림에 그려진 화살표 방향 기준으로 읽는다.

NoteBase

문 17. 이상적인 연산증폭기를 사용한 <보기>의 회로에서 전압 V_o의 값[V]은?

<보기>



① -25

② -19

③ 25

④ 31

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 이상적인 연산증폭기의 가상단락 성질과 반전 입력 노드의 KCL을 이용해 출력전압 V_o를 구하는 문제이다.

조건 정리

+ 입력이 6 V 전원에 연결되어 있으므로 이상적인 연산증폭기에서 $V_- = V_+ = 6V$이다.
입력전류는 0이므로 반전 입력 노드에는 저항 전류들만 출입한다.
각 저항의 반대편 전위는 10kΩ 쪽이 9 V, 20kΩ 쪽이 10 V, 30kΩ 쪽이 -12 V, 40kΩ 쪽이 0 V이다.
출력단의 20kΩ 부하는 이상적인 연산증폭기의 출력전압 값을 바꾸지 않고 부하전류만 결정한다.

NoteBase

사용할 공식

반전 입력 노드 전압을 6 V로 두고 KCL을 적용하면 된다.
$\frac{6-9}{10k}+\frac{6-10}{20k}+\frac{6-(-12)}{30k}+\frac{6-0}{40k}+\frac{6-V_o}{100k}=0$
이 공식을 쓰는 이유는 이상적인 연산증폭기에서 입력전류가 0이고, 음귀환이 걸려 있어 반전 입력 노드가 가상적으로 6 V에 고정되기 때문이다.

계산 과정

각 가지 전류를 반전 입력 노드에서 바깥으로 나가는 방향으로 두면 $\frac{6-9}{10k}=-0.3mA$, $\frac{6-10}{20k}=-0.2mA$, $\frac{6-(-12)}{30k}=0.6mA$, $\frac{6}{40k}=0.15mA$이다.
따라서 피드백 저항을 제외한 전류의 합은 $-0.3-0.2+0.6+0.15=0.25mA$이다.
그러므로 100kΩ 피드백 가지 전류는 $-0.25mA$이어야 하므로 $\frac{6-V_o}{100k}=-0.25mA$이다.
이를 풀면 $6-V_o=-25$이고, 따라서 $V_o=31V$이다.

선지 판단

1번 X: $V_o=-25V$를 대입하면 피드백 전류가 $\frac{6-(-25)}{100k}=0.31mA$로 노드 밖으로 나가게 되어 필요한 $-0.25mA$와 방향부터 맞지 않는다. 올바르게는 $V_o=31V$이다.
2번 X: $V_o=-19V$를 대입하면 피드백 전류가 $\frac{6-(-19)}{100k}=0.25mA$가 되어 역시 노드 밖으로 흐른다. 이 회로는 피드백 전류가 노드 안으로 0.25mA 들어와야 평형이 된다. 올바르게는 $V_o=31V$이다.
3번 X: $V_o=25V$를 대입하면 피드백 전류가 $\frac{6-25}{100k}=-0.19mA$로 방향은 맞지만 크기가 부족해 KCL을 만족하지 못한다. 올바르게는 $V_o=31V$이다.
4번 O: $V_o=31V$를 대입하면 피드백 전류가 $\frac{6-31}{100k}=-0.25mA$가 되어 앞에서 계산한 나머지 가지 전류 합 0.25mA를 정확히 상쇄한다. 따라서 정답이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 12 V 전원의 극성을 반대로 읽어 30kΩ 가지 전위를 +12 V로 두는 경우와, 가상단락을 0 V로 착각해 반전 입력 노드를 6 V가 아닌 0 V로 놓는 경우이다. 피드백 저항 전류의 방향을 끝까지 같은 기준으로 유지하지 않으면 부호가 뒤집혀 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상적인 연산증폭기 회로는 먼저 $V_-=V_+$를 잡고, 입력전류 0 조건으로 해당 노드에 KCL을 세운 뒤, 마지막에 구한 출력값을 다시 피드백 전류에 대입해 방향과 크기가 맞는지 검산하면 된다.

