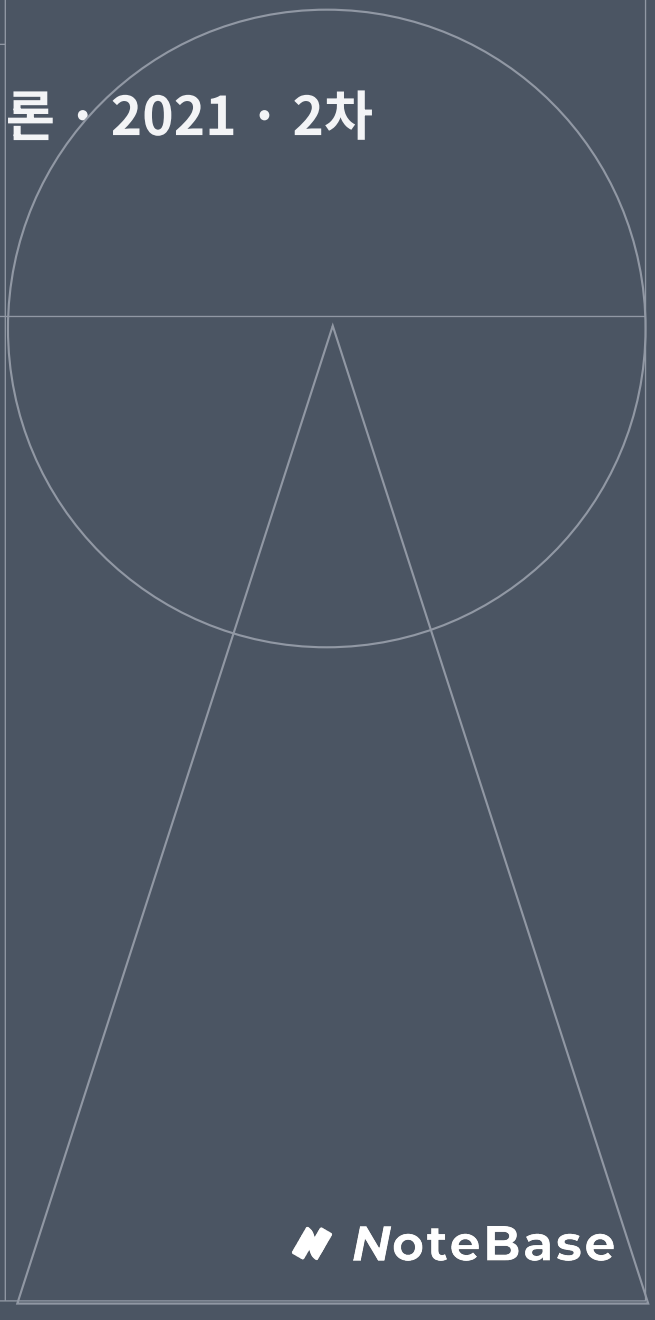
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 회로이론 · 2021 · 2차



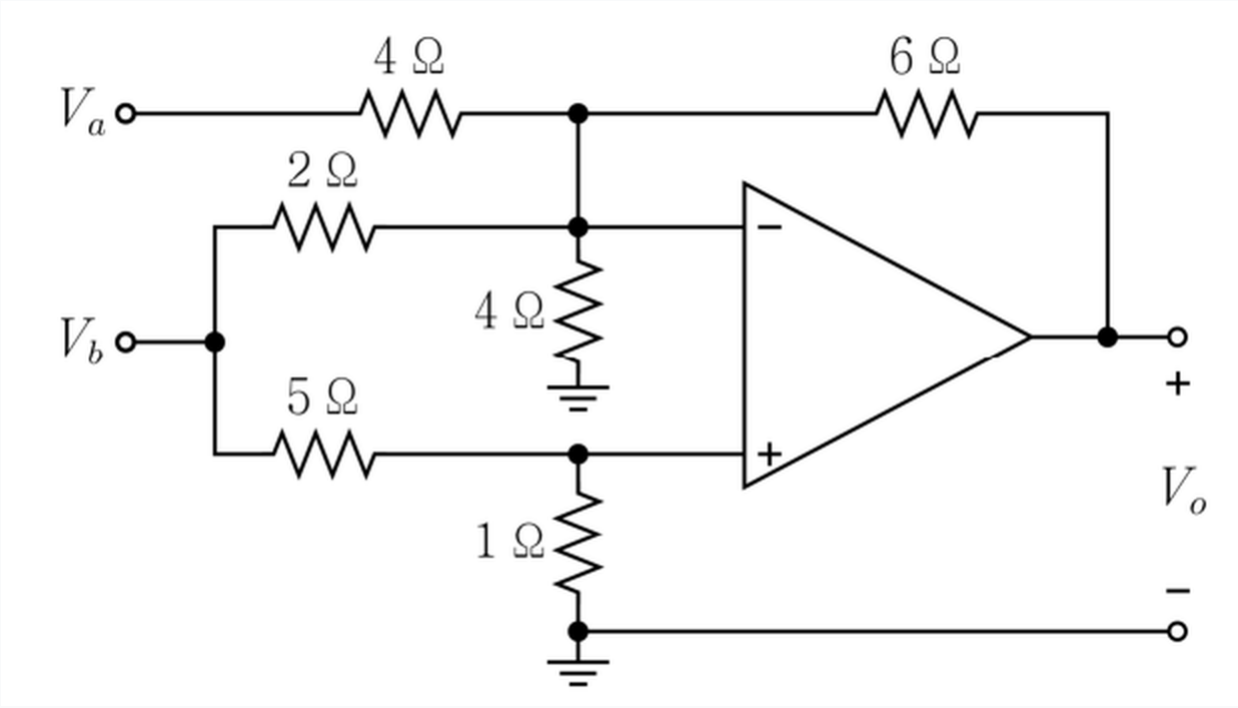
NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 회로이론 · 2021 · 2차

공무원/국가직/7급 · 회로이론 · 2021 · 2차

문 1. 다음 이상적인 연산증폭기 회로에서 전압 $V_a = 2V$, $V_b = 6V$일 때, 출력전압 $V_o[V]$는?



① -14

② -5

③ 5

④ 14

정답 1번

출제 포인트

이상적 연산증폭기의 두 가지 성질, 즉 두 입력단자 사이의 가상단락($V_+ = V_-$)과 입력단자로는 전류가 흐르지 않는다는 성질을 이용해 두 개의 노드에서 KCL(키르히호프 전류법칙)을 세워 출력전압을 구하는 문제이다. 비반전 입력 쪽 노드를 먼저 풀어 V_+를 확정한 뒤, 그 값을 반전 입력 노드에 대입하는 순서가 핵심이다.

NoteBase

조건 정리

$V_a = 2\text{V}$, $V_b = 6\text{V}$이다. V_b는 전압원이므로 그 접합점(이하 V_b 노드)의 전압은 항상 6V로 고정된다. 이 V_b 노드에서 두 갈래로 나뉘어 2Ω은 반전(−) 입력 노드로, 5Ω은 비반전(+) 입력 노드로 연결된다. 반전 입력 노드에는 V_a에서 오는 4Ω, 접지로 가는 4Ω, 출력 V_o로 가는 피드백 6Ω이 함께 물려 있다. 비반전 입력 노드에는 접지로 가는 1Ω만 추가로 연결되어 있다.

사용할 공식

이상적 연산증폭기의 입력단자 전류는 0이므로 각 입력 노드에서 KCL이 성립한다. 또한 부궤환(6Ω이 출력에서 반전 입력으로 되먹임)이 걸려 있으므로 가상단락 $V_+ = V_-$이 성립한다. 저항 R에 걸린 두 노드 전압 V_1, V_2에 대한 전류는 $\frac{V_1 - V_2}{R}$로 쓴다.

계산 과정

1) 비반전 입력 노드(V_+)에서 KCL: V_b 노드(6V)에서 5Ω을 통해 들어온 전류가 전부 1Ω을 통해 접지로 빠진다. $\frac{6 - V_+}{5} = \frac{V_+}{1}$ 이를 풀면 $6 - V_+ = 5V_+$, $6 = 6V_+$, 따라서 $V_+ = 1\text{V}$이다.
2) 가상단락에 의해 $V_- = V_+ = 1\text{V}$이다.
3) 반전 입력 노드(V_-)에서 KCL: V_a에서 4Ω, V_b 노드에서 2Ω, V_o에서 6Ω을 통해 들어오는 전류의 합이 접지 4Ω으로 빠지는 전류와 같다. $\frac{V_a - V_-}{4} + \frac{6 - V_-}{2} + \frac{V_o - V_-}{6} = \frac{V_-}{4}$ $V_a = 2$, $V_- = 1$을 대입하면
$\frac{2-1}{4} + \frac{6-1}{2} + \frac{V_o - 1}{6} = \frac{1}{4}$ $0.25 + 2.5 + \frac{V_o - 1}{6} = 0.25$ $\frac{V_o - 1}{6} = 0.25 - 2.75 = -2.5$ $V_o - 1 = -15$
$V_o = -14\text{V}$

선지 판단

① -14: 위 계산 결과와 정확히 일치한다. 옳은 선지이다.
② -5: V_+ 계산을 생략하고 $V_- = V_b = 6\text{V}$처럼 잘못 대입하거나 부호를 혼동했을 때 나올 수 있는 값이다. 틀린 선지 → 올바른 값은 $V_o = -14\text{V}$이다.
③ 5: 최종 부호를 반대로 처리했을 때 나오는 값과 유사하다. 틀린 선지 → V_o는 음수인 -14V이다.
④ 14: ①의 부호만 반대로 계산한 값이다. 틀린 선지 → $V_o = -14\text{V}$이며 부호까지 정확히 맞아야 한다.

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 V_b 접합점을 반전 입력 노드와 같은 전압으로 착각해 $V_- = 6\text{V}$로 놓는 것이다. 실제로는 V_b 노드에서 2Ω과 5Ω이 각각 반전·비반전 입력 노드로 갈라지므로, 비반전 입력 노드의 전압 V_+를 먼저 별도로 계산해야 한다. 또한 비반전 입력 노드 계산을 생략하고 곧바로 V_-에 KCL을 세우면 미지수가 늘어나 풀 수 없거나 잘못된 값을 얻게 된다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

연산증폭기에 저항이 여러 갈래로 물린 회로가 나오면, 먼저 두 입력단자(+, -) 각각에 어떤 저항들이 연결되어 있는지부터 정리한다. 비반전 입력 쪽에 전류원처럼 작용하는 전압원이 저항을 통해서만 연결되어 있다면 그 노드에서 KCL을 세워 V_+를 독립적으로 구한다. 그 다음 부궤환 구조인지 확인하고 가상단락 $V_+ = V_-$를 적용해 반전 입력 노드에서 다시 KCL을 세워 출력전압을 구한다.

암기 포인트

이상적 연산증폭기의 두 조건은 입력단자 전류 0과(부궤환 시) 가상단락 $V_+ = V_-$이다. 풀이 순서는 항상 비반전 입력 노드를 먼저 정리해 V_+를 구하고, 이를 반전 입력 노드의 KCL에 대입해 출력전압을 구하는 것이다.

NoteBase

문 2. 회로 전달함수가 $H(j\omega)=\frac{1}{j\omega+4}$인 회로에, 입력전압 $v_i(t)=e^{-3t}u(t)$ [V]를 주었을 때 출력전압 $v_o(t)$ [V]는? (단, $u(t)$는 단위계단함수이다)

① $(e^{3t}+e^{4t})u(t)$

② $(e^{3t}-e^{4t})u(t)$

③ $(e^{-3t}+e^{-4t})u(t)$

④ $(e^{-3t}-e^{-4t})u(t)$

정답 4번

출제 포인트

전달함수 $H(j\omega)$로 주어진 회로에 지수함수 입력을 가했을 때, 라플라스 변환을 이용해 출력을 시간영역 함수로 구하는 문제이다. 주파수영역 표현 $H(j\omega)$를 라플라스 영역의 $H(s)$로 그대로 대응시켜 계산할 수 있는지가 핵심이다.

조건 정리

전달함수는 $H(j\omega)=\frac{1}{j\omega+4}$이므로 라플라스 영역에서는 $H(s)=\frac{1}{s+4}$이다. 입력은 $v_i(t)=e^{-3t}u(t)$이므로 라플라스 변환하면 $V_i(s)=\frac{1}{s+3}$이다. 출력은 $V_o(s)=H(s)V_i(s)$로 구하고, 이를 다시 역라플라스 변환하여 $v_o(t)$를 얻는다.

사용할 공식

선형시스템의 출력은 $V_o(s)=H(s)V_i(s)$이다. 또한 지수함수의 라플라스 변환 $\mathcal{L}\{e^{-at}u(t)\}=\frac{1}{s+a}$와 부분분수 전개 $\frac{1}{(s+a)(s+b)}=\frac{1}{b-a}\left(\frac{1}{s+a}-\frac{1}{s+b}\right)$을 사용한다.

계산 과정

$V_o(s)=\frac{1}{s+4}\cdot\frac{1}{s+3}=\frac{1}{(s+3)(s+4)}$이다. 이를 부분분수로 전개하면 $\frac{1}{(s+3)(s+4)}=\frac{1}{s+3}-\frac{1}{s+4}$이다(분모 차이가 1이므로 계수가 각각 +1, -1이 된다). 각 항을 역라플라스 변환하면 $\frac{1}{s+3}\to e^{-3t}u(t)$, $\frac{1}{s+4}\to e^{-4t}u(t)$이므로 $v_o(t)=(e^{-3t}-e^{-4t})u(t)$이다.

선지 판단

① $(e^{3t}+e^{4t})u(t)$: X — 지수의 부호가 반대이다. 입력과 전달함수의 극이 모두 음의 실수부($s=-3, s=-4$)를 가지므로 시간영역 해는 감쇠하는 e^{-3t}, e^{-4t} 형태여야 한다.

② $(e^{3t}-e^{4t})u(t)$: X — 부호는 맞지만(뺄셈) 지수의 부호가 반대이다.

③ $(e^{-3t}+e^{-4t})u(t)$: X — 지수 부호는 맞지만 부분분수 전개에서 두 항의 부호가 서로 달라야 하므로 덧셈이 아니라 뺄셈이 되어야 한다.

④ $(e^{-3t}-e^{-4t})u(t)$: O — 계산 과정에서 구한 $v_o(t)=(e^{-3t}-e^{-4t})u(t)$와 정확히 일치한다.

NoteBase

오답 포인트

이 문제에서 자주 하는 실수는 두 가지이다. 첫째, 전달함수의 극 $s=-4$와 입력의 극 $s=-3$의 부호를 혼동해 e^{3t}, e^{4t}처럼 발산하는 형태로 잘못 쓰는 경우이다. 둘째, 부분분수 전개 시 $\frac{1}{(s+3)(s+4)}=\frac{1}{s+3}+\frac{1}{s+4}$처럼 부호를 덧셈으로 잘못 처리하는 경우이다. 두 극의 차이(4-3=1)로 나누어 계수를 구하면 반드시 한쪽은 양수, 다른 쪽은 음수가 된다는 점을 기억해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

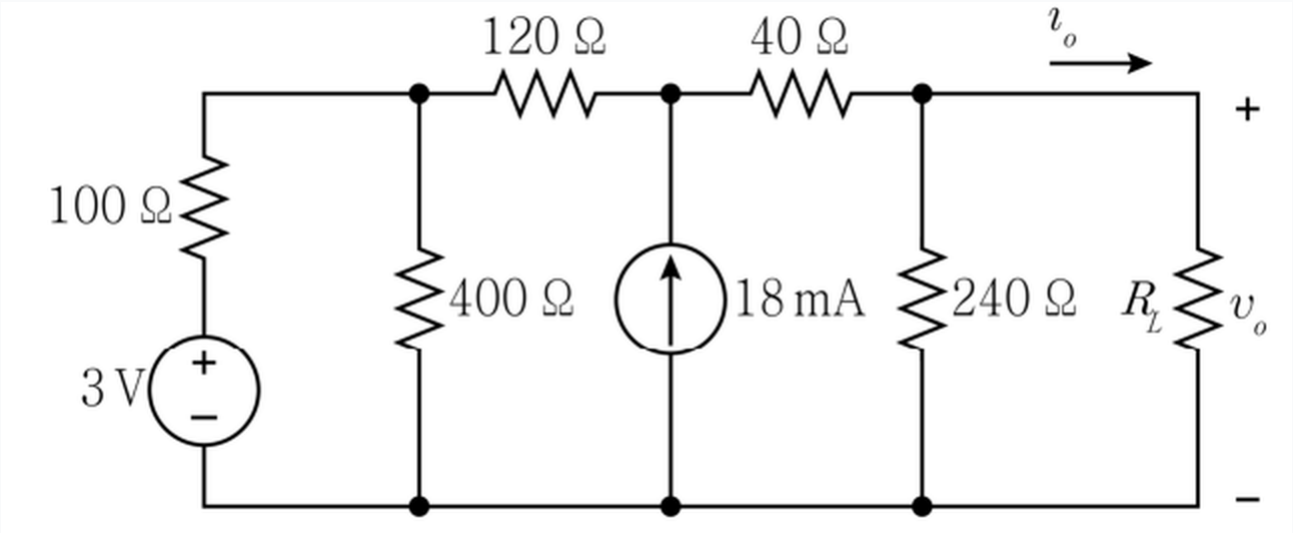
전달함수 곱셈은 항상 $V_o(s)=H(s)V_i(s)$로 시작한다. 극이 $s=-a$, $s=-b$ 두 개인 $\frac{1}{(s+a)(s+b)}$ 형태가 나오면 즉시 $\frac{1}{b-a}\left(\frac{1}{s+a}-\frac{1}{s+b}\right)$로 전개하고, 역변환 결과의 부호(뺄셈)와 지수 부호(음수)를 선지와 대조한다.

암기 포인트

$H(j\omega)\rightarrow H(s)$ 치환, $\mathcal{L}\{e^{-at}u(t)\}=\frac{1}{s+a}$, 서로 다른 두 실극의 부분분수는 항상 뺄셈 형태로 전개된다는 점을 암기해 둔다.

NoteBase

문 3. 다음 회로에서 저항 R_L에 최대전력을 전달하기 위한 $R_L[\Omega]$은?



① 100

② 120

③ 150

④ 180

정답 2번

출제 포인트

저항 R_L에 최대전력이 전달되는 조건은 최대전력전달정리에 의해 R_L이 R_L을 제외한 나머지 회로의 테브난 등가저항 R_{th}과 같을 때이다. 따라서 R_L 단자에서 바라본 테브난 저항을 구하는 문제이다.

조건 정리

테브난 저항을 구할 때는 모든 독립 전원을 0으로 만든다. 전압원 3V는 단락(short)시키고, 전류원 18mA는 개방(open)시킨다. 전압원이 단락되면 100Ω은 바닥 공통선(기준절점)과 R_L 좌측 첫 번째 절점(400Ω이 연결된 절점, 이를 절점 A라 한다) 사이에 놓인 단순 저항이 된다. 전류원이 개방되면 18mA가 연결되어 있던 절점(절점 B, 120Ω과 40Ω 사이)은 그 가지로는 더 이상 전류가 흐르지 않으므로, 절점 B는 120Ω을 거쳐 절점 A로, 40Ω을 거쳐 절점 C(240Ω과 R_L이 만나는 절점)로만 연결되는 단순 직렬 경로가 된다.

사용할 공식

R_th = ≤ft[(R_3V원 R_400) + R_120 + R_40] R_240

NoteBase

계산 과정

먼저 절점 A에서 기준절점을 바라본 저항을 구한다. 전압원이 단락되어 생긴 100Ω과 400Ω이 절점 A와 기준절점 사이에 병렬로 놓이므로 $100 \parallel 400 = \frac{100 \times 400}{100 + 400} = \frac{40000}{500} = 80\ \Omega$ 이다. 전류원이 개방되어 절점 B에는 곁가지가 없으므로, 이 80Ω은 120Ω, 40Ω과 절점 A–B–C를 거쳐 직렬로 이어진다. $80 + 120 + 40 = 240\ \Omega$ 이 직렬 경로는 절점 C와 기준절점 사이에서 240Ω 저항과 병렬로 놓인다.
$R_{th} = 240 \parallel 240 = \frac{240 \times 240}{240 + 240} = \frac{57600}{480} = 120\ \Omega$ 따라서 최대전력전달을 위한 R_L은 120Ω이다.

선지 판단

① 100 — X, 100Ω은 전압원에 직렬로 연결된 저항 값일 뿐이며 절점 A~B 사이 병렬 계산과 120Ω, 40Ω 직렬 및 240Ω과의 병렬 계산을 거치지 않은 값이므로 테브난 저항이 아니다.
② 120 — O, 위 계산 과정과 같이 전원을 모두 0으로 만든 뒤 R_L 단자에서 바라본 등가저항이 정확히 120Ω이 되어 최대전력전달 조건을 만족한다.
③ 150 — X, 임의의 중간 계산값으로 실제 병렬·직렬 조합 결과와 일치하지 않는다.
④ 180 — X, 120Ω과 40Ω과 240Ω을 단순히 더하거나 다른 방식으로 잘못 조합했을 때 나올 수 있는 값으로, 올바른 테브난 저항 계산과 다르다.

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 전류원을 단락시키거나 전압원을 개방시키는 것처럼 독립전원 처리 방향을 반대로 적용하는 것이다. 전압원은 반드시 단락, 전류원은 반드시 개방으로 바꿔야 한다. 또한 전류원이 개방된 뒤에는 그 가지가 연결되어 있던 절점이 단순한 중간 절점으로 바뀌어 120Ω과 40Ω이 직렬로 이어진다는 점을 놓치고 두 저항을 병렬로 잘못 계산하는 경우도 많다.

다시 나오면 이렇게 판단

R_L에 대한 최대전력전달 문제가 나오면 먼저 R_L 양단을 개방한 상태로 두고, 전압원은 단락·전류원은 개방하여 회로를 정리한 뒤, R_L 단자에서 바라본 등가저항을 직렬·병렬 축약으로 차례차례 구한다. 전류원이 개방되어 사라지는 순간 그 절점이 어떻게 다른 저항들과 이어지는지부터 다시 그려보는 것이 핵심이다.

암기 포인트

최대전력전달 조건: $R_L = R_{th}$. 테브난 저항 계산 시 전압원은 단락, 전류원은 개방. 이 회로에서는 (100 // 400)+120+40 = 240이 240Ω과 다시 병렬이 되어 120Ω이 나온다는 계산 흐름을 기억해 둔다.

NoteBase

문 4. 정현파를 사용하는 교류회로에서 전력에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 평균전력은 1주기 동안 순시전력의 평균이다.

② 순수 저항부하(R)는 모든 시간에서 전력을 소비하지만, 리액티브부하(L 또는 C)가 소비하는 평균전력은 0이다.

③ 복소전력의 절댓값은 피상전력과 같지 않다.

④ 전압과 전류 위상차를 역률각(power factor angle)이라 하며, 역률(power factor)은 역률각의 코사인값이다.

정답 3번

출제 포인트

정현파 교류회로에서 평균전력, 순시전력, 복소전력, 피상전력, 역률의 관계를 정확히 구분하는지 묻는다. 특히 복소전력과 피상전력의 관계(절댓값이 같은지)가 핵심 쟁점이다.

핵심 개념

복소전력은 $S = P + jQ$로 정의되며, 여기서 P는 유효전력(평균전력), Q는 무효전력이다. 복소전력의 크기(절댓값)는 $|S| = \sqrt{P^2 + Q^2}$ 이고, 이 값이 바로 피상전력이다. 즉 복소전력의 절댓값과 피상전력은 같은 값을 가리키는 서로 다른 표현일 뿐이다. 순시전력은 시간에 따라 변하는 전력이고, 그 1주기 평균이 평균전력(유효전력)이다. 저항부하는 전압·전류가 동상이라 순시전력이 항상 0 이상이어서 계속 전력을 소비하지만, 순수 리액턴스부하(L, C)는 전압·전류 위상차가 90도이므로 순시전력이 양(+)과 음(-)을 반복하여 1주기 평균인 평균전력은 0이 된다. 역률각은 전압과 전류의 위상차이고, 역률은 그 위상차의 코사인값 $\cos\theta$ 이다.

선지별 해설

① O — 평균전력의 정의 그대로이다. 순시전력 $p(t)$를 1주기 동안 적분하여 주기로 나눈 값이 평균전력이다.
② O — 저항부하는 전압·전류가 동상이라 순시전력이 항상 0 이상으로 유지되어 매 순간 전력을 소비하고, 리액티브부하는 전압·전류 위상차가 90도라 순시전력의 평균이 0이 되어 실제로 소비하는 평균전력이 없다.
③ X — 복소전력의 절댓값 $|S| = \sqrt{P^2 + Q^2}$ 은 피상전력의 정의와 정확히 같다. 따라서 '같지 않다'는 서술은 틀렸다 → 올바른 표현은 '복소전력의 절댓값은 피상전력과 같다'이다.
④ O — 역률각은 전압·전류 위상차이고, 역률은 그 위상차의 코사인값이라는 정의가 정확하다.

오답 포인트

복소전력, 피상전력, 유효전력, 무효전력이라는 용어가 각각 다른 개념처럼 보여서 복소전력과 피상전력을 별개의 값으로 착각하기 쉽다. 하지만 피상전력은 복소전력의 크기(절댓값)를 부르는 이름일 뿐이며, 위상 정보를 포함한 복소수 표현이 복소전력, 그 크기만 뽑아낸 스칼라 값이 피상전력이라는 점을 헷갈리지 않아야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

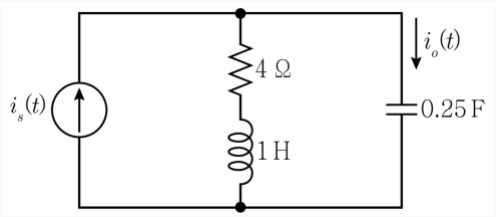
전력 관련 정오형 문제에서는 먼저 유효전력(P), 무효전력(Q), 복소전력(S=P+jQ), 피상전력(|S|), 역률(cosθ)의 관계식을 떠올린 뒤 각 선지를 그 식에 대입해 참/거짓을 확인한다. '같지 않다', '항상 0이다' 같은 단정적 표현이 나오면 정의식으로 직접 검산해 본다.

암기 포인트

복소전력 $S = P + jQ = |S|\angle\theta$, 피상전력 $|S| = \sqrt{P^2 + Q^2}$, 역률 $\cos\theta = P/|S|$. 저항부하는 평균전력을 소비하고, 순수 리액턴스부하는 평균전력이 0이다.

NoteBase

문 5. 다음 회로에서 전류이득 $h(t)=\frac{i_o(t)}{i_s(t)}$를 구하였을 때, 전달함수 $H(s)$의 극점(pole) p는?



① -4

② -2

③ 1

④ 2

정답 2번

출제 포인트

전류원이 두 병렬 가지에 연결된 회로에서 전류 분배(current divider) 개념을 라플라스 영역 임피던스로 확장해 전달함수를 구하고, 그 분모를 인수분해하여 극점을 찾는 문제이다. 전류원 $i_s(t)$에서 나온 전류가 (4Ω+1H) 직렬 가지와 0.25F 커패시터 가지로 나뉘어 흐르고, 출력전류 $i_o(t)$는 커패시터 가지로 흐르는 전류이다.

조건 정리

두 가지는 서로 병렬로 같은 두 노드 사이에 연결되어 있다. 가지 1은 저항 4Ω과 인덕터 1H가 직렬이므로 임피던스는 $Z_1(s)=4+s$이다. 가지 2는 커패시터 0.25F이므로 임피던스는 $Z_2(s)=\frac{1}{0.25s}=\frac{4}{s}$이다. 출력전류 $i_o(t)$는 가지 2(커패시터)로 흐르는 전류이다.

사용할 공식

두 임피던스가 병렬로 전류원에 연결될 때, 한 가지에 흐르는 전류는 전류 분배 법칙에 의해 다음과 같다. 커패시터 가지(가지 2)로 흐르는 전류는 $I_o(s)=I_s(s)\cdot\frac{Z_1}{Z_1+Z_2}$이다. 즉 자신이 아닌 상대 가지의 임피던스가 분자에 오는 형태이며, 이는 전체 전류가 임피던스가 작은 쪽으로 더 많이 흐른다는 사실과 일치한다(가지 2에 흐르는 전류는 가지 1의 임피던스에 비례).

계산 과정

전달함수는 $H(s)=\frac{I_o(s)}{I_s(s)}=\frac{Z_1}{Z_1+Z_2}=\frac{4+s}{(4+s)+\frac{4}{s}}$이다. 분모, 분자에 s를 곱하여 정리하면 $H(s)=\frac{s(4+s)}{s(4+s)+4}=\frac{s^2+4s}{s^2+4s+4}=\frac{s(s+4)}{(s+2)^2}$이 된다. 분모를 0으로 만드는 값이 극점이므로 $(s+2)^2=0$에서 $s=-2$(중근)이다.

NoteBase

선지 판단

① -4: X. 분자 $s(s+4)$의 영점(zero)이 $s=0,\ -4$인데, 이를 극점과 혼동한 값이다. 극점은 분모에서 나온다.
② -2: O. 분모 $(s+2)^2=0$에서 얻어지는 극점으로 계산 결과와 일치한다.
③ 1: X. 회로의 임피던스 값 어디에서도 도출되지 않는 값이다.
④ 2: X. 극점의 부호를 반대로 잡은 값이다. 실제 극점은 $s=-2$이며 부호를 빠뜨리면 안 된다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 전류 분배 공식에서 분자에 자기 자신의 임피던스를 넣는 것이다(즉 $H(s)=Z_2/(Z_1+Z_2)$로 잘못 세우는 경우). 커패시터로 흐르는 전류는 상대 가지인 Z_1에 비례하므로 분자에는 Z_1이 와야 한다. 또한 분자의 영점($s=0,\ -4$)과 분모의 극점($s=-2$)을 혼동하지 않아야 하며, 극점의 부호(음수)를 놓치지 않아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

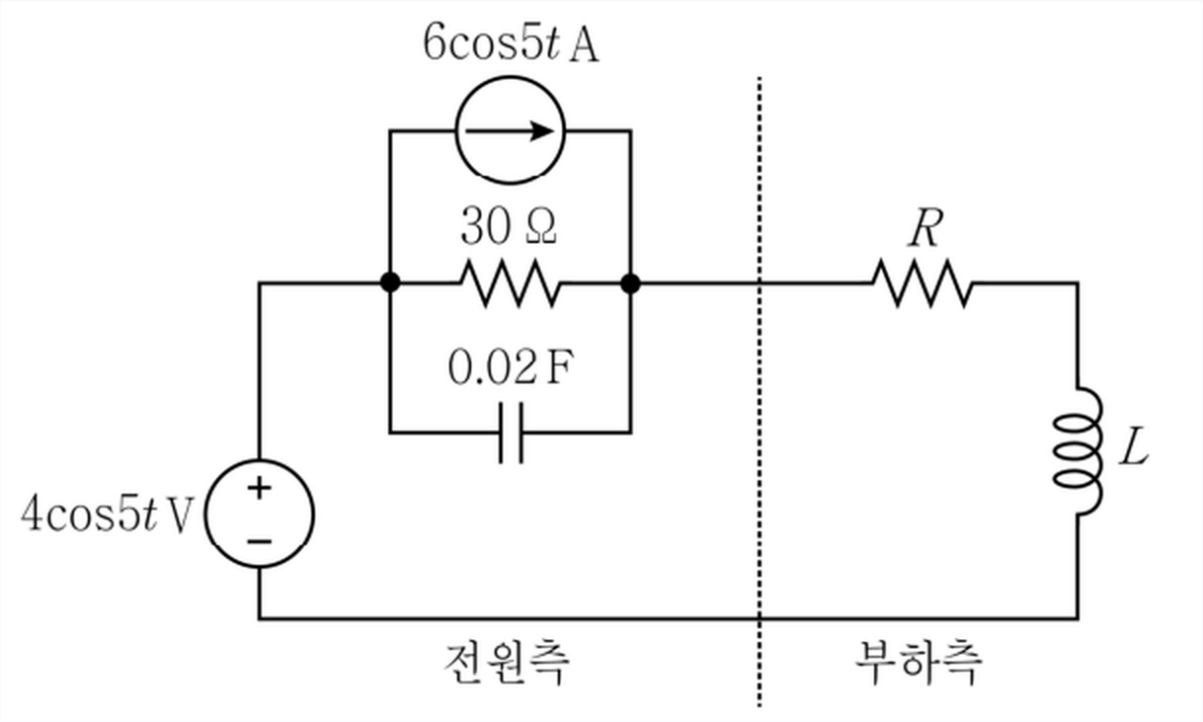
전류원에 병렬로 여러 가지가 연결된 회로에서 특정 가지의 전류를 구할 때는 항상 상대 가지의 임피던스가 분자에 온다는 점을 먼저 확인한다. 전달함수를 구한 뒤에는 분자와 분모를 각각 인수분해하여, 분자의 근은 영점, 분모의 근은 극점이라는 점을 명확히 구분한다.

암기 포인트

전류 분배: 내가 아닌 상대 가지의 임피던스가 분자. 전달함수의 근: 분자=영점, 분모=극점. 이 문제에서는 $H(s)=\frac{s(s+4)}{(s+2)^2}$이므로 극점은 $s=-2$(중근)이다.

NoteBase

문 6. 다음 회로에서 R과 L을 조정하여 평균전력이 부하에 최대로 전달되도록 할 때 L[H]은?



① −9
② $-\frac{9}{5}$
③ $\frac{9}{5}$
④ 9

정답 3번

출제 포인트

부하(R과 L의 직렬 조합)에 평균전력이 최대로 전달되려면 부하 임피던스가 전원측 테브난 임피던스의 켤레복소수와 같아야 한다는 최대 전력 전달 조건을 임피던스 계산에 적용할 수 있는지를 묻는 문제이다. 전류원과 전압원이 함께 있는 회로에서 테브난 임피던스를 구할 때 독립원을 어떻게 제거하는지가 핵심이다.

조건 정리

각주파수는 $\omega = 5$ rad/s이다. 점선 왼쪽(전원측)에는 6cos5t A 전류원, 30Ω 저항, 0.02F 커패시터가 한 쌍의 마디(A, B) 사이에 서로 병렬로 연결되어 있고, 이 병렬 조합은 4cos5t V 전압원과 직렬로 이어져 부하측 단자(B, 접지)에 전압을 공급한다. 점선 오른쪽(부하측)에는 R과 L이 직렬로 연결되어 있으며, R과 L을 모두 자유롭게 조정할 수 있다.

NoteBase

사용할 공식

커패시터의 임피던스는 $Z_C = \frac{1}{j\omega C}$이다. 저항과 커패시터가 병렬일 때 합성 임피던스는 $Z_p = \frac{Z_R Z_C}{Z_R + Z_C}$이다.
부하측에서 바라본 테브난 임피던스는 전압원을 단락, 전류원을 개방하여 구한다. 최대 전력 전달 조건은 부하 임피던스가 테브난 임피던스의 켤레복소수일 때, 즉 $R_{load} = R_{th}$, $X_{load} = -X_{th}$일 때 성립하며, 부하의 리액턴스는 $X_{load} = \omega L$이다.

계산 과정

커패시터의 임피던스부터 구하면 $Z_C = \frac{1}{j \times 5 \times 0.02} = \frac{1}{j0.1} = -j10\ \Omega$이다.
부하측에서 테브난 임피던스를 구하기 위해 독립원을 모두 제거한다. 전류원(6cos5t A)은 개방하고, 전압원(4cos5t V)은 단락한다. 전압원이 단락되면 그 전압원과 직접 연결된 마디(A)가 그대로 접지와 같아지므로, 저항 30Ω과 커패시터 -j10Ω이 남아 마디 B와 접지 사이에서 병렬로 연결된 형태가 된다.
따라서 $Z_{th} = \frac{30 \times (-j10)}{30 + (-j10)} = \frac{-j300}{30 - j10}$이다.
분모를 켤레복소수로 유리화하면 $Z_{th} = \frac{-j300(30 + j10)}{30^2 + 10^2} = \frac{-j9000 + 3000}{1000} = \frac{3000 - j9000}{1000} = 3 - j9\ \Omega$이다.
최대 전력 전달 조건에 따라 부하 임피던스는 Z_{th}의 켤레복소수여야 하므로 $Z_{load} = 3 + j9\ \Omega$이다. 즉 $R = 3\ \Omega$, $\omega L = 9$이다.
따라서 $L = \frac{9}{\omega} = \frac{9}{5}$ H이다.

선지 판단

① -9: 리액턴스 값 9를 부호만 반대로 쓴 값이며, 각주파수 5로 나누지 않은 값이기도 하다. 틀린 표현 → 올바른 표현은 $L = 9/5$이다.
② -9/5: 부호가 반대이다. 테브난 리액턴스가 -9이므로 부하 리액턴스는 그 켤레인 +9가 되어야 하는데 부호를 그대로 가져온 값이다. 틀린 표현 → 올바른 표현은 $L = +9/5$이다.
③ 9/5: 옳다. 테브난 임피던스 $3 - j9$의 켤레복소수 $3 + j9$에서 리액턴스 9를 각주파수 5로 나눈 값과 일치한다.
④ 9: 각주파수로 나누는 과정을 빠뜨리고 리액턴스 값 자체를 L로 착각한 값이다. 틀린 표현 → 올바른 표현은 $L = 9/\omega = 9/5$이다.

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 두 가지이다. 첫째, 최대 전력 전달 조건에서 부하 리액턴스는 테브난 리액턴스와 부호가 반대여야 하는데 부호를 그대로 두는 경우이다. 둘째, 리액턴스 값을 구한 뒤 $X = \omega L$ 관계에서 각주파수로 나누는 것을 잊고 리액턴스 값을 그대로 L의 값으로 답하는 경우이다. 또한 테브난 임피던스를 구할 때 전압원을 단락하면 그 전압원에 직접 연결된 마디가 접지가 되어 저항과 커패시터만 남는다는 점을 놓치면 계산이 꼬인다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

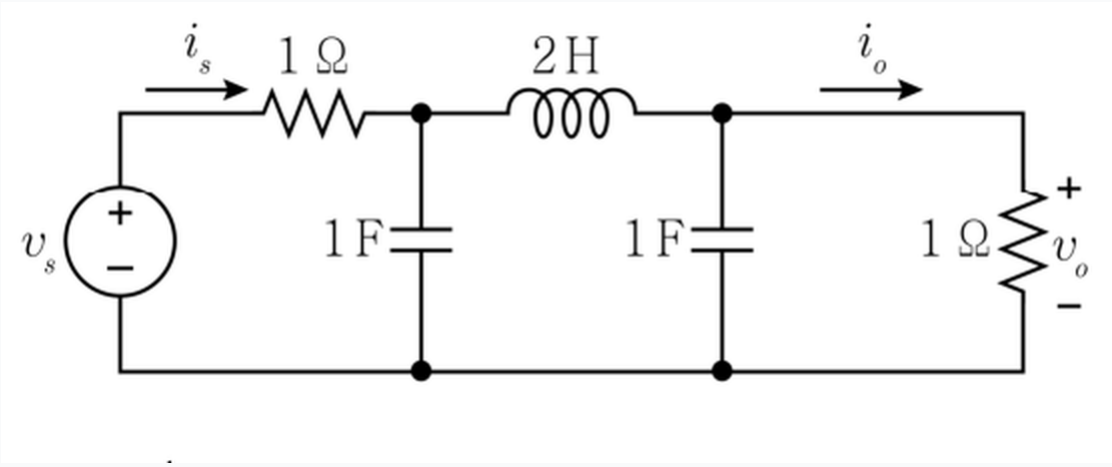
부하측에 조정 가능한 R과 L(또는 R과 C)이 있고 평균전력 최대 전달을 묻는 문제는, 먼저 부하를 떼어낸 자리에서 전원측의 테브난 임피던스 $Z_{th} = R_{th} + jX_{th}$를 구하는 것부터 시작한다. 독립 전압원은 단락, 독립 전류원은 개방한 뒤 남은 소자들의 임피던스를 정리한다. 그 다음 최대 전력 조건 $Z_{load} = Z_{th}^{*}$를 적용해 $R_{load} = R_{th}$, $X_{load} = -X_{th}$로 놓고, 리액턴스 소자가 인덕터면 $L = X_{load}/\omega$, 커패시터면 $C = 1/(\omega X_{load})$ 형태로 마무리한다.

암기 포인트

커패시터 임피던스는 $Z_C = 1/(j\omega C) = -j/(\omega C)$이고, 최대 전력 전달 조건은 $Z_{load} = Z_{th}^{*}$(켤레복소수)이다. 인덕터 리액턴스와 인덕턴스의 관계는 $X_L = \omega L$이므로 리액턴스 값을 구한 뒤 반드시 각주파수로 나누어야 L이 나온다는 점을 기억해 둔다.