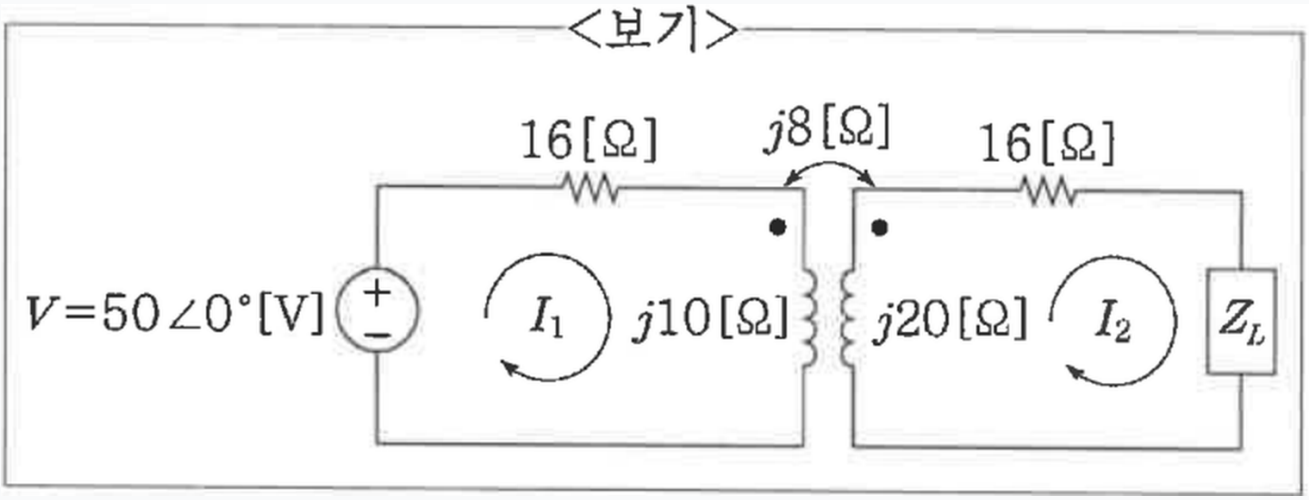
암기 포인트

이상적인 연산증폭기 음귀환 회로는 가상단락 $V_-=V_+$, 입력전류 0, 노드 KCL의 세 단계로 정리된다.

NoteBase

문 18. <보기>의 회로에서 전류 I_1의 값[A]은? (단, $Z_L = -j20[\Omega]$이다.)

<보기>



① $2 - j$

② $2 + j$

③ $\frac{5}{3}(2 - j)$

④ $\frac{5}{3}(2 + j)$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 점표시가 있는 결합회로에서 상호유도 부호를 반영한 메쉬방정식으로 I_1을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $V = 50\angle 0^\circ$ V, 왼쪽 루프 임피던스 $16 + j10\Omega$, 오른쪽 루프 임피던스
$16 + j20 + (-j20) = 16\Omega$, 상호 리액턴스 $j8\Omega$이다.
두 코일의 점표시 기준에서 I_1은 점단자로 들어가고 I_2는 점단자에서 나오므로 상호항 부호는 음(-)이다.
구해야 할 값은 왼쪽 메쉬전류 I_1이다.

사용할 공식

메쉬방정식은 $(16 + j10)I_1 - j8I_2 = 50$, $-j8I_1 + 16I_2 = 0$ 이다.
오른쪽 루프에서는 코일의 자기리액턴스 $j20\Omega$와 부하 $Z_L = -j20\Omega$가 상쇄되므로 메쉬법으로 바로 정리할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. 둘째 식에서 $-j8I_1 + 16I_2 = 0$이므로 $I_2 = \frac{j8}{16}I_1 = \frac{j}{2}I_1$이다.
2. 이를 첫째 식에 대입하면 $(16 + j10)I_1 - j8\left(\frac{j}{2}I_1\right) = 50$이다.
3. $j^2 = -1$이므로 $-j8 \cdot \frac{j}{2} = +4$이고, 따라서 $(20 + j10)I_1 = 50$이다.
4. $I_1 = \frac{50}{20 + j10} = \frac{50(20 - j10)}{20^2 + 10^2} = 2 - j\text{A}$이다.