NoteBase

문 7. 다음 회로의 전달함수 $H(s) = \frac{V_o(s)}{V_s(s)}$는?



① $\frac{1}{2s^3+4s^2+4s+2}$
② $\frac{1}{2s^3+4s^2+4s+1}$
③ $\frac{1}{2s^3+4s+2}$
④ $\frac{1}{4s^3+4s^2+4s+2}$

정답 1번

출제 포인트

저항·인덕터·커패시터로 구성된 사다리형(ladder) 회로를 s-영역 임피던스로 변환한 뒤 마디해석(node analysis)으로 전달함수 $H(s) = V_o(s)/V_s(s)$를 유도하는 문제이다. 소자 개수가 많아도 출력단에서부터 거꾸로 전압 관계를 세워 대입해 나가면 정리가 쉬워진다.

조건 정리

입력 전압원 v_s에서 1Ω 저항을 지나면 첫 번째 마디 전압 V_1이 되고, 이 마디에는 1F 커패시터가 접지로 연결되어 있다. V_1에서 2H 인덕터를 지나면 두 번째 마디 전압 V_2가 되고, 이 마디에도 1F 커패시터가 접지로 연결되어 있다. V_2에서 다시 1Ω 저항을 지나 접지로 이어지며, 이 마지막 1Ω 저항 양단 전압이 곧 출력 V_o이고 $V_2 = V_o$이다.

사용할 공식

s-영역 임피던스 변환: 저항 $R \to R$, 인덕터 $L \to sL$, 커패시터 $C \to \frac{1}{sC}$. 각 마디에서 유입 전류의 합이 유출 전류의 합과 같다는 키르히호프 전류법칙(KCL)을 두 마디에 각각 적용한다.

NoteBase

계산 과정

먼저 둘째 마디 V_2에서 KCL을 세운다. 인덕터를 통해 들어오는 전류는 커패시터와 마지막 저항으로 빠져나간다.

$\frac{V_1 - V_2}{2s} = V_2 \cdot s \cdot 1 + \frac{V_2}{1}$

양변에 $2s$를 곱해 정리하면

$V_1 - V_2 = 2s^2 V_2 + 2sV_2$

$V_1 = V_2(2s^2 + 2s + 1)$

다음으로 첫째 마디 V_1에서 KCL을 세운다. 1Ω 저항을 통해 들어오는 전류는 첫 번째 커패시터와 인덕터 쪽으로 빠져나간다.

$\frac{V_s - V_1}{1} = V_1 \cdot s \cdot 1 + \frac{V_1 - V_2}{2s}$

여기서 $\frac{V_1 - V_2}{2s} = V_2(s+1)$이므로

$V_s - V_1 = sV_1 + V_2(s+1)$

$V_1 = V_2(2s^2 + 2s + 1)$을 대입하면

$V_s = V_2(2s^2 + 2s + 1) + sV_2(2s^2 + 2s + 1) + V_2(s+1)$

$V_s = V_2[(2s^2 + 2s + 1) + (2s^3 + 2s^2 + s) + (s+1)]$

$V_s = V_2(2s^3 + 4s^2 + 4s + 2)$

따라서

$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_s(s)} = \frac{V_2}{V_s} = \frac{1}{2s^3 + 4s^2 + 4s + 2}$

선지 판단

① $\frac{1}{2s^3 + 4s^2 + 4s + 2}$ — O. 계산 과정에서 유도한 식과 정확히 일치한다.

② $\frac{1}{2s^3 + 4s^2 + 4s + 1}$ — X. 상수항이 1로 잘못되어 있다 → 올바른 상수항은 2이다.

③ $\frac{1}{2s^3 + 4s + 2}$ — X. s^2 항이 통째로 빠져 있다 → 올바른 식에는 $4s^2$ 항이 있어야 한다.

④ $\frac{1}{4s^3 + 4s^2 + 4s + 2}$ — X. 최고차항 계수가 4로 잘못되어 있다 → 올바른 최고차항 계수는 2이다.

오답 포인트

마디방정식을 세울 때 $\frac{V_1 - V_2}{2s}$의 양변에 $2s$를 곱하는 과정에서 s^2 항을 누락하거나(→③), 상수항 처리를 잘못하거나(→②), 인덕터·저항 임피던스를 합산하며 최고차항 계수를 잘못 곱하는(→④) 실수가 흔하다. 두 마디 방정식을 순서대로 대입하며 각 항을 하나씩 확인하는 습관이 필요하다.

다시 나오면 이렇게 판단

사다리형 회로는 출력단에 가장 가까운 마디부터 KCL을 세워 앞 마디 전압으로 표현한 뒤, 그 식을 앞쪽 마디 방정식에 순서대로 대입해 나가면 전체를 한 번에 세우는 것보다 계산 실수가 줄어든다. 최종적으로 V_s를 V_o에 대한 다항식으로 정리했을 때 최고차항 계수와 상수항을 다시 검산한다.

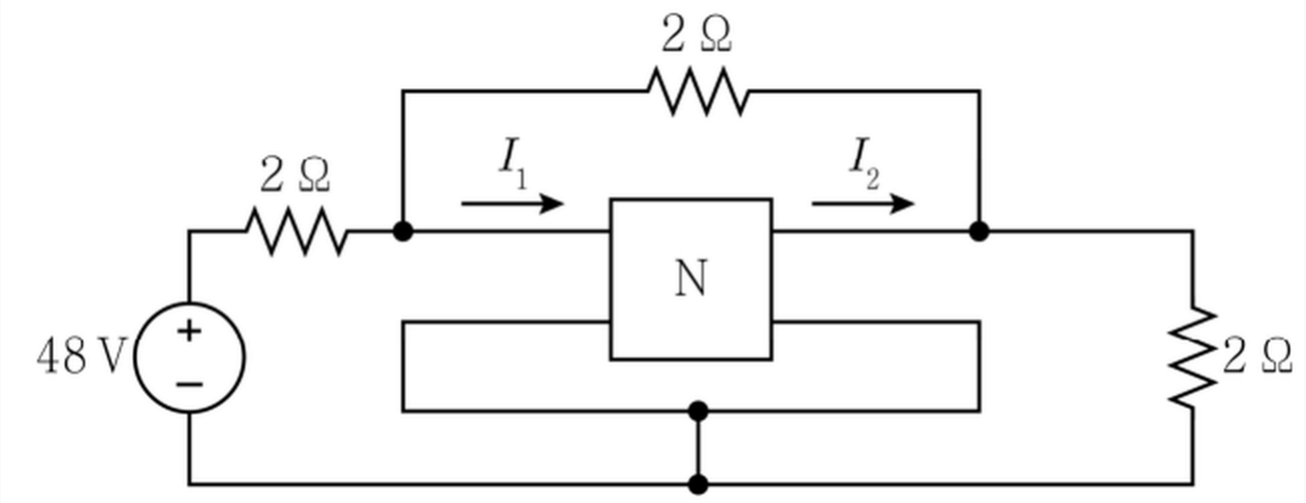
NoteBase

암기 포인트

s-영역 임피던스 변환 규칙($R \to R$, $L \to sL$, $C \to 1/sC$)과 마디해석(KCL)의 결합이 전달함수 유도의 기본이다. 사다리형 회로는 뒤에서부터 앞으로 대입하며 전개하는 순서가 핵심이다.

NoteBase

문 8. 2포트 네트워크 N의 z 파라미터가 $z_{11} = 6\Omega$, $z_{12} = z_{21} = 4\Omega$, $z_{22} = 6\Omega$이라고 하자. 그림과 같이 2포트 네트워크 N의 주위에 저항과 전원을 연결한 회로의 전류 I_1[A]과 I_2[A]는?



① I_1[A]: 6, I_2[A]: 3

② I_1[A]: 4, I_2[A]: 2

③ I_1[A]: 3, I_2[A]: 5

④ I_1[A]: 5, I_2[A]: 1

정답 4번

출제 포인트

z-파라미터로 주어진 2포트 네트워크의 주위에 저항과 전원을 연결했을 때, 단자전압-전류 관계식과 외부회로의 키르히호프 법칙(KCL)을 결합해 포트전류를 구하는 문제이다. 이때 그림에 표시된 전류 화살표의 방향이 z-파라미터의 표준 정의 방향(두 포트 모두 네트워크 안으로 들어가는 방향)과 일치하는지를 먼저 확인하는 것이 핵심이다.

조건 정리

z11 = 6Ω, z12 = z21 = 4Ω, z22 = 6Ω이다. 외부회로는 48V 전원에 좌측 2Ω이 직렬로 연결되어 포트1 상단 마디(전압 V1)에 이르고, 이 마디는 상단 2Ω 저항을 통해 포트2 상단 마디(전압 V2)와 직접 연결된다. V2 마디는 우측 2Ω 저항을 통해 접지로 이어진다. 포트1·포트2의 하단 단자와 전원의 (-)단자는 모두 같은 접지 마디에 묶여 있다. I1은 화살표가 마디에서 N 안으로 들어가는 방향이라 표준 정의와 같지만, I2는 화살표가 N에서 마디로 빠져나가는 방향이라 표준 정의(포트 안으로 들어가는 방향)와 반대이다.

NoteBase

사용할 공식

표준형 z-파라미터식은 $V_1 = z_{11}i_1 + z_{12}i_2$, $V_2 = z_{21}i_1 + z_{22}i_2$이며 i_1, i_2는 모두 포트 안으로 들어가는 전류이다. 그림의 I_2는 밖으로 나가는 방향이므로 $i_2 = -I_2$를 대입하면 $V_1 = 6I_1 - 4I_2$, $V_2 = 4I_1 - 6I_2$가 된다. 여기에 각 마디의 KCL식을 세워 연립한다.

계산 과정

포트1 상단 마디(전압 V_1)에서 KCL을 세우면, 48V원에서 좌측 2Ω을 지나 들어오는 전류가 I_1(포트1로 들어가는 전류)과 상단 2Ω을 지나 포트2 쪽으로 흐르는 전류로 나뉜다.
$\frac{48 - V_1}{2} = I_1 + \frac{V_1 - V_2}{2}$
포트2 상단 마디(전압 V_2)에서 KCL을 세우면, N에서 나오는 I_2와 상단 2Ω을 지나 들어오는 전류의 합이 우측 2Ω 부하로 흘러나간다.
$I_2 + \frac{V_1 - V_2}{2} = \frac{V_2}{2}$
두 식에 $V_1 = 6I_1 - 4I_2$, $V_2 = 4I_1 - 6I_2$를 대입해 정리하면 다음과 같다.
$48 = 10I_1 - 2I_2 \quad \cdots(1)$
$10I_2 = 2I_1 \Rightarrow I_1 = 5I_2 \quad \cdots(2)$
(2)를 (1)에 대입하면 $48 = 10(5I_2) - 2I_2 = 48I_2$이므로 $I_2 = 1\text{A}$, $I_1 = 5I_2 = 5\text{A}$를 얻는다. 검산으로 $V_1 = 6(5) - 4(1) = 26\text{V}$, $V_2 = 4(5) - 6(1) = 14\text{V}$를 원래 두 KCL식에 넣어도 좌우변이 각각 11, 7로 일치해 값이 옳음을 확인할 수 있다.

선지 판단

① I1=6, I2=3: 식(2) I1=5I2를 적용하면 5×3=15로 6과 맞지 않아 성립하지 않는다.
② I1=4, I2=2: 5×2=10으로 4와 맞지 않아 성립하지 않는다.
③ I1=3, I2=5: 5×5=25로 3과 맞지 않아 성립하지 않는다.
④ I1=5, I2=1: 5×1=5로 I1과 일치하고, 식(1)에서도 10(5)-2(1)=48로 정확히 성립한다. 정답이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 그림의 I_2 화살표 방향을 그대로 z-파라미터의 '포트 안으로 들어가는 전류'로 대입하는 것이다. 이렇게 부호를 바꾸지 않고 $V_1 = 6I_1 + 4I_2$, $V_2 = 4I_1 + 6I_2$로 식을 세우면 연립방정식의 해가 선택지 어디에도 맞지 않는 값(예: 음수)으로 나온다. 또한 상단 2Ω 저항이 N 내부 소자가 아니라 포트1과 포트2 상단을 직접 잇는 별개의 외부 소자라는 점을 놓치면 마디방정식을 잘못 세우게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

2포트 파라미터(z, y, h 등)로 주어진 문제는 항상 그림의 전류 화살표 방향과 파라미터의 표준 정의 방향(포트 안으로 들어가는 방향)이 같은지부터 확인한다. 방향이 반대인 포트가 있으면 그 전류에 마이너스 부호를 붙여 식을 세운다. 이후 외부회로는 각 포트 단자의 전압을 미지수로 놓고 KCL을 세워 파라미터식과 연립하면 빠르게 풀린다.

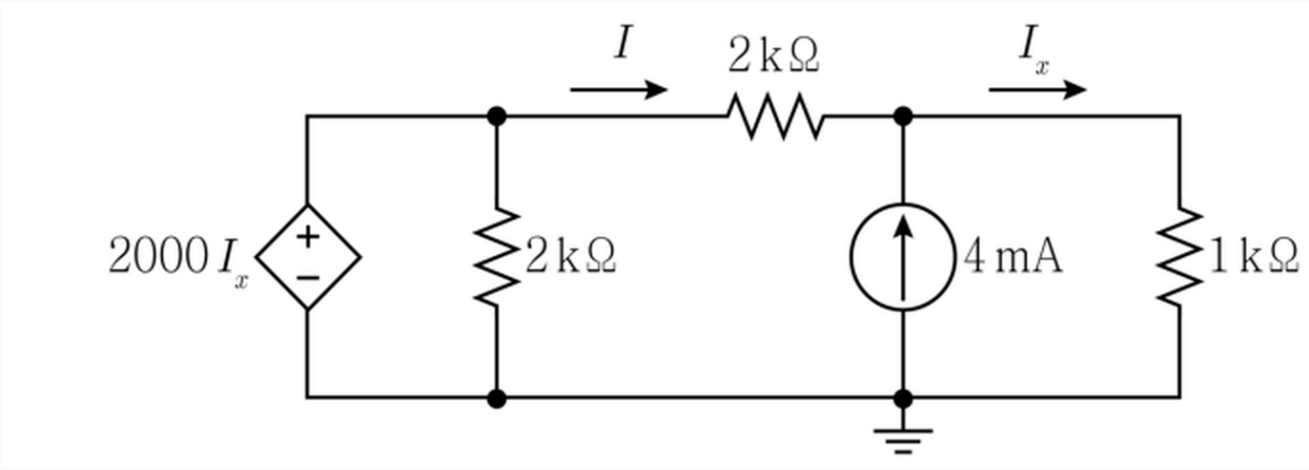
NoteBase

암기 포인트

z-파라미터 표준정의: $V_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2, V_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2$이며 이때 I_1, I_2는 모두 포트 안으로 들어가는 방향이다. 화살표가 반대 방향으로 주어지면 해당 전류의 부호를 바꿔 대입한다. 2포트를 둘러싼 외부 저항망은 단자전압을 노드전압으로 놓고 KCL로 연립하면 된다.

NoteBase

문 9. 다음 회로에서 전류 I[mA]는?



① 8

② 5

③ 4

④ 3

정답 3번

출제 포인트

종속전압원과 독립전류원이 함께 있는 회로에서 마디전압법(node voltage method)으로 미지 전류 I를 구하는 문제이다. 종속원의 제어변수 I_x가 회로 안에 있으므로, 마디방정식을 세운 뒤 I_x를 회로 변수로 치환해 연립해야 한다는 점이 핵심이다.

조건 정리

왼쪽 마디를 A, 오른쪽 마디를 B라 하고 맨 아래 공통선을 접지(0V)로 둔다. 마디 A에는 종속전압원 $2000I_x$ (위쪽이 +)와 2 kΩ 저항이 접지로 연결되어 있고, A에서 2 kΩ 저항을 거쳐(이 저항을 흐르는 전류가 I) 마디 B로 이어진다. 마디 B에는 4 mA 전류원이 접지에서 위로 유입되고, 1 kΩ 저항이 접지로 연결되어 이 저항을 흐르는 전류가 I_x이다.

사용할 공식

종속전압원 조건: $V_A = 2000I_x$ (I_x는 A 단위). 저항 전류-전압 관계: 1 kΩ을 흐르는 전류 $I_x = \frac{V_B}{1000}$. 마디 B에서의 KCL: $\frac{V_A - V_B}{2000} + 0.004 = I_x$. 마디 A와 B 사이 2 kΩ을 흐르는 전류: $I = \frac{V_A - V_B}{2000}$.

NoteBase

계산 과정

마디 B의 KCL로부터 $\frac{V_A - V_B}{2000} + 0.004 = \frac{V_B}{1000}$이다. 종속전압원 조건 $V_A = 2000I_x = 2000 \cdot \frac{V_B}{1000} = 2V_B$를 대입하면 $\frac{2V_B - V_B}{2000} + 0.004 = \frac{V_B}{1000}$, 즉 $\frac{V_B}{2000} + 0.004 = \frac{V_B}{1000}$이다. 양변에 2000을 곱하면 $V_B + 8 = 2V_B$ 이므로 $V_B = 8\text{V}$이다. 따라서 $I_x = \frac{8}{1000} = 0.008\text{A} = 8\text{mA}$, $V_A = 2V_B = 16\text{V}$이다. 구하는 전류는 $I = \frac{V_A - V_B}{2000} = \frac{16 - 8}{2000} = 0.004\text{A} = 4\text{mA}$이다.

선지 판단

① 8: 마디 B의 1 kΩ에 흐르는 전류 $I_x = 8\text{mA}$와 구하려는 I를 혼동한 값이다. X

② 5: 계산 과정에서 8V와 16V를 잘못 조합해 나올 수 있는 값으로, 실제 값과 일치하지 않는다. X

③ 4: $I = \frac{V_A - V_B}{2000} = \frac{16 - 8}{2000} = 4\text{mA}$로 계산 결과와 정확히 일치한다. O

④ 3: 계산 과정에서 반올림이나 항을 빠뜨렸을 때 나올 수 있는 값으로, 정확한 마디방정식 풀이 결과와 다르다. X

오답 포인트

이 문제는 I와 I_x를 헷갈리기 쉽다. I는 두 마디 사이 2 kΩ을 흐르는 전류이고, I_x는 오른쪽 1 kΩ을 흐르는 전류로 서로 다른 지점의 전류이다($I_x = 8\text{mA}$, $I = 4\text{mA}$). 또한 종속전압원의 제어변수 I_x를 미지수로 남겨둔 채 마디방정식만 세우고 끝내면 답을 낼 수 없으므로, 반드시 I_x를 마디전압으로 표현해 대입까지 완료해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

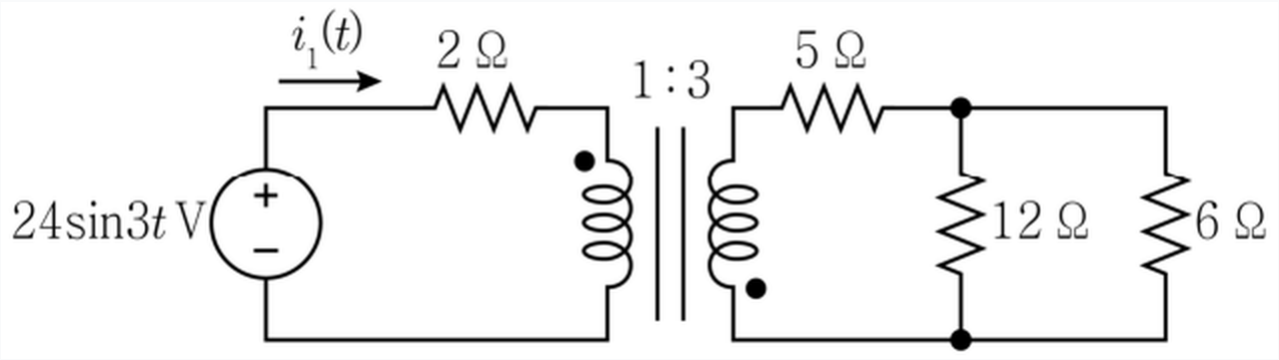
종속원이 포함된 회로는 먼저 일반 마디(또는 메시) 방정식을 세우고, 그 다음 종속원의 제어변수를 같은 마디전압(또는 전류) 식으로 바꿔 대입하여 미지수를 하나로 줄인 뒤 푼다. 마지막에는 문제가 묻는 전류가 어느 저항, 어느 마디 사이의 전류인지 회로도에서 화살표 위치를 다시 확인한다.

암기 포인트

종속전압원 조건식($V = kI_x$)은 별도의 마디방정식이 아니라 제어변수를 소거하기 위한 대입식으로 사용한다. 전류원이 있는 마디는 KCL에서 전류원의 값을 그대로 유입/유출 항으로 넣고, 저항을 흐르는 전류는 항상 (양끝 마디전압 차)/저항으로 표현한다.

NoteBase

문 10. 이상적인 변압기를 포함한 다음 회로에서 전류 $i_1(t)$[A]은?



① $\sin 3t$

② $4\sin 3t$

③ $4.8\sin 3t$

④ $8\sin 3t$

정답 4번

출제 포인트

이상적 변압기가 포함된 회로에서 2차측 임피던스를 1차측으로 환산(반사)한 뒤 단일 루프 회로처럼 전류를 구하는 능력을 묻는다. 권선비 1 : 3일 때 임피던스 반사 배율이 $(1/3)^2$이 된다는 점이 핵심이다.

조건 정리

1차측: 전압원 $24\sin 3t$ V와 2Ω 저항이 직렬로 연결되고, 그 뒤에 권선비 1 : 3인 이상적 변압기 1차 권선이 연결된다. 2차측: 변압기 2차 권선 뒤에 5Ω 저항이 직렬로 있고, 그 뒤에 12Ω와 6Ω이 서로 병렬로 연결되어 있다. 구하는 값은 1차측 전류 $i_1(t)$이다.

사용할 공식

저항 병렬 공식 $R_p = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b}$, 이상적 변압기의 임피던스 반사 공식 $Z_1' = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 Z_2$, 옴의 법칙 $i = \frac{v}{R}$.

계산 과정

먼저 2차측 병렬저항을 구하면 $R_{12\,\|\,6} = \frac{12 \times 6}{12 + 6} = 4\Omega$이다. 이것이 5Ω과 직렬이므로 2차측 전체 임피던스는 $Z_2 = 5 + 4 = 9\Omega$이다. 권선비가 1 : 3(1차:2차)이므로 2차측 임피던스를 1차측으로 반사하면 $Z_1' = \left(\frac{1}{3}\right)^2 \times 9 = 1\Omega$이다. 따라서 1차측 전체 회로는 전압원과 2Ω, 반사된 1Ω이 직렬로 연결된 단순 회로가 되어 전체 저항은 $2 + 1 = 3\Omega$이다. 이에 따라 $i_1(t) = \frac{24\sin 3t}{3} = 8\sin 3t$ [A]이다.

NoteBase

선지 판단

① sin3t — X, 임피던스 반사와 전체 저항 계산을 누락하고 전압을 지나치게 큰 값으로 나눈 경우에 나오는 오답이다.
② 4sin3t — X, 병렬저항 계산을 생략하고 5Ω과 12Ω만 고려하는 등 회로를 잘못 단순화했을 때 나올 수 있는 값이다.
③ 4.8sin3t — X, 병렬저항을 잘못 구하거나(예: 12Ω과 6Ω의 합을 단순 평균 내는 등) 반사 배율을 다르게 적용했을 때 나오는 오답이다.
④ 8sin3t — O, 2차측 전체 임피던스 9Ω을 권선비 제곱 $(1/3)^2$로 반사하면 1Ω이 되고, 1차측 총 저항이 3Ω이 되어 $i_1 = 24\sin 3t/3 = 8\sin 3t$로 계산된다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 임피던스 반사 배율을 권선비 그대로(1/3 또는 3)로 쓰거나, 반사 방향을 반대로 적용하는 것이다. 반사 배율은 항상 (해당 측 권선수/기준 측 권선수)의 제곱이며, 2차측 임피던스를 1차측으로 가져올 때는 $(n_1/n_2)^2$을 곱한다는 점을 정확히 기억해야 한다. 또한 병렬저항 계산을 생략하거나 직렬·병렬을 혼동하면 전체 임피던스가 달라져 오답으로 이어진다.

다시 나오면 이렇게 판단

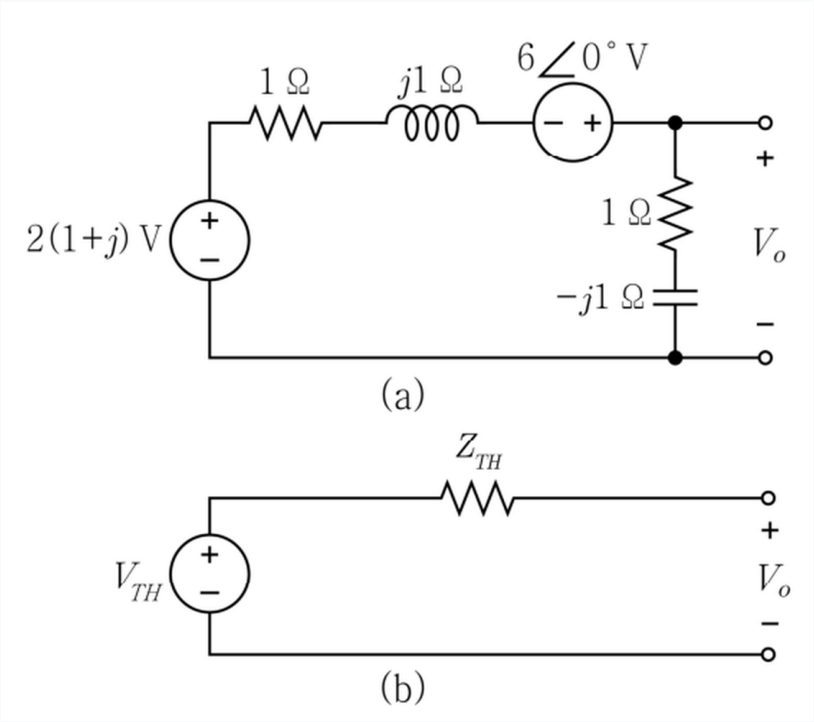
변압기가 포함된 회로 문제를 만나면 항상 2차측(부하 쪽) 회로를 먼저 하나의 등가 임피던스로 정리한 뒤, 권선비의 제곱을 이용해 1차측으로 반사시켜 전체를 하나의 단순한 직렬 회로로 바꾼다. 그 다음에 옴의 법칙으로 원하는 전류나 전압을 구하면 실수를 줄일 수 있다.

암기 포인트

임피던스 반사 공식은 $Z_1' = (n_1/n_2)^2 Z_2$이며, 권선비가 1 : 3이면 2차측 임피던스를 1차측에서 볼 때 1/9로 작아진다는 것을 기억해 둔다.

NoteBase

문 11. 그림에서 (a)의 회로를 (b)의 회로와 같도록 테브난(Thevenin) 등가변환할 때 $Z_{TH}[\Omega]$는?



① $1+j$

② $1-j$

③ 1

④ j

정답 3번

출제 포인트

테브난 등가임피던스 Z_{TH}를 구하는 문제이다. Z_{TH}는 회로 내부의 독립전원(전압원·전류원)을 모두 0으로 만든 뒤 출력단자 두 곳에서 바라본 등가임피던스이므로, 전압원은 단락(short), 전류원은 개방(open)으로 바꾸고 남은 임피던스들의 직렬·병렬 관계만 정리하면 된다.

조건 정리

회로 (a)에서 출력단자 두 곳(V_o가 걸리는 지점)을 기준으로 보면 두 개의 병렬 가지가 존재한다. 가지 1은 출력단자에 바로 걸려 있는 1Ω과 $-j1\Omega$의 직렬 조합이고, 가지 2는 $2(1+j)V$ 전압원 - 1Ω - $j1\Omega$ - $6\angle 0^\circ V$ 전압원이 직렬로 이어져 같은 출력단자에 연결된 조합이다. Z_{TH}를 구할 때는 두 전압원을 모두 단락시킨다.

사용할 공식

직렬 임피던스: $Z = Z_1 + Z_2$. 병렬 임피던스: $Z = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}$.

NoteBase

계산 과정

먼저 두 전압원 $2(1+j)V$와 $6\angle 0^\circ V$를 각각 단락시킨다. 그러면 가지 2는 1Ω과 $j1\Omega$만 직렬로 남아 $Z_2 = 1+j$가 된다. 가지 1은 원래부터 독립전원이 없으므로 그대로 1Ω과 $-j1\Omega$의 직렬 조합이라 $Z_1 = 1-j$이다. 이 두 가지가 출력단자 사이에서 서로 병렬로 연결되어 있으므로
$Z_{TH} = Z_1 \parallel Z_2 = \frac{(1-j)(1+j)}{(1-j)+(1+j)} = \frac{1-j^2}{2} = \frac{1+1}{2} = 1\ \Omega$
이다.

선지 판단

① 1+j — X. 이는 1Ω과 $j1\Omega$의 단순 직렬합(가지 2만의 값)으로, 병렬 관계를 반영하지 않은 값이다.
② 1-j — X. 이는 1Ω과 $-j1\Omega$의 단순 직렬합(가지 1만의 값)으로, 역시 병렬 관계를 반영하지 않은 값이다.
③ 1 — O. $(1-j)$와 $(1+j)$를 병렬로 계산하면 분자의 켤레복소수 곱 $(1-j)(1+j) = 1-j^2 = 2$와 분모의 합 $(1-j)+(1+j) = 2$가 서로 같아져 $Z_{TH} = 1\Omega$이 된다.
④ j — X. 계산 과정에서 실수부만 남고 허수부는 상쇄되므로 순허수 결과가 나올 수 없다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 두 가지 값 $(1+j)$, $(1-j)$를 각각 그대로 답으로 고르기 쉽다는 점이다. 두 가지가 출력단자 사이에서 서로 병렬로 연결되어 있다는 것을 놓치면 단순 직렬합인 ①이나 ②를 고르게 된다. 또한 전압원을 단락시키지 않고 전압원 값을 그대로 남겨 계산하면 완전히 다른 값이 나오므로, Z_{TH}를 구할 때는 반드시 독립전원을 먼저 제거(전압원 단락)한다는 점을 기억해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

테브난 임피던스를 묻는 문제는 항상 두 단계로 접근한다. 첫째, 회로 안의 모든 독립전압원은 단락, 독립전류원은 개방으로 바꾼다. 둘째, 출력단자 두 곳에서 바라보았을 때 남은 임피던스들이 직렬인지 병렬인지를 회로 구조로 판단하여 계산한다. 이때 두 임피던스가 서로 켤레복소수 관계($a+jb$와 $a-jb$)이면 병렬 결과가 실수 $\frac{a^2+b^2}{2a}$ 형태로 간단히 정리되는 경우가 많다는 것도 기억해 두면 계산이 빨라진다.

암기 포인트

Z_{TH}, R_{TH}를 구할 때는 전압원 단락 · 전류원 개방부터 한다. 병렬 임피던스 공식은 $\frac{Z_1 Z_2}{Z_1+Z_2}$이며, 켤레 관계인 두 임피던스의 곱은 항상 실수(a^2+b^2)가 된다.

NoteBase

문 12. 함수 $V(s)=\frac{7s+43}{s^2+11s+28}$의 라플라스 역변환값 $v(t)$는? (단, $t>0$이다)

① $7e^{-3t}+3e^{-8t}$

② $5e^{-3t}+2e^{-8t}$

③ $7e^{-4t}+3e^{-7t}$

④ $5e^{-4t}+2e^{-7t}$

정답 4번

출제 포인트

분모가 인수분해되는 2차식인 라플라스 변환 함수를 부분분수로 전개한 뒤, 각 항을 표준 라플라스 변환쌍 $\mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s+a}\right]=e^{-at}$을 이용해 시간영역 함수로 되돌리는 능력을 묻는다.

조건 정리

$V(s)=\frac{7s+43}{s^2+11s+28}$, $t>0$에서의 역변환값 $v(t)$를 구한다. 분모의 두 근을 먼저 찾아 부분분수 전개의 극점으로 사용한다.

사용할 공식

분모 인수분해: $s^2+11s+28=(s+4)(s+7)$. 부분분수 전개: $\frac{7s+43}{(s+4)(s+7)}=\frac{A}{s+4}+\frac{B}{s+7}$. 라플라스 역변환쌍: $\mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s+a}\right]=e^{-at}$ $(t>0)$.

계산 과정

분모를 인수분해하면 $s^2+11s+28=(s+4)(s+7)$이다. 부분분수로 놓으면 $7s+43=A(s+7)+B(s+4)$이다. $s=-4$를 대입하면 $-28+43=15=A(3)$이므로 $A=5$이다. $s=-7$을 대입하면 $-49+43=-6=B(-3)$이므로 $B=2$이다. 따라서 $V(s)=\frac{5}{s+4}+\frac{2}{s+7}$이고, 이를 역변환하면 $v(t)=5e^{-4t}+2e^{-7t}$ $(t>0)$이다.

선지 판단

① $7e^{-3t}+3e^{-8t}$: 지수의 계수(3, 8)가 실제 극점(4, 7)과 다르고 계수(7, 3)도 부분분수 값(5, 2)과 달라 틀렸다.

② $5e^{-3t}+2e^{-8t}$: 부분분수 계수(5, 2)는 맞지만 지수가 -3t, -8t로 되어 있어 틀렸다. 분모의 근은 -4와 -7이므로 지수는 -4t, -7t가 되어야 한다.

③ $7e^{-4t}+3e^{-7t}$: 지수(-4t, -7t)는 맞지만 계수가 7, 3으로 되어 있어 틀렸다. 계산 결과 계수는 5, 2이다.

④ $5e^{-4t}+2e^{-7t}$: 계산 과정에서 얻은 $v(t)=5e^{-4t}+2e^{-7t}$와 정확히 일치하므로 옳다.

NoteBase

오답 포인트

이 문제는 분모의 근(-4, -7)과 부분분수 계수(5, 2)라는 두 종류의 숫자가 선지마다 서로 뒤섞여 제시되어 있어, 계산을 끝까지 하지 않고 일부만 맞히면 오답을 고르기 쉽다. 부분분수 계산에서 분자 대입값 계산을 정확히 해야 하며(특히 부호), 인수분해 시 두 근의 곱(28)과 합(11)이 맞는지 검산하는 습관이 필요하다.

다시 나오면 이렇게 판단

2차식 분모를 가진 라플라스 역변환 문제는 먼저 분모를 인수분해해 극점을 구하고, 부분분수 전개 후 각 극점에 해당하는 s값을 대입해 계수를 구한다. 마지막으로 지수의 부호는 극점의 부호와 반대(극점이 -a이면 지수는 e^{-at})임을 확인한다.

암기 포인트

$\mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s+a}\right] = e^{-at}$ $(t > 0)$이며, 부분분수 전개 시 근을 대입해 분자값을 구하는 방법(헤비사이드 커버업법)을 활용하면 계산이 빨라진다.

NoteBase

문 13. 한 상의 임피던스가 $80 + j60\Omega$인 평형 3상 Δ부하에 선간전압 $200V$를 가했을 때의 설명으로 옳지 않은 것은?

① 부하 상전류값은 $2A$이다.

② Δ부하 전체 유효전력은 $320\sqrt{3}W$이다.

③ 역률은 0.8이다.

④ Δ부하 전체 무효전력은 $720VAR$이다.

정답 2번

출제 포인트

평형 3상 Δ결선 부하에서 선간전압과 상전압의 관계, 상전류·역률·유효전력·무효전력을 임피던스로부터 계산하는 능력을 묻는 문제이다. Δ결선에서는 선간전압과 상전압이 같다는 점이 계산의 출발점이다.

조건 정리

한 상의 임피던스 $Z = 80 + j60\Omega$, 평형 3상 Δ부하, 선간전압 $V_L = 200\text{V}$이다. Δ결선이므로 상전압 $V_p = V_L = 200\text{V}$이다.

사용할 공식

임피던스 크기 $|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$, 상전류 $I_p = \frac{V_p}{|Z|}$, 역률 $\cos\theta = \frac{R}{|Z|}$, 한 상 유효전력 $P_1 = I_p^2 R$, 한 상 무효전력 $Q_1 = I_p^2 X$, 3상 전체는 각각 3배 하여 $P = 3I_p^2 R$, $Q = 3I_p^2 X$이다.

계산 과정

임피던스 크기는 $|Z| = \sqrt{80^2 + 60^2} = \sqrt{6400 + 3600} = \sqrt{10000} = 100\Omega$이다.
상전류는 $I_p = \frac{200}{100} = 2\text{A}$이다.
역률은 $\cos\theta = \frac{80}{100} = 0.8$이다.
한 상의 유효전력은 $I_p^2 R = 2^2 \times 80 = 320\text{W}$이고, Δ부하 전체(3상) 유효전력은 $3 \times 320 = 960\text{W}$이다.
한 상의 무효전력은 $I_p^2 X = 2^2 \times 60 = 240\text{VAR}$이고, 전체 무효전력은 $3 \times 240 = 720\text{VAR}$이다.

선지 판단

① 부하 상전류값은 2 A이다 → O. $I_p = 200/100 = 2\text{A}$로 계산과 일치한다.
② Δ부하 전체 유효전력은 $320\sqrt{3}\text{W}$이다 → X. 전체 유효전력은 한 상당 320 W의 3배인 960 W이다.
$320\sqrt{3} \approx 554.3\text{W}$로 실제 값과 다르므로 틀린 표현이다. 틀린 표현 → 올바른 표현: "320√3 W" → "960 W".
③ 역률은 0.8이다 → O. $\cos\theta = 80/100 = 0.8$로 일치한다.
④ Δ부하 전체 무효전력은 720 VAR이다 → O. $3 \times 240 = 720\text{VAR}$로 일치한다.

NoteBase

오답 포인트

선간전압과 상전압을 혼동해 Δ결선에도 $V_p = V_L/\sqrt{3}$을 적용하면 상전류·전력 계산이 모두 틀어진다. 또한 3상 전체 전력을 구할 때 한 상의 값에 $\sqrt{3}$을 곱하는 실수를 하기 쉬운데, 유효·무효전력은 한 상의 값에 3을 곱해야 하며 $\sqrt{3}$을 곱하는 것은 선전류·선간전압을 이용한 식($P = \sqrt{3} V_L I_L \cos\theta$)을 쓸 때만 해당한다.

다시 나오면 이렇게 판단

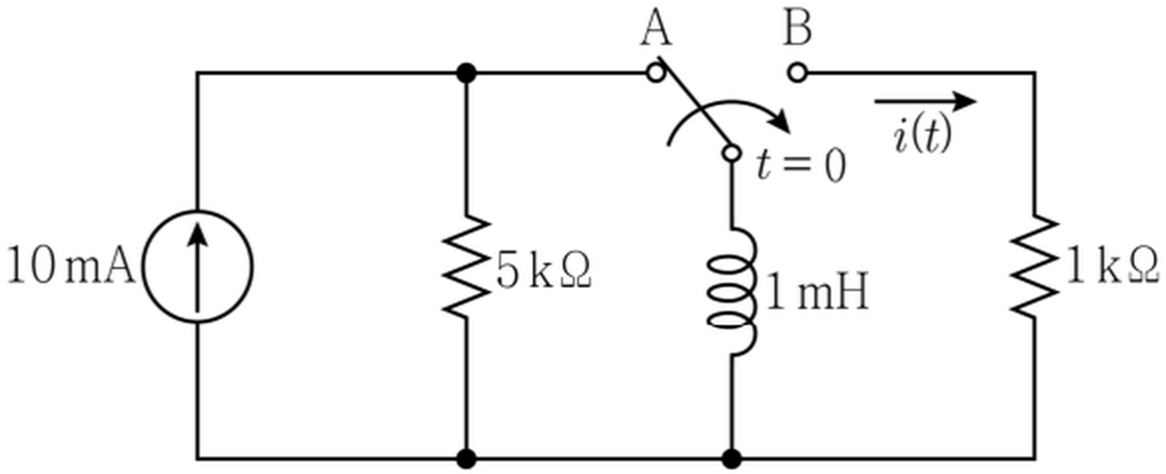
Δ부하 문제는 먼저 선간전압=상전압임을 확인하고 상전류부터 구한다. 이후 한 상의 유효·무효전력을 구해 3을 곱하면 전체 값이 나오며, 선전류 기준 공식($\sqrt{3}$ 포함)과 혼동하지 않도록 두 접근을 분리해서 검산한다.

암기 포인트

Δ결선: 상전압=선간전압, 선전류 = $\sqrt{3}$ ×상전류. 3상 전체 유효전력 $P = 3I_p^2 R = \sqrt{3} V_L I_L \cos\theta$, 무효전력 $Q = 3I_p^2 X = \sqrt{3} V_L I_L \sin\theta$이다.