선지 판단

1번 O: 계산 결과가 $I_1 = 2 - j\text{A}$이므로 맞다.
2번 X: $2 + j$는 허수부 부호가 반대이다. 상호항 부호를 잘못 두거나 켤레복소수 정리를 틀리면 나오는 값이다. 올바르게는 $I_1 = 2 - j\text{A}$이다.
3번 X: $\frac{5}{3}(2 - j) = \frac{10}{3} - \frac{5}{3}j$는 실제값보다 크기가 과대하다. 둘째 메쉬식에서 I_2를 잘못 정리하거나 분모 계산을 틀리면 나오는 값이다. 올바르게는 $I_1 = 2 - j\text{A}$이다.
4번 X: $\frac{5}{3}(2 + j) = \frac{10}{3} + \frac{5}{3}j$는 크기도 다르고 허수부 부호도 반대이다. 상호항 부호와 복소수 나눗셈을 함께 틀린 값이다. 올바르게는 $I_1 = 2 - j\text{A}$이다.

오답 포인트

결합회로에서는 점표시를 보고 상호항 부호를 먼저 정해야 한다. 이 문항은 오른쪽 루프의 $j20\Omega$와 $Z_L = -j20\Omega$가 먼저 상쇄된다는 점을 놓치거나, 한 전류는 점단자로 들어가고 다른 전류는 점단자에서 나오므로 상호항이 음(-)이 된다는 점을 놓치면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

결합회로 계산형은 점표시로 상호항 부호를 먼저 판정하고, 각 루프의 등가임피던스를 정리한 뒤, 상쇄되는 리액턴스를 먼저 없애고 메쉬방정식을 세우면 된다.

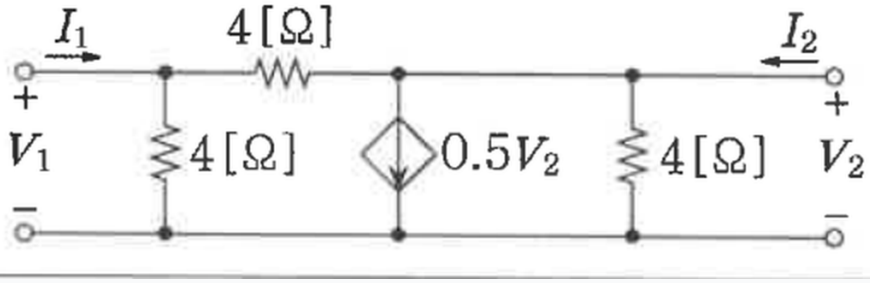
암기 포인트

점단자 기준으로 두 전류가 함께 들어가거나 함께 나오면 상호항은 $+jM$, 한쪽은 들어가고 다른 쪽은 나오면 상호항은 $-jM$이다.

NoteBase

문 19. <보기>의 회로에서 y-파라미터 pmatrix y_11 & y_12 \ y_21 & y_22 pmatrix의 값[S]은?

<보기>



① pmatrix 0.5 & -0.25 \ -0.25 & 1 pmatrix

② pmatrix 2 & -0.25 \ -0.25 & 1 pmatrix

③ pmatrix 0.5 & 0.25 \ 0.25 & 0.5 pmatrix

④ pmatrix 0.5 & -0.25 \ 0.25 & 1 pmatrix

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 2포트 회로에서 포트 전류를 노드전압 V_1, V_2로 표현하여 y-파라미터 행렬을 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

왼쪽 포트 노드 전압은 V_1, 오른쪽 포트 노드 전압은 V_2이다.
왼쪽 노드에는 접지로 연결된 4Ω 저항이 하나 있고, 두 포트 사이에는 4Ω 저항이 하나 있다.
오른쪽 노드에는 접지로 연결된 4Ω 저항과 아래 방향의 종속 전류원 $0.5V_2$가 있다.
포트 전류 I_1, I_2는 모두 회로 안으로 들어가는 방향으로 정의되어 있다.