NoteBase

문 14. 다음 회로에서 $t < 0$ 구간 동안 스위치는 A점에 연결되어 정상상태를 유지하다가, $t = 0$인 시점에 B점으로 이동했다. $t > 0$인 구간에서, 1kΩ의 저항이 소모하는 전력 [W]은?



① $0.1e^{-2\times10^6t}$

② $10e^{-2\times10^6t}$

③ $0.1e^{-10^6t}$

④ $10e^{-10^6t}$

정답 1번

출제 포인트

스위치 전환 전후로 회로 구조가 바뀌는 RL 과도현상 문제이다. t<0의 직류 정상상태에서 인덕터 전류를 구하고, 그 전류가 스위칭 순간에도 그대로 이어진다는 연속성을 이용해 t>0 구간의 전류식을 세운 뒤, 이를 제곱하여 저항의 소모 전력을 구하는 것이 핵심이다.

조건 정리

t<0에서는 스위치가 A점에 있어 전류원(10mA), 5kΩ, 인덕터(1mH)가 한 마디에서 병렬로 연결되고, 1kΩ은 회로에서 분리되어 있다. t=0에서 스위치가 B점으로 이동하면 전류원과 5kΩ이 있는 가지는 인덕터와 완전히 끊어지고, 대신 인덕터가 1kΩ과 직렬 폐루프를 이루게 된다. 정상상태에서 인덕터는 단락(도선)처럼 동작하므로 t<0에서 인덕터 양단 전압은 0이고, 이 전압이 곧 5kΩ 양단 전압이므로 5kΩ에는 전류가 흐르지 않는다. 따라서 전류원 10mA가 전부 인덕터로 흘러 들어간다.

NoteBase

사용할 공식

인덕터 전류는 급격히 변하지 않으므로 $i_L(0^+) = i_L(0^-)$가 성립한다. t>0에서는 인덕터와 1kΩ만으로 이루어진 직렬 RL 방전 회로이므로 시정수는 $\tau = \frac{L}{R}$이고, 전류는 $i(t) = i_L(0^+)e^{-t/\tau}$의 형태로 감소한다. 저항이 소모하는 전력은 $P(t) = i(t)^2R$로 계산한다.

계산 과정

t<0에서 인덕터가 단락으로 작용하여 전류원의 전류 10mA가 모두 인덕터로 흐르므로 $i_L(0^-) = 10\text{mA} = 0.01\text{A}$이다. 스위칭 순간 인덕터 전류는 그대로 유지되므로 $i_L(0^+) = 0.01\text{A}$이다.
t>0에서는 인덕터(1mH)와 1kΩ이 직렬 폐루프를 이루므로 시정수는 $\tau = \frac{L}{R} = \frac{1\text{mH}}{1\text{k}\Omega} = \frac{10^{-3}}{10^3} = 10^{-6}\text{s}$이다.
따라서 이 폐루프를 흐르는 전류는 $i(t) = 0.01e^{-t/10^{-6}} = 0.01e^{-10^6 t}\text{A}$이고, 이 전류가 그대로 1kΩ에도 흐른다(직렬 연결이므로 전류가 같음). 1kΩ의 소모 전력은
$P(t) = i(t)^2R = (0.01)^2e^{-2\times10^6 t} \times 1000 = 0.0001 \times 1000 \times e^{-2\times10^6 t} = 0.1e^{-2\times10^6 t}\text{W}$이다.

선지 판단

① 0.1e^(-2×10^6 t) — 옳다. 전류 제곱에 의해 지수의 시상수가 2배(2×10^6)가 되고, 계수도 (0.01)^2×1000=0.1로 정확히 계산된 값이다.
② 10e^(-2×10^6 t) — 지수 부분(감쇠 속도)은 맞지만 계수가 틀렸다. 전류를 제곱하는 과정에서 (0.01)^2=0.0001에 저항 1000을 곱해야 하는데, 이를 누락하거나 잘못 곱하면 나오는 오답이다.
③ 0.1e^(-10^6 t) — 계수는 맞지만 지수가 틀렸다. 전력은 전류의 제곱에 비례하므로 지수의 감쇠율도 2배가 되어야 하는데, 전류의 감쇠율(10^6)을 그대로 사용한 오답이다.
④ 10e^(-10^6 t) — 이는 전류 $i(t)$를 mA 단위로 나타낸 값(10e^{-10^6 t} mA)에 해당하며, 문제가 요구하는 전력이 아니라 전류 자체를 답으로 잘못 고른 경우에 나오는 오답이다.

오답 포인트

이 문제에서 자주 하는 실수는 두 가지이다. 첫째, t<0에서 인덕터가 단락 상태라는 점을 놓치고 5kΩ에도 전류가 흐른다고 착각하여 인덕터 초기 전류를 잘못 구하는 경우이다(정상상태에서 인덕터 양단 전압이 0임을 이용해야 한다). 둘째, 전력을 구할 때 전류식을 그대로 답으로 쓰거나, 전류를 제곱하면서 계수와 지수의 시상수를 함께 정확히 반영하지 못하는 경우이다(전력은 전류의 제곱이므로 지수의 감쇠율도 반드시 2배가 된다).

다시 나오면 이렇게 판단

스위치 전환형 RL(또는 RC) 문제는 먼저 전환 전 정상상태에서 인덕터(또는 커패시터)의 초기값을 구하고, 전환 후 새로 형성되는 폐루프만 따로 떼어 시정수를 구한다. 이후 전력을 물으면 전류식을 그대로 쓰지 말고 반드시 제곱하여 지수의 감쇠율이 2배가 됨을 확인한다.

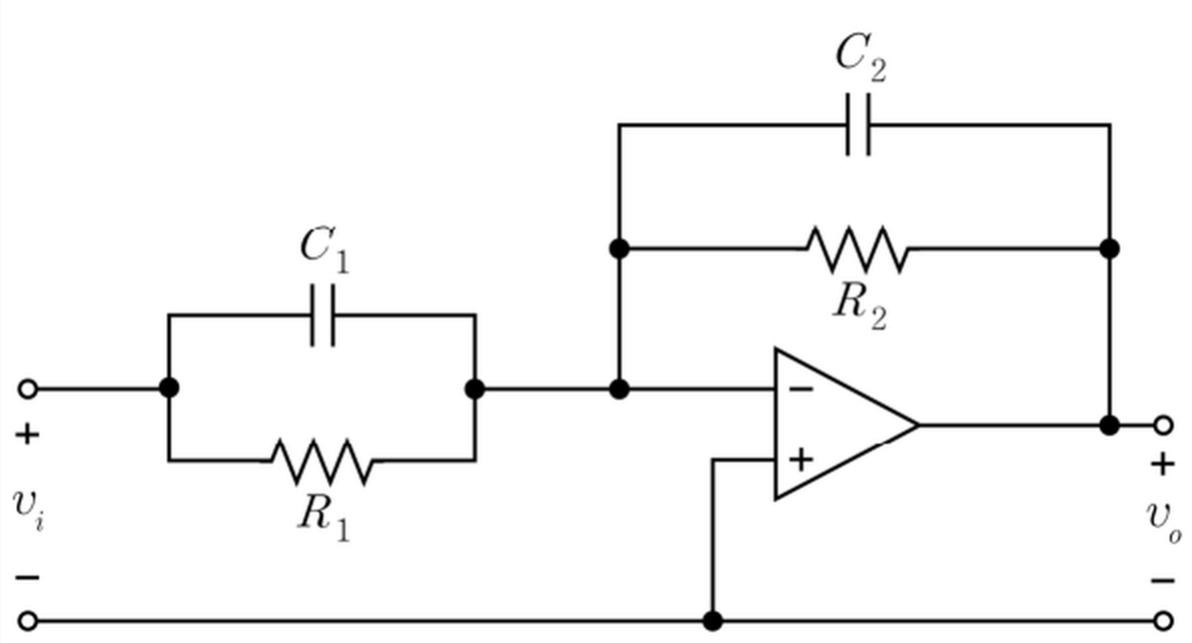
NoteBase

암기 포인트

정상상태에서 인덕터는 단락, 커패시터는 개방으로 취급한다. RL 직렬회로의 시정수는 $\tau = L/R$이며, 전류가 $e^{-t/\tau}$로 감소하면 전력은 그 제곱인 $e^{-2t/\tau}$로 감소한다.

NoteBase

문 15. 다음 회로에서 전달함수가 $\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = -\frac{s+1000}{2(s+3000)}$이고 $C_1 = 2\mu F$일 때, $C_2[\mu F]$와 $R_1[\Omega]$은? (단, 연산증폭기는 이상적이다)



① $C_2[\mu F]$: 4, $R_1[\Omega]$: 500

② $C_2[\mu F]$: 2, $R_1[\Omega]$: 600

③ $C_2[\mu F]$: 1, $R_1[\Omega]$: 200

④ $C_2[\mu F]$: 2, $R_1[\Omega]$: 500

정답 1번

출제 포인트

회로도는 반전 증폭기 구조이다. 입력단에는 R_1과 C_1이 병렬로 연결되어 반전입력단자로 이어지고, 궤환(feedback)단에는 R_2와 C_2가 병렬로 연결되어 출력단으로 이어진다. 이런 병렬 RC 임피던스로 구성된 반전 증폭기의 전달함수를 s-도메인으로 세운 뒤, 주어진 전달함수식과 계수를 비교해서 C_2와 R_1을 구하는 문제이다.

조건 정리

$C_1 = 2\mu$F로 주어졌고, 목표 전달함수는 $\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = -\frac{s+1000}{2(s+3000)}$이다. 연산증폭기는 이상적이므로 가상접지(virtual short)와 무한 입력임피던스를 그대로 적용한다.

NoteBase

사용할 공식

이상적 연산증폭기 반전 증폭기의 전달함수는 $H(s) = -\frac{Z_f(s)}{Z_{in}(s)}$이다. 여기서 입력측 임피던스는 R_1과 C_1의 병렬 조합이므로 $Z_{in}(s) = \frac{R_1}{1+sR_1C_1}$이고, 궤환측 임피던스는 R_2와 C_2의 병렬 조합이므로 $Z_f(s) = \frac{R_2}{1+sR_2C_2}$이다.

계산 과정

두 임피던스를 대입하면 $H(s) = -\frac{R_2}{1+sR_2C_2} \cdot \frac{1+sR_1C_1}{R_1} = -\frac{C_1}{C_2} \cdot \frac{s+\frac{1}{R_1C_1}}{s+\frac{1}{R_2C_2}}$가 된다. 이를 목표식 $-\frac{1}{2} \cdot \frac{s+1000}{s+3000}$과 계수 비교한다.
분자·분모의 상수항 비교로 $\frac{C_1}{C_2} = \frac{1}{2}$이므로 $C_2 = 2C_1 = 2 \times 2 = 4\mu$F이다.
영점 조건 $\frac{1}{R_1C_1} = 1000$에서 $R_1 = \frac{1}{1000 \times C_1} = \frac{1}{1000 \times 2 \times 10^{-6}} = \frac{1}{0.002} = 500\Omega$이다.
(참고로 극점 조건 $\frac{1}{R_2C_2} = 3000$으로 $R_2 \approx 83.3\Omega$이 나오지만 이 문제에서 묻는 값은 아니다.)

선지 판단

① C2=4, R1=500 → 계산 결과와 정확히 일치한다. 정답.
② C2=2, R1=600 → C2가 계수 비교값(4)과 다르고 R1도 다르다. 오답.
③ C2=1, R1=200 → C2·R1 모두 계산값과 다르다. 오답.
④ C2=2, R1=500 → R1은 맞지만 C2가 2로 계산값 4와 다르다(C1과 C2 비율을 거꾸로 적용한 경우 나오는 값). 오답.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 전달함수의 계수를 C_2/C_1로 놓거나, 영점·극점 조건을 R_1과 R_2에 서로 바꿔 대입하는 것이다. 특히 ④번처럼 R1은 맞게 구했어도 C2 비율을 반대로(즉 $C_2 = C_1 \times \frac{1}{2}$ 대신 그대로 2로) 계산하면 오답이 나온다. 병렬 RC 임피던스는 $\frac{R}{1+sRC}$ 형태이므로, 분자의 상수 1이 s=0에서의 값이 되고 여기서 계수비가 결정된다는 점을 놓치지 않아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

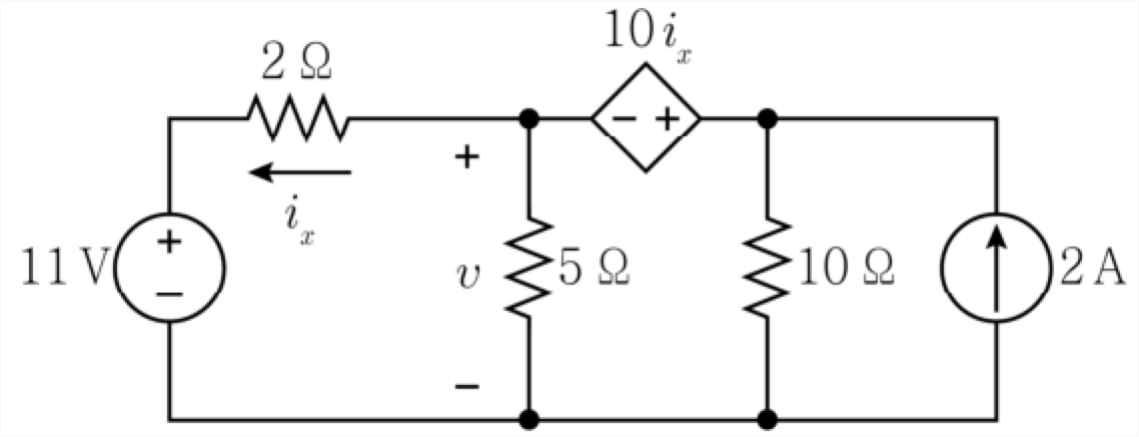
궤환 임피던스와 입력 임피던스가 각각 R와 C의 병렬 조합으로 주어지는 반전 증폭기 문제는, 먼저 각 임피던스를 $\frac{R}{1+sRC}$ 형태로 세우고 전달함수 $-Z_f/Z_{in}$을 구한 뒤, 분자·분모를 $s+\frac{1}{RC}$ 꼴로 정리해서 주어진 식과 항별로(이득 계수, 영점 위치, 극점 위치) 비교하면 빠르게 풀린다.

암기 포인트

반전 증폭기 전달함수는 $H(s) = -Z_f(s)/Z_{in}(s)$이며, R와 C가 병렬일 때 임피던스는 $\frac{R}{1+sRC}$이다. 여기서 극점은 $s = -\frac{1}{RC}$에 위치한다는 것을 기억해 둔다.

NoteBase

문 16. 다음 회로에서 5Ω의 저항에 걸리는 전압 $v[V]$는?



① 7

② 8

③ 9

④ 10

정답 4번

출제 포인트

종속전압원(전류제어전압원, CCVS)이 포함된 회로에서 마디해석(node analysis)으로 특정 저항의 단자전압을 구하는 문제이다. 독립전원(11V, 2A)과 종속전원(10i_x)을 함께 다루면서, 제어변수 i_x를 마디전압으로 표현해 방정식에 대입하는 과정이 핵심이다.

조건 정리

11V 전압원의 (+)단자에서 2Ω 저항을 거쳐 마디 1(전압 v가 걸리는 5Ω 저항의 위쪽 단자)로 연결된다. i_x는 2Ω 저항을 흐르는 전류로, 화살표 방향(마디 1에서 전압원 쪽, 즉 왼쪽)이 기준 방향이다. 마디 1에는 5Ω 저항(접지로)과 종속전압원 10i_x의 (-)단자가 연결된다. 종속전압원의 (+)단자는 마디 2와 연결되고, 마디 2에는 10Ω 저항(접지로)과 2A 전류원(아래에서 위로, 즉 마디 2로 전류를 공급)이 연결된다. 모든 소자의 아래쪽은 공통 접지(기준 마디, 0V)이다.

사용할 공식

옴의 법칙 $I = V/R$, 키르히호프 전류법칙(KCL, 마디에 흘러드는 전류의 합=흘러나가는 전류의 합), 종속전압원 관계식 $V_2 - V_1 = 10i_x$.

NoteBase

계산 과정

마디 1의 전압을 $V_1 (= v)$, 마디 2의 전압을 V_2라 하고 접지를 0V로 둔다.
i_x는 마디 1에서 전압원 쪽(왼쪽)으로 흐르는 전류이므로 $i_x = \frac{V_1 - 11}{2}$이다.
종속전압원은 (-)가 마디 1, (+)가 마디 2에 있으므로 $V_2 - V_1 = 10 i_x = 5(V_1 - 11)$, 즉 $V_2 = 6V_1 - 55$이다.
마디 2에서 KCL을 세우면, 종속전압원을 통해 마디 1 쪽으로 흘러나가는 전류를 I_b라 할 때 마디 2로 들어오는 전류(2A 전류원)와 I_b의 합이 10Ω으로 흘러나가는 전류와 같아야 하므로 $I_b + 2 = \frac{V_2}{10}$, 즉 $I_b = \frac{V_2}{10} - 2 = \frac{6V_1 - 75}{10}$이다.
마디 1에서 KCL을 세우면(흘러나가는 전류의 합=0): $i_x + \frac{V_1}{5} + I_b = 0$.
대입하면 $\frac{V_1 - 11}{2} + \frac{V_1}{5} + \frac{6V_1 - 75}{10} = 0$이 되고, 양변에 10을 곱하면 $5(V_1 - 11) + 2V_1 + (6V_1 - 75) = 0$, 즉 $13V_1 - 130 = 0$이므로 $V_1 = 10$이다.
따라서 5Ω 저항에 걸리는 전압 $v = V_1 = 10$ V이다.

선지 판단

① 7 → X: 마디해석 결과와 불일치한다.
② 8 → X: 마디해석 결과와 불일치한다.
③ 9 → X: 마디해석 결과와 불일치한다.
④ 10 → O: 마디 1, 2에 대한 KCL과 종속전압원 관계식을 연립하면 $V_1 = 10$ V로 계산되며, 이는 v와 같다.

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 i_x의 기준 방향을 잘못 잡는 것이다. 화살표가 왼쪽(전압원 방향)을 가리키므로 $i_x = (V_1 - 11)/2$로 두어야 하는데, 방향을 반대로 잡으면 종속전압원 값(10i_x)의 부호가 뒤집혀 전혀 다른 답이 나온다. 또한 종속전압원의 극성(어느 쪽이 +이고 어느 쪽이 -인지)을 반대로 대입해도 $V_2 - V_1$의 부호가 바뀌어 오답이 된다. 2A 전류원의 방향(위로, 즉 마디로 전류를 공급)을 반대로 해석해 부호를 잘못 넣는 것도 흔한 오답 원인이다.

다시 나오면 이렇게 판단

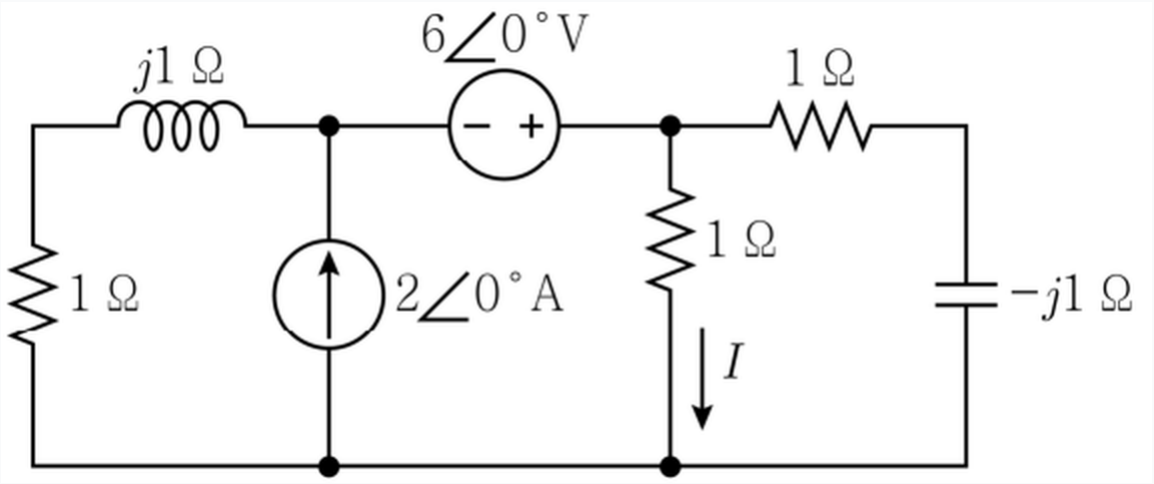
종속전원이 있는 회로는 먼저 제어변수(이 문제의 i_x)를 마디전압으로 표현하는 식을 세운 뒤, 종속전원이 위치한 두 마디의 KCL 식에 그 표현을 대입해 마디전압만의 연립방정식으로 정리한다. 종속전압원이 낀 두 마디는 슈퍼노드처럼 전류 관계식을 하나로 묶어 세우면 계산이 빨라진다. 전류원의 방향(화살표)이 어느 마디로 전류를 공급하는지부터 확인하고 KCL 부호를 정한다.

암기 포인트

종속전원 회로 마디해석 순서: 1) 제어변수를 마디전압 식으로 표현 2) 종속전원이 연결된 두 마디에 KCL 적용(전류가 흘러나가는 마디에서 흘러들어가는 마디로 넘어가는 전류를 하나의 변수로 묶어 소거) 3) 종속전원의 전압-마디전압 관계식 대입 4) 연립방정식 풀이. 전류의 기준 방향(화살표)과 전압원의 극성(+, -)은 항상 그림에 표시된 대로 그대로 식에 반영한다.

NoteBase

문 17. 다음 회로에서 전류 $I[A]$는?



① $-\frac{5}{2}+j\frac{3}{2}$
② $\frac{5}{2}-j\frac{3}{2}$
③ $-\frac{3}{2}+j\frac{5}{2}$
④ $\frac{3}{2}-j\frac{5}{2}$

정답 2번

출제 포인트

전압원과 전류원이 혼재된 교류 회로에서 마디해석(node analysis)으로 특정 저항에 흐르는 전류를 구하는 문제이다. 전압원이 두 마디 사이에 끼어 있어 슈퍼노드(supernode)를 세워야 하는 점이 핵심이다.

조건 정리

회로 아래쪽 가로선을 기준 마디(0V)로 잡는다. 인덕터 j1Ω과 좌측 1Ω이 만나는 지점을 마디1, 전류원 2∠0°A와 인덕터·전압원이 만나는 지점을 마디2, 전압원과 우측 1Ω·중앙 1Ω(전류 I가 흐르는 저항)이 만나는 지점을 마디3, 우측 1Ω과 -j1Ω 커패시터가 만나는 지점을 마디4로 둔다. 전압원 6∠0°V는 마디2와 마디3 사이에 있고 좌측이 -, 우측이 +이므로 V3 = V2 + 6이다. 전류원 2∠0°A는 화살표가 위로 향하므로 기준마디에서 마디2로 2A가 유입된다. 구하려는 전류 I는 마디3에서 접지로 흐르는 1Ω 저항의 전류이므로 I = V3(마디3의 전압)이다.

사용할 공식

옴의 법칙 V=IZ와 키르히호프 전류법칙(KCL)을 각 마디에 적용한다. 마디1에는 소자가 접지 1Ω과 인덕터뿐이므로 일반 KCL을, 마디2·마디3은 전압원으로 묶여 있으므로 슈퍼노드 KCL을, 마디4에는 우측 1Ω과 -j1Ω 커패시터가 연결되어 있으므로 역시 일반 KCL을 적용한다. $\frac{1}{j}=-j$, $\frac{1}{-j}=j$의 관계를 사용한다.

NoteBase

계산 과정

마디1 KCL: $V_1 + \frac{V_1 - V_2}{j} = 0$ 에서 $\frac{1}{j} = -j$이므로 $V_1(1-j) = -jV_2$, 따라서 $V_1 = \frac{V_2(1-j)}{2}$가 된다.
마디4 KCL: $\frac{V_4 - V_3}{1} + \frac{V_4}{-j} = 0$에서 $\frac{1}{-j} = j$이므로 $V_4(1+j) = V_3$, 따라서 $V_4 = \frac{V_3(1-j)}{2}$가 된다.
마디2·3 슈퍼노드 KCL(전류원 유입 2A 포함): $\frac{V_2 - V_1}{j} + \frac{V_3}{1} + \frac{V_3 - V_4}{1} - 2 = 0$.
$V_1 = \frac{V_2(1-j)}{2}$를 대입하면 $\frac{V_2 - V_1}{j} = \frac{V_2(1-j)}{2}$가 되고, $V_3 = V_2 + 6$, $V_4 = \frac{(V_2+6)(1-j)}{2}$를 대입하면
$V_3 - V_4 = (V_2+6)\left(1 - \frac{1-j}{2}\right) = (V_2+6)\frac{1+j}{2}$가 된다.
이를 정리하면 $\frac{V_2(1-j)}{2} + (V_2+6) + (V_2+6)\frac{1+j}{2} - 2 = 0$이고, 계산하면 $2V_2 + 7 + 3j = 0$이 되어
$V_2 = -\frac{7+3j}{2}$를 얻는다.
따라서 $V_3 = V_2 + 6 = 6 - \frac{7+3j}{2} = \frac{5}{2} - j\frac{3}{2}$이고, 구하려는 전류는 $I = V_3 = \frac{5}{2} - j\frac{3}{2}$[A]이다.

선지 판단

① -5/2+j(3/2): 계산된 값의 부호를 실수부·허수부 모두 반대로 잘못 잡은 값이라 틀리다.
② 5/2-j(3/2): 슈퍼노드 계산 결과인 $V_3 = \frac{5}{2} - j\frac{3}{2}$와 정확히 일치하므로 옳다.
③ -3/2+j(5/2): 실수부와 허수부 크기를 서로 바꾸고 부호도 반대로 처리한 값이라 틀리다.
④ 3/2-j(5/2): 실수부와 허수부 크기를 서로 바꾼 값이라 틀리다.

오답 포인트

전압원이 두 마디 사이에 끼어 있을 때 이를 무시하고 마디2, 마디3을 독립된 마디로 각각 KCL을 세우면 미지수가 남아 풀리지 않거나 부호를 잘못 잡기 쉽다. 슈퍼노드로 묶어 전류 보존식 하나와 전압 구속식(V3=V2+6) 하나로 처리해야 한다. 또한 $1/j = -j$, $1/(-j) = j$ 부호를 헷갈리면 실수부·허수부가 뒤바뀌거나 부호가 반대로 나오는데, 이는 선지 ①·③·④가 노리는 전형적인 실수이다.

다시 나오면 이렇게 판단

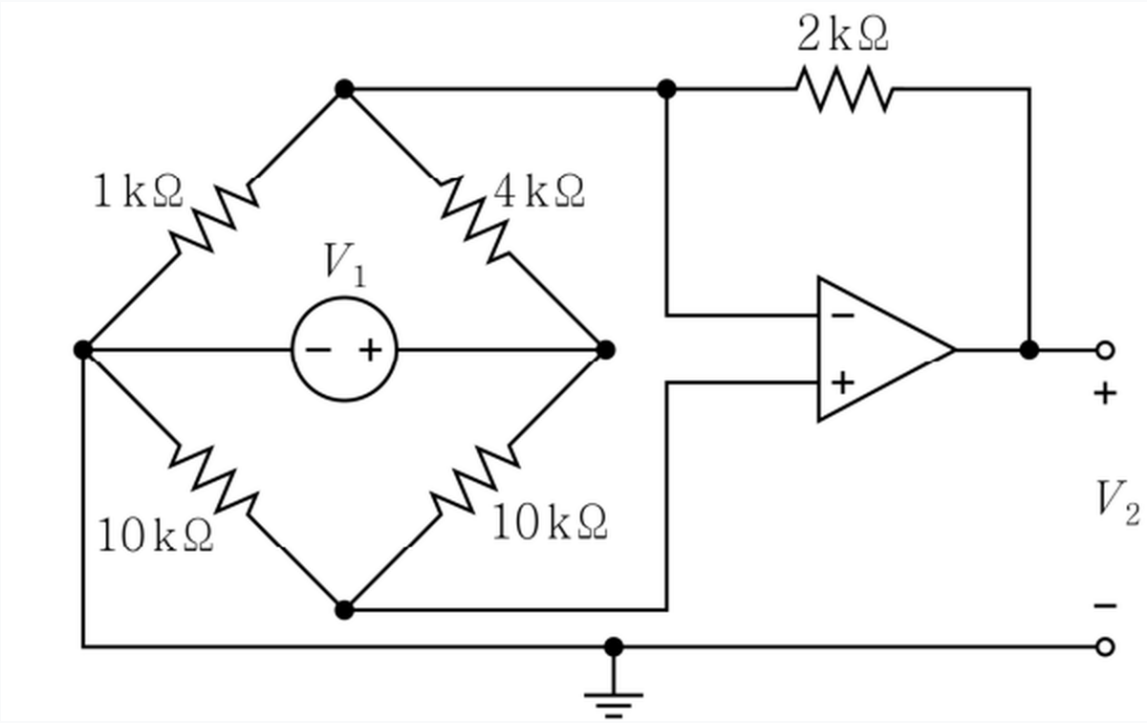
전압원이 두 마디를 직접 연결하고 있으면 곧바로 슈퍼노드를 세운다는 것부터 확인한다. 구하는 전류가 특정 저항을 통해 접지로 흐르는 전류라면, 그 저항이 걸린 마디의 전압을 구하는 것이 곧 답이라는 점(V=IR, R=1이면 I=V)을 활용해 계산량을 줄인다.

암기 포인트

전압원이 두 마디 사이에 있으면 슈퍼노드로 묶고, 두 마디 전압의 차이를 전압원 크기로 고정한 뒤 전류 보존식을 세운다는 순서를 기억해 둔다. 허수 임피던스는 $1/j = -j$, $1/(-j) = j$로 정리해 계산한다.

NoteBase

문 18. 이상적인 연산증폭기를 사용한 다음 회로에서 $\frac{V_2}{V_1}$는?



① $\frac{2}{4}$
② $\frac{3}{4}$
③ $\frac{4}{4}$
④ $\frac{5}{4}$

정답 4번

출제 포인트

이상적 연산증폭기의 가상단락(virtual short)과 가상개방(virtual open) 개념을 이용해, 저항 브릿지가 결합된 회로에서 입력전압 V_1과 출력전압 V_2의 비를 구하는 문제이다.

조건 정리

회로의 각 꼭짓점에 이름을 붙인다. 브릿지의 위쪽 꼭짓점을 A, 왼쪽 꼭짓점을 B, 오른쪽 꼭짓점을 C, 아래쪽 꼭짓점을 D라 하면, A-B 사이에 1kΩ, A-C 사이에 4kΩ, B-D 사이에 10kΩ, C-D 사이에 10kΩ이 연결되어 있다. B와 C 사이에는 전압원 V_1이 직접 연결되어 있으며 극성은 B쪽이 -, C쪽이 +이다. 노드 B는 접지(0V)이면서 동시에 출력 V_2의 - 기준단자이다. 노드 A는 연산증폭기의 반전(-) 입력 및 궤환저항 2kΩ에 연결되고, 노드 D는 비반전(+) 입력에 연결된다.

NoteBase

사용할 공식

이상적 연산증폭기의 가상단락 조건 $V_- = V_+$, 가상개방 조건(두 입력단자로는 전류가 흐르지 않음)과 각 노드에서의 키르히호프 전류법칙(KCL)을 사용한다.

계산 과정

1) B-C 사이에 전압원이 직접 연결되어 있으므로 $V_C - V_B = V_1$이고 $V_B = 0$이므로 $V_C = V_1$이다.
2) 노드 D는 10kΩ 두 개(B-D, C-D)로만 연결되고 D로는 전류가 흐르지 않으므로(가상개방), 같은 크기의 두 저항에 의한 단순 전압분배로 $V_D = \frac{V_B + V_C}{2} = \frac{V_1}{2}$이다.
3) 가상단락에 의해 $V_A = V_D = \frac{V_1}{2}$이다.
4) 노드 A에서 KCL을 세운다(입력단자로는 전류가 들어가지 않으므로 1kΩ, 4kΩ, 2kΩ 세 갈래 전류의 합이 0이다).
$\frac{V_B - V_A}{1\text{k}} + \frac{V_C - V_A}{4\text{k}} + \frac{V_2 - V_A}{2\text{k}} = 0$
각 값을 대입하면
$\frac{0 - \frac{V_1}{2}}{1\text{k}} + \frac{V_1 - \frac{V_1}{2}}{4\text{k}} + \frac{V_2 - \frac{V_1}{2}}{2\text{k}} = 0$
양변에 8k를 곱해 정리하면
$-4V_1 + V_1 + 4V_2 - 2V_1 = 0 \Rightarrow -5V_1 + 4V_2 = 0$
따라서
$\frac{V_2}{V_1} = \frac{5}{4}$

선지 판단

① 2/4(=1/2) → 오답: 노드 D의 전압분배 단계를 생략하고 V_A를 V_1의 절반이 아닌 값으로 잘못 대입하는 등 계산 과정에서 항을 누락한 경우에 나오는 값이다.
② 3/4 → 오답: 계산 과정 4)의 부호나 항을 하나 빠뜨렸을 때 나올 수 있는 값으로, 실제 KCL 결과와 맞지 않는다.
③ 4/4(=1) → 오답: 노드 C가 비반전(+) 입력에 직접 연결된다고 착각해 $V_A = V_C = V_1$로 놓고 계산하면 나오는 값이며, 실제로 비반전 입력에 연결된 노드는 D이지 C가 아니므로 틀린 판단이다.
④ 5/4 → 정답: $V_C = V_1$, $V_D = V_A = \frac{V_1}{2}$를 노드 A의 KCL에 대입해 얻은 값과 일치한다.

오답 포인트

이 회로는 저항 4개(1k, 4k, 10k, 10k)로 이루어진 브릿지처럼 보이지만, 실제로는 연산증폭기의 두 입력단자가 브릿지의 서로 다른 꼭짓점(A는 반전 입력, D는 비반전 입력)에 연결되어 있다는 점이 핵심이다. 비반전 입력에 연결된 노드를 C로 착각하면 전압분배 단계 없이 $V_A = V_C = V_1$로 놓게 되어 답이 틀어진다. 또한 노드 D가 두 개의 10kΩ 저항으로만 연결되고 전류가 흐르지 않는다는 사실(가상개방)을 놓치면 V_D를 구하는 전압분배식을 세우지 못한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

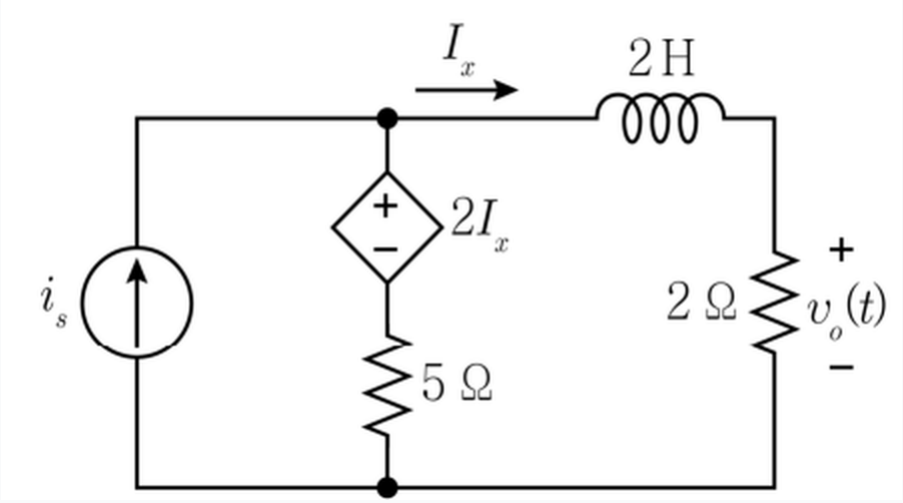
브릿지와 연산증폭기가 결합된 회로에서는 먼저 브릿지의 각 꼭짓점에 이름을 붙이고, 그중 어느 꼭짓점이 반전 입력에, 어느 꼭짓점이 비반전 입력에 연결되는지부터 정확히 확인한다. 두 노드 사이에 전압원이 직접 연결되어 있으면 그 두 노드의 전압차는 곧바로 전압원 값으로 고정된다는 점, 그리고 두 저항만으로 연결되고 전류가 흐르지 않는 노드는 단순 전압분배로 구해진다는 점을 순서대로 적용한 뒤, 마지막으로 반전 입력 노드에서 KCL을 세워 출력전압을 구한다.

암기 포인트

이상적 연산증폭기 두 조건(가상단락 $V_- = V_+$, 가상개방 즉 입력단자 전류 0)을 기본으로, 두 저항 사이에서 입력단자로만 연결된 노드는 단순 전압분배 노드가 된다는 사실, 그리고 반전 입력 노드에서는 궤환저항을 포함한 KCL을 세워 출력전압을 구한다는 순서를 기억해 둔다.

NoteBase

문 19. 다음 회로에서 $t = 0$일 때 저장된 에너지가 없고 전류원이 $i_s = 10u(t)[A]$일 때, $t > 0$에서 $V_o(s)$는? (단, $u(t)$는 단위 계단함수이다)



① $\frac{25}{s} + \frac{25}{s+4}$
② $\frac{25}{s} + \frac{25}{s-4}$
③ $\frac{20}{s} - \frac{40}{2s+5}$
④ $\frac{20}{s} - \frac{40}{2s-5}$

정답 3번

출제 포인트

종속전원(전류제어 전압원)이 포함된 회로를 라플라스 변환으로 옮겨 s-도메인 임피던스로 바꾸고, 마디해석으로 지정된 출력 전압 $V_o(s)$를 구하는 문제이다. 인덕터를 sL로 바꾼 뒤, 종속전원의 제어변수(I_x) 자신이 출력 가지의 전류라는 점을 이용해 하나의 변수로 정리하는 것이 핵심이다.

조건 정리

t=0일 때 초기 저장 에너지가 없으므로 인덕터 초기전류는 0이고, 전류원은 $i_s = 10u(t)$[A]이므로 라플라스 변환하면 $I_s(s) = \frac{10}{s}$이다. 회로는 상단 마디(노드 A)에서 두 가지로 갈라진다. 첫째 가지는 종속전압원 $2I_x$(위 +, 아래 -)와 5Ω 저항이 접지까지 직렬로 이어지고, 둘째 가지는 I_x가 흐르는 방향으로 인덕터 2H와 2Ω 저항이 직렬로 접지까지 이어지며, $v_o(t)$는 이 2Ω 저항 양단 전압이다. 인덕터와 저항이 직렬이므로 둘을 흐르는 전류는 모두 I_x와 같다.

사용할 공식

인덕터의 s-도메인 임피던스 $Z_L = sL$, 저항의 옴의 법칙 $V = IR$, 그리고 마디에서의 키르히호프 전류법칙(KCL) $I_s = I_1 + I_x$를 사용한다. 여기서 I_1은 종속전압원-5Ω 가지의 전류이다.

NoteBase

계산 과정

노드 A의 전압을 $V_A(s)$라 하면, 둘째 가지(인덕터+2Ω)에서 $V_A = I_x(2s) + I_x(2) = I_x(2s+2)$이다.
첫째 가지에서 종속전압원 조건에 의해 전압원 아래쪽 마디 전압은 $V_A - 2I_x$이고, 이 전압이 그대로 5Ω에 걸리므로 $I_1 = \frac{V_A - 2I_x}{5}$이다.
$V_A = I_x(2s+2)$를 대입하면 $I_1 = \frac{I_x(2s+2) - 2I_x}{5} = \frac{2sI_x}{5}$이다.
KCL $I_s = I_1 + I_x$에 대입하면 $I_s = \frac{2s}{5}I_x + I_x = \frac{2s+5}{5}I_x$이므로 $I_x = \frac{5I_s}{2s+5}$이다.
$I_s = \frac{10}{s}$를 대입하면 $I_x = \frac{50}{s(2s+5)}$이다.
$V_o(s) = 2I_x = \frac{100}{s(2s+5)}$이며, 이를 부분분수로 전개하면 $\frac{100}{s(2s+5)} = \frac{A}{s} + \frac{B}{2s+5}$에서 $s=0$을 대입해 $A = 20$, s의 계수를 비교해 $B = -40$을 얻는다.
따라서 $V_o(s) = \frac{20}{s} - \frac{40}{2s+5}$이다.

선지 판단

① 25/s + 25/(s+4): X — 부분분수의 극점 위치와 계수가 모두 실제 계산값(20/s, 극점 s=-5/2)과 다르다.
② 25/s + 25/(s-4): X — 마찬가지로 계수와 극점이 맞지 않고, 극점이 우반평면(s=4)에 있어 회로가 불안정하다는 잘못된 결과를 준다.
③ 20/s - 40/(2s+5): O — 계산 과정에서 얻은 $V_o(s) = \frac{20}{s} - \frac{40}{2s+5}$와 정확히 일치한다.
④ 20/s - 40/(2s-5): X — 앞 항의 계수 20은 맞지만 둘째 항의 분모 부호가 반대(2s-5)로 되어 있어, 극점이 s=5/2로 우반평면에 위치하게 되어 잘못된 값이다.