사용할 공식

정의식은 bmatrix I_1 \ I_2 bmatrix = bmatrix y_11 & y_12 \ y_21 & y_22 bmatrixbmatrix V_1 \ V_2 bmatrix 이다.
각 포트 전류를 KCL로 바로 쓰면 V_1, V_2의 계수가 각각 y-파라미터가 된다.
이 공식을 쓰는 이유는 회로가 전압 제어 전류원까지 포함한 선형 회로이므로 포트 전류를 포트 전압의 1차식으로 표현할 수 있기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 왼쪽 포트 전류는 왼쪽 4Ω 저항 전류와 가운데 4Ω 저항 전류의 합이므로
$I_1 = \frac{V_1}{4} + \frac{V_1 - V_2}{4} = 0.5V_1 - 0.25V_2$ 이다.
2. 오른쪽 포트 전류는 오른쪽 4Ω 저항 전류, 가운데 4Ω 저항을 통해 왼쪽으로 가는 전류, 종속 전류원 전류의 합이므로 $I_2 = \frac{V_2}{4} + \frac{V_2 - V_1}{4} + 0.5V_2 = -0.25V_1 + 1.0V_2$ 이다.
3. 따라서 $y_{11} = 0.5, \quad y_{12} = -0.25, \quad y_{21} = -0.25, \quad y_{22} = 1$ 이고, bmatrix y_11 & y_12 \ y_21 & y_22 bmatrix = bmatrix 0.5 & -0.25 \ -0.25 & 1 bmatrix 이다.

선지 판단

1번 O: 계산 결과가 bmatrix 0.5 & -0.25 \ -0.25 & 1 bmatrix와 정확히 일치한다.
2번 X: $y_{11} = 2$로 본 점이 틀렸다. 왼쪽 포트에서 V_1에 걸리는 어드미턴스는 1/4 + 1/4 = 0.5S이다.
올바르게는 첫 행 첫 열 값이 2가 아니라 0.5이다.
3번 X: y_{12}, y_{21}의 부호를 모두 양수로 본 점이 틀렸다. 서로 연결된 4Ω 저항 때문에 V_2가 커지면 I_1은 감소하고, V_1이 커지면 I_2도 감소한다. 올바르게는 두 상호 어드미턴스가 모두 $+0.25$가 아니라 -0.25S이다.
4번 X: y_{21}의 부호를 양수로 본 점이 틀렸다. I_2식에서 V_1의 계수는 $(V_2 - V_1)/4$ 때문에 반드시 -0.25가 된다.
올바르게는 둘째 행 첫 열 값이 $+0.25$가 아니라 -0.25이다.

오답 포인트

상호 어드미턴스 y_{12}, y_{21}의 부호를 반대로 쓰기 쉽다. 두 포트 사이 저항 전류를 $(V_1 - V_2)/4$, $(V_2 - V_1)/4$로 정확히 써야 부호가 맞는다. 또 저항 4Ω를 어드미턴스 0.25S로 바꾸지 않고 4 자체를 계수처럼 쓰면 2번 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

2포트 y-파라미터 문제는 각 포트 노드에서 회로 안으로 들어가는 전류를 KCL로 쓴 뒤 I_1, I_2를 V_1, V_2의 계수 형태로 정리하면 된다. 자기 어드미턴스는 해당 노드에 직접 연결된 어드미턴스의 합이고, 상호 어드미턴스는 두 노드 사이 소자의 전압차 항에서 나온 음의 계수로 판단된다.