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 인덕터를 흐르는 전류와 5Ω 가지의 전류를 같다고 놓거나, 종속전압원의 극성(+ 위, - 아래)을 반대로 적용해 부호를 잘못 정리하는 것이다. 종속전압원의 전압강하 방향을 노드 A에서 아래쪽으로 잡아야 $V_A - 2I_x$가 5Ω 양단 전압이 됨을 놓치지 않아야 한다. 또한 부분분수 전개 시 분모를 $2s+5$ 그대로 둘지 $s+2.5$로 정규화할지에 따라 분자 계수가 2배 차이 나므로, 선지의 분모 형태에 맞춰 계수를 다시 확인해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

종속전원이 있는 회로는 반드시 제어변수(여기서는 I_x) 하나로 모든 마디전압과 가지전류를 표현한 뒤 KCL을 세운다. 인덕터·저항이 직렬로 이어진 가지는 전류가 같다는 점을 먼저 표시해 두면 변수 수를 줄일 수 있다. 최종식을 얻은 뒤에는 부분분수 분해로 각 극점에서의 계수를 대입법(원하는 극점을 0으로 만드는 s값 대입)으로 빠르게 구한다.

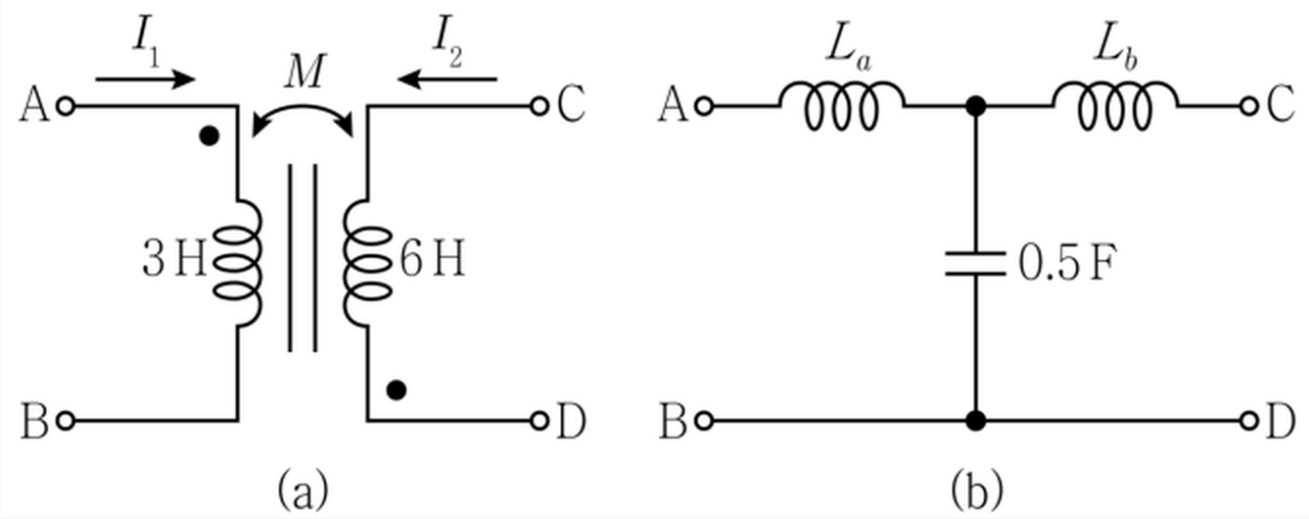
NoteBase

암기 포인트

인덕터의 라플라스 임피던스는 sL, 초기 에너지가 없을 때는 초기조건 항이 사라진다. 종속전압원은 독립적으로 값을 정할 수 없고 반드시 제어변수로 표현해 KCL/KVL에 대입해야 한다. 부분분수 분해 시 $\frac{100}{s(2s+5)}$ 꼴은 분모를 인수 그대로 둔 채 $s=0$ 대입으로 첫 계수를, 나머지는 계수비교로 구하면 빠르다.

NoteBase

문 20. 그림에서 (a)의 선형변압기 등가회로가 (b)의 T 등가회로로 대치될 수 있을 때, 상호 인덕턴스 M[H]은? (단, $\omega = 1$rad/s이다)



① -2

② 0.5

③ 2

④ 3

정답 3번

출제 포인트

결합된 두 코일(선형변압기)의 점 표시(dot) 위치를 보고 상호 인덕턴스 항의 부호를 정한 뒤, 이를 T형 등가회로의 소자값과 대응시키는 문제이다. 특히 이 문제는 T 등가회로의 공통 분기가 인덕터가 아니라 커패시터로 주어져 있으므로, 공통 분기의 값이 음(-)의 인덕턴스가 되는 경우를 다루어야 한다는 점이 핵심이다.

조건 정리

1차 코일의 자기인덕턴스는 $L_1 = 3$H, 2차 코일은 $L_2 = 6$H이고 각속도는 $\omega = 1$rad/s이다. (a)에서 점 표시는 1차 코일의 A쪽 단자와 2차 코일의 D쪽 단자에 찍혀 있다. 전류 I_1은 A단자로 들어가 코일을 지나 B로 흐르고(점 단자로 들어감), 전류 I_2는 C단자로 들어가 코일을 지나 D로 흐른다(비점 단자로 들어가 점 단자로 나감). 즉 두 전류 중 하나는 점 단자로 들어가고 다른 하나는 비점 단자로 들어가므로, 상호 인덕턴스 항은 서로 빼주는 부호(−M)를 가진다. (b)에서 T 등가회로는 A-C 사이에 직렬로 L_a, L_b가 놓이고, 그 가운데 접속점에서 B-D 공통선으로 정전용량 $C = 0.5$F인 커패시터가 연결되어 있다.

NoteBase

사용할 공식

점 표시가 서로 반대쪽(한 전류는 점으로 들어가고 다른 전류는 비점으로 들어감)일 때 결합 코일의 단자 방정식은 다음과 같다. $V_1 = j\omega L_1 I_1 - j\omega M I_2, \quad V_2 = -j\omega M I_1 + j\omega L_2 I_2$ 한편 그림 (b)의 T 등가회로에서 직렬 소자 L_a, L_b와 공통(분기) 소자 L_m에 대한 단자 방정식은
$V_1 = j\omega(L_a + L_m)I_1 + j\omega L_m I_2, \quad V_2 = j\omega L_m I_1 + j\omega(L_b + L_m)I_2$ 두 식을 계수별로 비교하면 $L_m = -M$, $L_a = L_1 + M, L_b = L_2 + M$의 관계를 얻는다. 즉 공통 분기의 소자값은 $-M$이 되고, 이 값이 음수이면 인덕터 대신 커패시터로 나타날 수 있다.

계산 과정

공통 분기가 정전용량 $C = 0.5$F인 커패시터이므로 이 분기의 임피던스는 $Z_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j \times 1 \times 0.5} = -j2$ 이다. 이 값은 공통 분기 소자값 $L_m = -M$에 대응하는 임피던스 $j\omega L_m$과 같아야 하므로
$j\omega L_m = -j2 \Rightarrow \omega L_m = -2 \Rightarrow L_m = -2 (\because \omega = 1)$ 그런데 $L_m = -M$이므로 $-M = -2 \Rightarrow M = 2$ 참고로 이때 직렬 소자는 $L_a = L_1 + M = 3 + 2 = 5$H, $L_b = L_2 + M = 6 + 2 = 8$H가 되어 모두 물리적으로 타당한 양의 인덕턴스 값을 가지므로 부호 설정이 일관됨을 확인할 수 있다.

선지 판단

① -2: 공통 분기 소자값 자체인 $L_m = -2$와 상호 인덕턴스 M을 혼동한 값이다. $L_m = -M$의 관계를 적용하지 않고 부호를 그대로 가져오면 나오는 오답이다. X
② 0.5: 커패시턴스 값 0.5F를 그대로 답으로 고른 값으로, 임피던스 변환 과정을 거치지 않은 오답이다. X
③ 2: 공통 분기의 임피던스 $-j2$를 $L_m = -2$로 환산하고, $L_m = -M$ 관계에서 $M = 2$로 바르게 도출한 값이다. O
④ 3: 1차 코일의 자기인덕턴스 $L_1 = 3$H를 그대로 답으로 고른 값으로, 문제에서 요구하는 상호 인덕턴스가 아니라 자기인덕턴스 값을 답한 오답이다. X

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 T 등가회로의 공통 분기 소자값을 상호 인덕턴스 M과 동일하다고 착각하는 것이다. 점 표시가 서로 반대쪽 단자에 있을 때는 공통 분기의 값이 M이 아니라 $-M$이 되므로, 커패시터의 임피던스에서 얻은 $L_m = -2$를 그대로 M으로 쓰면 부호가 뒤집혀 ①(-2)를 고르게 된다. 또한 커패시턴스 값 0.5F나 1차 코일의 인덕턴스 3H를 그대로 답으로 착각하지 않도록 주의해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

선형변압기가 T 등가회로로 주어지는 문제에서는 먼저 점 표시 위치와 전류 방향을 보고 상호 인덕턴스 항의 부호(+M 또는 −M)를 정한다. 그다음 T 등가회로의 직렬 소자는 $L_1 \pm M, L_2 \pm M$, 공통 분기 소자는 $\mp M$이 된다는 관계식을 세운다. 공통 분기가 인덕터가 아니라 커패시터로 주어지면, 그 임피던스 $1/(j\omega C)$를 공통 분기 소자의 임피던스 $j\omega L_m$과 등식으로 놓고 L_m을 구한 뒤, $L_m = \mp M$ 관계로 최종 M의 부호까지 확인한다.

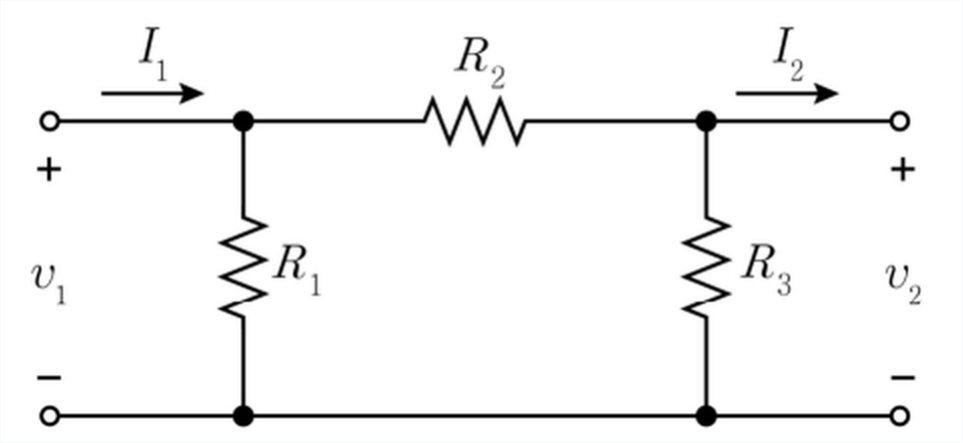
NoteBase

암기 포인트

점 표시가 서로 반대쪽 단자(한 전류는 점, 다른 전류는 비점으로 들어감)이면 T 등가회로의 공통 분기 소자는 $-M$, 직렬 소자는 $L_1 + M$, $L_2 + M$이 된다는 관계를 기억해 둔다. 공통 분기가 커패시터로 나타나면 그 소자값(음의 인덕턴스)이 실제로는 $-M$에 해당한다는 점, 즉 부호를 한 번 더 뒤집어야 M이 나온다는 점을 유의한다.

NoteBase

문 21. 그림과 같은 2포트 네트워크 회로를 전송(ABCD)파라미터로 나타낼 때 단락회로 전달 임피던스(B파라미터)는 10Ω이고, 개방회로 전달 어드미턴스(C파라미터)는 $2S$일 때, 단락회로 전류이득(D파라미터)이 6이 되도록 하는 저항 $R_3[\Omega]$는?



① 2

② 3

③ 4

④ 6

정답 3번

출제 포인트

입력단 병렬저항 R_1, 직렬저항 R_2, 출력단 병렬저항 R_3로 구성된 파이(π)형 2포트 저항망의 전송(ABCD)파라미터를 세우고, 주어진 B, C, D 값으로부터 R_1, R_2, R_3를 역산하는 문제이다.

조건 정리

회로는 입력단에 R_1이 병렬로, 두 노드 사이에 R_2가 직렬로, 출력단에 R_3가 병렬로 연결된 파이형 구조이다.
주어진 조건은 $B = 10\ \Omega$, $C = 2\ \mathrm{S}$, $D = 6$이며, 이를 만족하는 R_3를 구하는 것이 목표이다.

사용할 공식

파이형(π형) 저항망의 전송파라미터는 다음과 같다.

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_3}, \qquad B = R_2, \qquad C = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{R_2}{R_1 R_3}, \qquad D = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

NoteBase

계산 과정

먼저 $B = R_2 = 10\ \Omega$이다.
다음으로 $D = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 6$이므로 $\frac{R_2}{R_1} = 5$, 따라서 $R_1 = \frac{10}{5} = 2\ \Omega$이다.
마지막으로 $C = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{R_2}{R_1 R_3} = 2$에 $R_1 = 2,\ R_2 = 10$을 대입하면
$\frac{1}{2} + \frac{1}{R_3} + \frac{10}{2R_3} = 2$
$0.5 + \frac{6}{R_3} = 2$
$\frac{6}{R_3} = 1.5$
$R_3 = 4\ \Omega$

선지 판단

① 2 → 틀림. $R_3 = 2$를 대입하면 $C = 0.5 + 6/2 = 3.5$가 되어 조건(2S)을 만족하지 못한다.
② 3 → 틀림. $R_3 = 3$을 대입하면 $C = 0.5 + 6/3 = 2.5$가 되어 조건을 만족하지 못한다.
③ 4 → 옳음. 계산 과정에서 확인했듯이 $R_3 = 4\ \Omega$일 때 $C = 0.5 + 6/4 = 2$ S로 조건을 정확히 만족한다.
④ 6 → 틀림. $R_3 = 6$을 대입하면 $C = 0.5 + 6/6 = 1.5$가 되어 조건을 만족하지 못한다.

오답 포인트

B, C, D 세 조건을 동시에 만족시켜야 하는데, D 조건만으로 R_1을 먼저 구하지 않고 곧바로 C식에 미지수 두 개(R_1, R_3)를 남긴 채 풀면 값이 어긋나기 쉽다. 반드시 B로 R_2를, D로 R_1을 먼저 확정한 뒤 C식에 대입해 R_3를 구해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

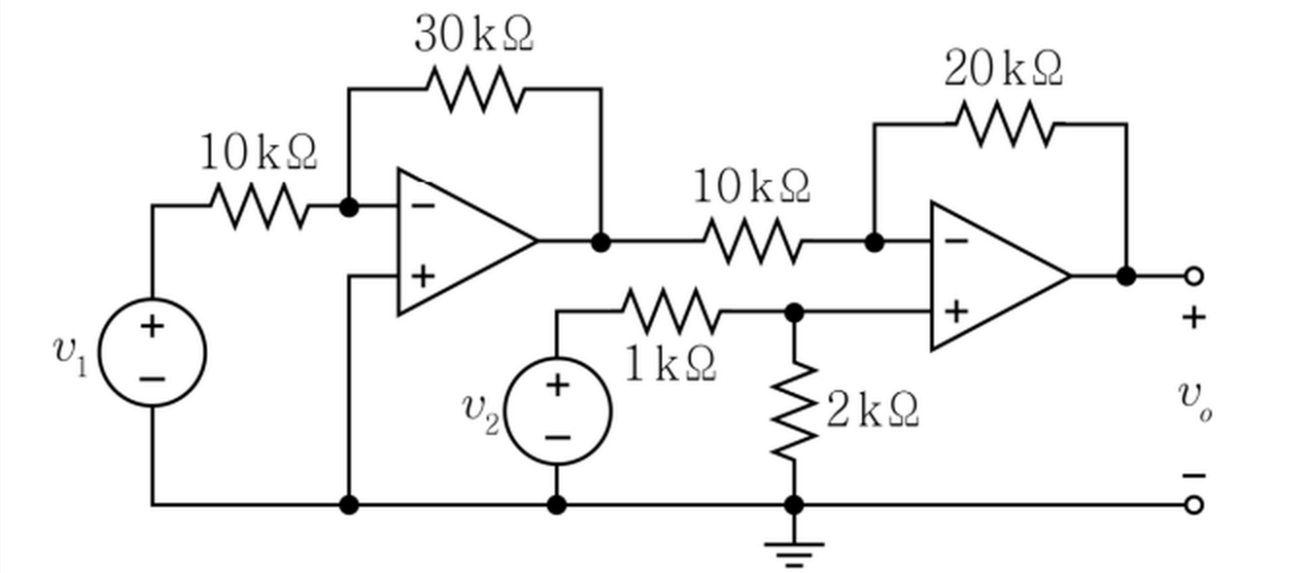
파이형 저항망 문제는 $B = R_2$(직렬저항 그 자체), $D = 1 + R_2/R_1$(입력측 병렬저항 포함), $A = 1 + R_2/R_3$(출력측 병렬저항 포함)로 구조가 단순하므로, B와 D를 먼저 이용해 R_1을 구하고 마지막으로 C식에서 R_3를 구하는 순서로 접근한다.

암기 포인트

파이형 2포트망 전송파라미터: $A = 1 + R_2/R_3,\ B = R_2,\ C = 1/R_1 + 1/R_3 + R_2/(R_1 R_3),\ D = 1 + R_2/R_1$. B는 직렬저항 자체이고, D는 입력측 병렬저항, A는 출력측 병렬저항과 관련됨을 기억해 둔다.

NoteBase

문 22. 이상적인 연산증폭기를 사용한 다음 회로에서 전압 $v_1[V]$과 $v_2[V]$가 인가되는 경우의 출력전압 $v_o[V]$는?



① $2v_1 + 4v_2$

② $2v_1 + 6v_2$

③ $4v_1 + 2v_2$

④ $6v_1 + 2v_2$

정답 4번

출제 포인트

이상적 연산증폭기 2단이 종속으로 연결된 회로에서 각 단의 전달함수를 순서대로 구해 최종 출력전압을 v1과 v2의 선형결합으로 나타낼 수 있는지를 묻는다. 1단은 비반전입력이 접지된 반전증폭기이고, 2단은 비반전입력에 전압분배가 걸린 차동 구조이다.

조건 정리

1단: v1이 10kΩ을 통해 반전입력에 인가되고 30kΩ이 궤환되며, 비반전입력은 접지(0V)되어 있으므로 일반적인 반전증폭기이다.
1단 출력 vo1은 10kΩ을 통해 2단의 반전입력으로 들어가고 2단은 20kΩ이 궤환된다.
2단 비반전입력은 v2가 1kΩ을 거치고 접지가 2kΩ을 거쳐 만나는 지점, 즉 1kΩ과 2kΩ의 전압분배 지점에 연결된다.
이상적 연산증폭기이므로 두 입력단자의 전압은 같고(가상단락), 입력단자로 흐르는 전류는 없다(가상개방).

NoteBase

사용할 공식

반전증폭기 이득: $v_{o1} = -\frac{R_f}{R_{in}} v_1$
전압분배: $v_+ = v_2 \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3}$
2단 반전입력 노드의 KCL(가상단락으로 $v_- = v_+$ 대입): $\frac{v_{o1} - v_-}{10\text{k}} = \frac{v_- - v_o}{20\text{k}}$

계산 과정

1단(반전증폭기): 궤환저항 30kΩ, 입력저항 10kΩ이므로 $v_{o1} = -\frac{30\text{k}}{10\text{k}} v_1 = -3v_1$

2단 비반전입력 전압(1kΩ, 2kΩ 전압분배): $v_+ = v_2 \cdot \frac{2\text{k}}{1\text{k} + 2\text{k}} = \frac{2}{3} v_2$
가상단락에 의해 $v_- = v_+ = \frac{2}{3} v_2$

2단 반전입력 노드 KCL: $\frac{v_{o1} - v_-}{10\text{k}} = \frac{v_- - v_o}{20\text{k}}$
양변에 20k를 곱하면 $2(v_{o1} - v_-) = v_- - v_o$
정리하면 $v_o = 3v_- - 2v_{o1}$

값을 대입하면 $v_o = 3 \cdot \frac{2}{3} v_2 - 2 \cdot (-3v_1) = 2v_2 + 6v_1 = 6v_1 + 2v_2$

선지 판단

① 2v1+4v2 → X, 1단 반전증폭기의 이득 크기(3배)와 2단 전압분배 비율(1/3)을 모두 잘못 적용한 값이다.
② 2v1+6v2 → X, v1 항의 계수가 1단 이득 3배를 반영하지 못했고 v2 항도 전압분배 비율을 거꾸로 적용한 값이다.
③ 4v1+2v2 → X, v2 항의 계수는 맞지만 v1 항의 계수가 1단 이득(-3배)과 2단 궤환비(2배)의 곱을 정확히 반영하지 못한 값이다.
④ 6v1+2v2 → O, 1단에서 $v_{o1} = -3v_1$을 구하고 2단 KCL로 $v_o = 3v_- - 2v_{o1}$을 세워 대입한 결과와 정확히 일치한다.