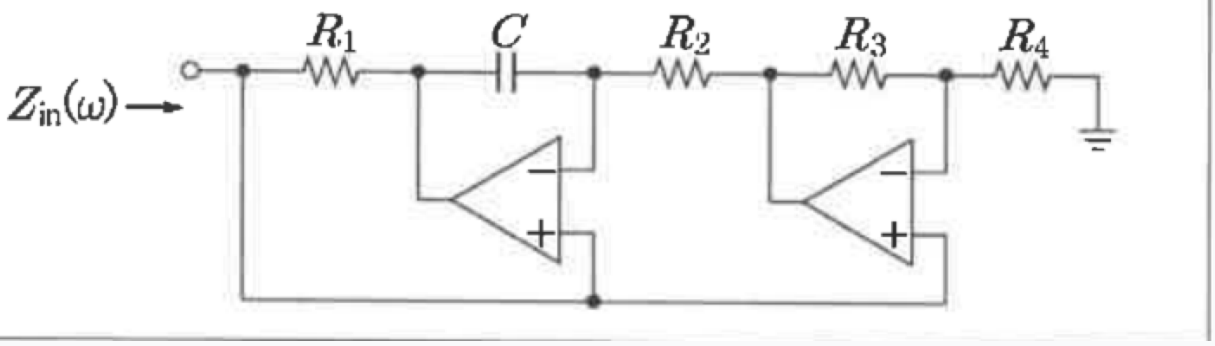
암기 포인트

2포트 y-파라미터는 I를 V로 정리한 식의 계수 읽기이며, 포트 사이 저항이 있으면 상호 항 부호는 음수가 된다.

NoteBase

문 20. 이상적인 연산증폭기를 사용한 <보기>의 회로에서 임피던스 $Z_{\text{in}}(\omega)$는?

<보기>



① $j\omega\frac{R_1R_2R_3C}{R_4}$
② $j\omega\frac{R_1R_2R_4C}{R_3}$
③ $j\omega\frac{R_1R_3R_4C}{R_2}$
④ $j\omega\frac{R_2R_3R_4C}{R_1}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 이상적 연산증폭기의 가상단락과 입력전류 0 조건을 이용해 입력 임피던스 $Z_{in}(\omega)$를 구하는 문제이다. 두 개의 연산증폭기와 저항·커패시터로 구성된 이 회로는 입력단에서 보면 커패시터를 마치 인덕터처럼 동작시키는 일반화 임피던스 변환기(GIC) 구조로, 결과 임피던스가 $j\omega$에 비례하는 합성 인덕턴스가 되는 것이 핵심이다. 첫 번째 연산증폭기는 입력단으로 전류를 전달하는 역할을, 두 번째 연산증폭기는 R_3, R_4 분압점의 전압을 가상단락으로 고정하는 역할을 한다.

조건 정리

입력 노드 전압을 V_{in}이라 두면 두 연산증폭기의 +단자는 모두 V_{in}에 연결되어 있다. 이상적 연산증폭기이므로 가상단락에 의해 각 −단자 전압도 $V_- = V_+ = V_{in}$이 된다. 구해야 할 값은 $Z_{in}(\omega) = V_{in}/I_{in}$이다.

사용할 공식

커패시터 임피던스는 $Z_C = 1/(j\omega C)$이고 전류식은 $I_C = j\omega C(V_1 - V_2)$이다. 두 번째 연산증폭기에서는 −단자 노드가 R_3, R_4 분압점이므로 그 이득을 먼저 구하고, 첫 번째 연산증폭기 −단자 노드에서 KCL을 적용하면 입력전류를 구할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

두 번째 연산증폭기 출력 노드를 V_D, 첫 번째 연산증폭기 출력 노드를 V_B라 둔다(V_B는 첫 번째 연산증폭기 출력이 피드백되어 입력단 저항 R_1의 한쪽에 걸리는 전압이다).

1. 두 번째 연산증폭기는 +단자가 V_{in}이므로 가상단락에 의해 −단자 전압도 V_{in}이다. 이 −단자는 출력 V_D가 R_3, R_4로 분압된 점이므로 $V_{in} = V_D\frac{R_4}{R_3+R_4}$가 성립한다. 따라서 $V_D = V_{in}\left(1+\frac{R_3}{R_4}\right)$이다.
2. 첫 번째 연산증폭기도 가상단락에 의해 −단자 전압이 V_{in}이므로 그 노드에서 KCL을 적용하면 $\frac{V_{in}-V_D}{R_2} + j\omega C(V_{in}-V_B) = 0$이다.
3. 입력전류는 R_1을 통해 흐르므로 $I_{in} = \frac{V_{in}-V_B}{R_1}$이다. 위 KCL식에서 $V_{in}-V_B = -\frac{V_{in}-V_D}{j\omega CR_2}$를 대입하면 $I_{in} = -\frac{V_{in}-V_D}{j\omega CR_1R_2}$이다.
4. $V_{in}-V_D = -V_{in}\frac{R_3}{R_4}$이므로 $I_{in} = \frac{V_{in}R_3}{j\omega CR_1R_2R_4}$이다. 따라서 $Z_{in}(\omega) = \frac{V_{in}}{I_{in}} = j\omega\frac{R_1R_2R_4C}{R_3}$ 이다.

선지 판단

1번 X: R_3와 R_4의 위치를 뒤집은 식이다. 두 번째 연산증폭기의 분압 관계 $V_{in} = V_D\frac{R_4}{R_3+R_4}$에서 $V_D = V_{in}(1+R_3/R_4)$가 되어 R_4가 분모, R_3가 분자로 들어가므로 최종식에서는 R_4가 분자, R_3가 분모에 와야 한다. 올바르게는 $j\omega\frac{R_1R_2R_4C}{R_3}$이다.

2번 O: 계산 결과가 그대로 $j\omega\frac{R_1R_2R_4C}{R_3}$이므로 옳다.

3번 X: 첫 번째 연산증폭기 −단자 노드의 KCL에서 커패시터 가지와 함께 R_2 가지가 반드시 들어가야 I_{in} 식에 R_2가 분모로 남는다. 이 선지는 R_2를 빠뜨리고 R_3를 한 번 더 넣은 식으로, KCL에서 R_2 가지를 누락하면 나오는 전형적 오답이다. 올바르게는 $j\omega\frac{R_1R_2R_4C}{R_3}$이다.

4번 X: 입력전류는 R_1을 통해 들어가므로 $I_{in} = (V_{in}-V_B)/R_1$이고, $Z_{in} = V_{in}/I_{in}$을 취하면 분모의 R_1이 역수가 되어 최종 임피던스의 분자로 올라간다. 이 선지는 R_1을 분모에 둔 식이므로 틀렸고, 올바르게는 $j\omega\frac{R_1R_2R_4C}{R_3}$이다.

오답 포인트

두 번째 연산증폭기의 분압식에서 R_3, R_4 위치를 거꾸로 읽거나, 첫 번째 연산증폭기 −단자 노드 KCL에서 R_2 가지를 누락하고 다른 저항을 집어넣으면 바로 오답이 된다. 입력전류가 R_1을 통해 정의되어 $Z_{in} = V/I$에서 R_1이 분자로 올라간다는 점을 놓치면 4번 같은 식이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상적 연산증폭기 회로의 입력 임피던스 문제는 먼저 모든 −단자 전압을 가상단락으로 정하고, 그다음 피드백 분압식으로 출력 노드를 구한 뒤, 마지막에 입력 노드와 연결된 소자 전류로 $Z_{in} = V/I$를 정리하면 된다. 결과가 $j\omega$에 비례하면 커패시터를 인덕터로 변환하는 GIC 구조임을 떠올리면 좋다.

암기 포인트

가상단락으로 노드 전압을 고정하고, KCL로 입력전류를 만든 뒤 $Z_{in} = V/I$로 끝내면 된다.

NoteBase