오답 포인트

1단 반전증폭기의 출력 부호(음수)를 놓치고 2단 식에 그대로 양수로 대입하면 v1 항의 부호나 계수가 틀어진다. 2단 비반전입력의 전압분배를 1kΩ과 2kΩ 중 어느 쪽이 분자인지 헷갈리면 v2 계수가 뒤바뀐다(2/3 대신 1/3로 계산하는 실수). 2단 KCL을 세울 때 궤환저항과 입력저항의 위치를 반대로 놓으면 v1, v2 계수가 모두 어긋난다.

다시 나오면 이렇게 판단

다단으로 연결된 연산증폭기 회로는 뒤에서부터 거꾸로 풀지 않고 앞단부터 순서대로 출력전압을 구한 뒤 그 값을 다음 단의 입력으로 대입한다. 어느 단이든 비반전입력에 전압분배가 걸려 있으면 그 값을 먼저 구해 가상단락으로 반전입력 전압으로 사용하고, 이어서 반전입력 노드에서 KCL을 세워 출력전압을 구한다.

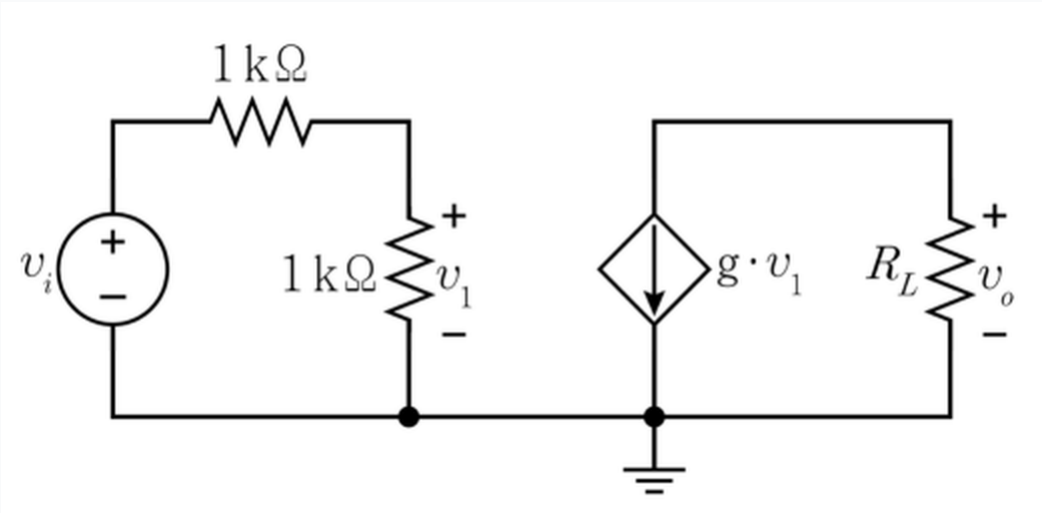
NoteBase

암기 포인트

반전증폭기 이득은 $-R_f/R_{in}$이다. 전압분배는 구하려는 지점에 연결된 저항을 분자로 놓는다(v2 쪽 회로에서는 접지 쪽 2kΩ이 분자). 비반전입력에 전압분배가 있는 2단 구조는 가상단락으로 V- 값을 먼저 확정한 뒤 반전입력 노드 KCL로 최종 출력을 구한다.

NoteBase

문 23. 다음 회로에서 $R_L = 5\text{k}\Omega$일 때 $\frac{v_o}{v_i} = -50$이 되기 위한 $g[S]$는?



① $\frac{1}{25}$

② $\frac{1}{50}$

③ $\frac{1}{75}$

④ $\frac{1}{100}$

정답 2번

출제 포인트

종속전류원을 포함한 2단 회로에서 전압 이득 v_o/v_i를 구하는 문제이다. 좌측 회로에서 제어전압 v_1을 먼저 구하고, 우측 회로에서 종속전류원 $g \cdot v_1$과 부하저항 R_L에 대한 KCL로 v_o를 구한 뒤 두 식을 결합해 g를 계산한다.

조건 정리

좌측 회로는 전압원 v_i에 1kΩ 저항과 1kΩ 저항(양단전압 v_1, 접지)이 직렬로 연결된 단순 전압분배 회로이며, v_1 노드는 다른 곳과 연결되지 않으므로 전류가 흐르지 않는 순수 제어전압이다. 우측 회로는 종속전류원 $g \cdot v_1$(위에서 아래로 흐름)과 R_L이 같은 두 노드(위쪽 노드, 접지) 사이에 병렬로 연결되어 있고, 위쪽 노드의 전압이 곧 v_o이다. $R_L = 5\text{k}\Omega$이고 목표값은 $v_o/v_i = -50$이다.

사용할 공식

전압분배: $v_1 = v_i \cdot \frac{1\text{k}}{1\text{k}+1\text{k}} = \frac{v_i}{2}$. 우측 노드에서 KCL(위쪽 노드에서 나가는 전류의 합은 0): $\frac{v_o}{R_L} + g v_1 = 0$, 즉 $v_o = -g R_L v_1$.

NoteBase

계산 과정

$v_1 = v_i/2$를 $v_o = -gR_L v_1$에 대입하면 $v_o = -gR_L \cdot \frac{v_i}{2}$이므로 $\frac{v_o}{v_i} = -\frac{gR_L}{2}$이다. 문제 조건 $v_o/v_i = -50$과 $R_L = 5{,}000\Omega$을 대입하면 $-50 = -\frac{g \cdot 5000}{2} = -2500g$이므로 $g = \frac{50}{2500} = \frac{1}{50}$이다.

선지 판단

① 1/25 — X, $g = 1/25$이면 $v_o/v_i = -(1/25) \cdot 5000/2 = -100$이 되어 조건과 다르다.
② 1/50 — O, 계산 과정에서 도출한 값과 정확히 일치한다.
③ 1/75 — X, $g = 1/75$이면 $v_o/v_i \approx -33.3$이 되어 조건과 다르다.
④ 1/100 — X, $g = 1/100$이면 $v_o/v_i = -25$가 되어 조건과 다르다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 v_1을 v_i와 같다고 두는 것인데, 실제로는 두 개의 $1\text{k}\Omega$ 저항이 전압을 절반으로 나누므로 $v_1 = v_i/2$이다. 또한 종속전류원의 화살표 방향(위에서 아래로)을 무시하고 부호를 반대로 적용하면 v_o/v_i의 부호가 틀어져 음수 조건을 만족시키지 못한다.

다시 나오면 이렇게 판단

두 회로가 제어변수만으로 연결된 구조(캐스케이드형 종속원 회로)에서는 좌측에서 제어전압(또는 제어전류)을 먼저 구하고, 우측 노드에서 종속원과 부하저항에 대한 KCL 한 줄로 출력을 구한 뒤 두 식을 결합하는 순서로 접근한다.

암기 포인트

전압분배 공식 $v_1 = v_i \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$와, 종속전류원·부하저항이 같은 두 노드 사이에 병렬로 있을 때의 KCL 관계식 $v_o = -gR_L v_1$을 함께 기억해 둔다.

NoteBase

문 24. 어떤 선형시스템의 입력이 $x(t) = e^{-t}u(t)$이고, 출력이 $y(t) = 10e^{-t}\cos 4tu(t)$일 때, 이 시스템의 임펄스응답 $h(t)$는? (단, $u(t)$는 단위계단함수이다)

① $10\delta(t) - 40e^{-t}\sin 4tu(t)$

② $10\delta(t) - 4e^{-2t}\cos 4tu(t)$

③ $\delta(t) - 10e^{-2t}\cos 4tu(t)$

④ $\delta(t) - 10e^{-t}\sin 4tu(t)$

정답 1번

출제 포인트

선형시스템의 입력과 출력이 시간영역 함수로 주어졌을 때, 라플라스 변환을 이용해 전달함수 $H(s) = Y(s)/X(s)$를 구하고 이를 다시 시간영역으로 역변환해 임펄스응답 $h(t)$를 구하는 문제이다. 감쇠 정현파의 라플라스 변환식과 부분분수 정리, 특히 분자 차수가 분모 차수와 같을 때의 처리 방법을 함께 묻는다.

조건 정리

입력은 $x(t) = e^{-t}u(t)$, 출력은 $y(t) = 10e^{-t}\cos 4tu(t)$이다. 선형시불변시스템에서 전달함수는 입력과 출력의 라플라스 변환의 비로 정의되므로 $H(s) = Y(s)/X(s)$를 구한 뒤 역라플라스 변환하면 임펄스응답을 얻는다.

사용할 공식

지수함수의 라플라스 변환은 $\mathcal{L}\{e^{-at}u(t)\} = \frac{1}{s+a}$이고, 감쇠 코사인의 라플라스 변환은 $\mathcal{L}\{e^{-at}\cos \omega tu(t)\} = \frac{s+a}{(s+a)^2+\omega^2}$이다. 감쇠 사인의 변환은 $\mathcal{L}\{e^{-at}\sin \omega tu(t)\} = \frac{\omega}{(s+a)^2+\omega^2}$이며, 임펄스함수의 변환은 $\mathcal{L}\{\delta(t)\} = 1$이다.

계산 과정

먼저 입력과 출력을 라플라스 변환한다. $X(s) = \frac{1}{s+1}$이고, $Y(s) = \frac{10(s+1)}{(s+1)^2+16}$이다$(a = 1,\ \omega = 4)$.
전달함수는 $H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{10(s+1)}{(s+1)^2+16} \times (s+1) = \frac{10(s+1)^2}{(s+1)^2+16}$이다.
분자와 분모의 $(s+1)^2$ 차수가 같으므로 분자를 분모로 나누어 정리한다. $(s+1)^2 = \{(s+1)^2+16\} - 16$이므로,
$H(s) = 10\left[1 - \frac{16}{(s+1)^2+16}\right] = 10 - \frac{160}{(s+1)^2+16}$이다.
이를 역라플라스 변환한다. 상수항 10은 $10\delta(t)$로 변환되고, $\frac{160}{(s+1)^2+16} = 40 \times \frac{4}{(s+1)^2+4^2}$이므로 $40e^{-t}\sin 4tu(t)$로 변환된다.
따라서 $h(t) = 10\delta(t) - 40e^{-t}\sin 4tu(t)$이다.

NoteBase

선지 판단

① $10\delta(t) - 40e^{-t}\sin 4tu(t)$: 계산 결과와 정확히 일치한다. 옳다.
② $10\delta(t) - 4e^{-2t}\cos 4tu(t)$: 지수 감쇠율이 e^{-2t}로 잘못되어 있고 계수와 함수 형태(코사인)도 계산 결과와 다르다. 틀린 표현 → 올바른 표현은 $-40e^{-t}\sin 4tu(t)$이다.
③ $\delta(t) - 10e^{-2t}\cos 4tu(t)$: 임펄스항의 계수 10이 빠져 있고, 지수 감쇠율과 함수 형태도 맞지 않는다. 틀린 표현 → 올바른 표현은 $10\delta(t) - 40e^{-t}\sin 4tu(t)$이다.
④ $\delta(t) - 10e^{-t}\sin 4tu(t)$: 함수 형태(사인)와 지수 감쇠율은 맞지만 임펄스항 계수(10 누락)와 사인항 계수(40이 아닌 10)가 틀렸다. 틀린 표현 → 올바른 표현은 $10\delta(t) - 40e^{-t}\sin 4tu(t)$이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 분자와 분모의 차수가 같은 유리함수를 역라플라스 변환할 때 나눗셈을 생략하고 바로 부분분수로 접근하는 경우이다. $H(s) = 10(s+1)^2/\{(s+1)^2 + 16\}$처럼 분자·분모 차수가 같으면 반드시 몫(상수항)과 나머지로 나눈 뒤 변환해야 하며, 이 몫이 곧 임펄스함수 항으로 나타난다. 이 나눗셈을 빠뜨리면 임펄스항이 통째로 사라지거나 계수를 잘못 구하게 된다.

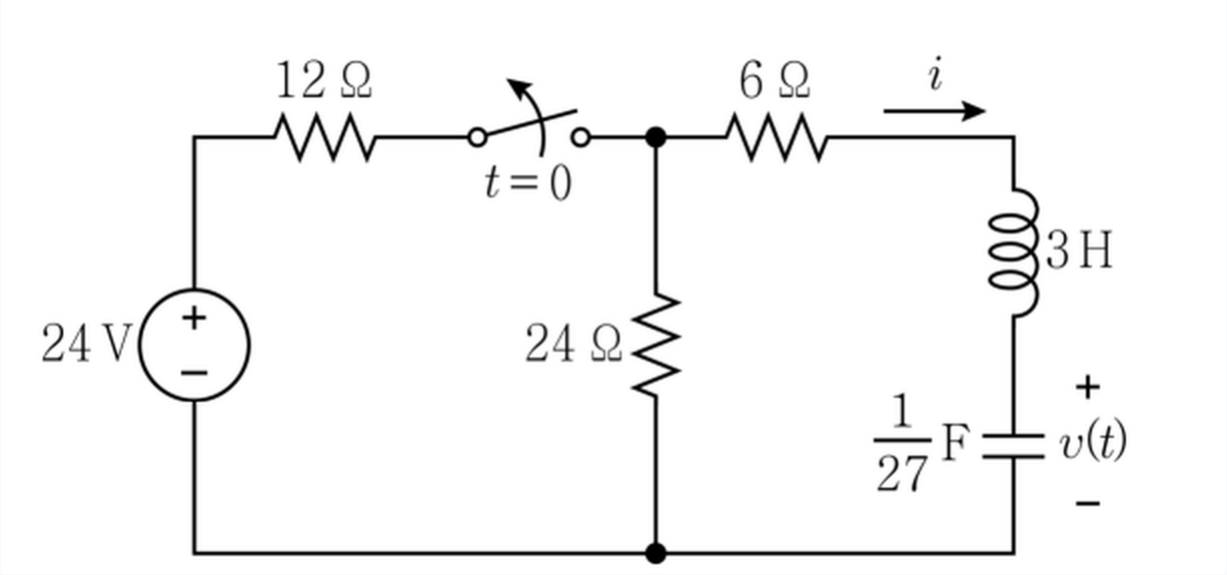
다시 나오면 이렇게 판단

입력과 출력이 시간영역 함수로 주어지고 임펄스응답을 구하라고 하면, 먼저 두 함수를 라플라스 변환해 $H(s) = Y(s)/X(s)$를 세운다. 그 다음 분자·분모의 최고차항 차수를 비교해 같으면 나눗셈으로 상수항을 분리하고, 남은 진분수를 감쇠 사인·코사인 표준형으로 정리해 역변환한다. 상수항이 나오면 반드시 임펄스함수 $\delta(t)$로 대응시킨다.

암기 포인트

$\mathcal{L}\{e^{-at}\cos \omega tu(t)\} = (s+a)/\{(s+a)^2 + \omega^2\}$, $\mathcal{L}\{e^{-at}\sin \omega tu(t)\} = \omega/\{(s+a)^2 + \omega^2\}$, $\mathcal{L}\{\delta(t)\} = 1$을 기억해 둔다. 분자·분모 차수가 같은 유리함수는 나눗셈으로 상수항을 먼저 분리한 뒤 역변환한다는 절차도 함께 외워 둔다.

문 25. 다음 회로에서 $t < 0$ 구간에 스위치는 닫혀서 정상상태를 유지하다가, $t = 0$인 시점에 순간적으로 스위치가 개방되었다. $t > 0$ 구간에서, 전압 $v(t)$ [V]는?



① $18e^{-t} - 2e^{-9t}$

② $2e^{-t} - 18e^{-9t}$

③ $-2e^{-t} + 18e^{-9t}$

④ $-18e^{-t} + 2e^{-9t}$

정답 1번

출제 포인트

스위치 개폐로 회로 구조가 바뀌는 2차 RLC 회로의 완전응답 문제이다. t<0 정상상태에서 초기조건(커패시터 전압, 인덕터 전류)을 구하고, t>0 회로의 미분방정식에서 특성근을 구한 뒤, 초기조건으로 계수를 결정해 v(t)를 완성하는 능력을 묻는다.

조건 정리

t<0: 스위치가 닫혀 있고 정상상태이므로 인덕터는 단락, 커패시터는 개방으로 본다. 커패시터가 직렬로 낀 6Ω-3H-1/27F 가지는 직류가 흐를 수 없으므로 이 가지의 전류는 0이다. 따라서 24V 전원은 12Ω과 24Ω만으로 이루어진 루프에만 전류를 흘린다.
t=0에서 스위치가 개방되어 24V 전원과 12Ω 가지가 회로에서 완전히 분리된다. t>0 구간은 외부 전원이 없는 상태에서 24Ω 저항과 (6Ω-3H-1/27F) 직렬 가지가 한 노드와 접지 사이에 서로 병렬로 물려 있는 무원(source-free) 회로가 된다.

NoteBase

사용할 공식

커패시터 전압의 연속성: $v(0^+) = v(0^-)$.
인덕터 전류의 연속성: $i_L(0^+) = i_L(0^-)$.
커패시터 전류-전압 관계: $i = C\frac{dv}{dt}$.
인덕터 양단 전압: $v_L = L\frac{di}{dt}$.
2차 선형 상미분방정식의 일반해: 특성방정식이 서로 다른 두 실근 s_1, s_2를 가지면 $v(t) = Ae^{s_1 t} + Be^{s_2 t}$이고, 계수 A, B는 $v(0)$와 $v'(0)$로 결정한다.

계산 과정

1) t=0⁻ 초기값: 12Ω과 24Ω의 직렬 루프에서 전류는 $I = \frac{24}{12+24} = \frac{2}{3}$A이고, 24Ω 양단(노드 전압)은 $\frac{2}{3} \times 24 = 16$V이다. 6Ω-3H-1/27F 가지에는 전류가 흐르지 않으므로 6Ω과 인덕터에서 전압강하가 없고, 커패시터 전압은 노드 전압과 같다. 따라서 $v(0^-) = 16$V, $i_L(0^-) = 0$이다.

2) 연속성에 의해 $v(0^+) = 16$V, $i_L(0^+) = 0$. 인덕터와 커패시터가 같은 가지에 직렬로 있으므로 이 가지의 전류는 인덕터 전류와 항상 같고, 그 전류가 곧 커패시터 전류이다. 따라서 $i_C(0^+) = i_L(0^+) = 0$이고, $v'(0^+) = \frac{i_C(0^+)}{C} = 0$.

3) t>0 회로 방정식: 가지 전류를 i(노드에서 6Ω 쪽으로 흐르는 방향)라 하면, 노드에는 24Ω으로 흐르는 전류와 i가 서로 반대 방향으로 순환하므로 노드 전압은 $v_n = -24i$이면서 동시에 $v_n = 6i + 3\frac{di}{dt} + v$이다. 두 식을 같게 놓으면 $3\frac{di}{dt} + 30i + v = 0$, 즉 $\frac{di}{dt} + 10i + \frac{v}{3} = 0$이다. 여기에 $i = \frac{1}{27}\frac{dv}{dt}$를 대입하면 $\frac{1}{27}\frac{d^2v}{dt^2} + \frac{10}{27}\frac{dv}{dt} + \frac{v}{3} = 0$이 되고, 양변에 27을 곱하면 $\frac{d^2v}{dt^2} + 10\frac{dv}{dt} + 9v = 0$을 얻는다.

4) 특성방정식 $s^2 + 10s + 9 = 0$을 인수분해하면 $(s+1)(s+9) = 0$이므로 $s_1 = -1, s_2 = -9$이다. 따라서 $v(t) = Ae^{-t} + Be^{-9t}$로 둔다.

5) 초기조건 대입: $v(0) = A + B = 16$, $v'(t) = -Ae^{-t} - 9Be^{-9t}$이므로 $v'(0) = -A - 9B = 0$, 즉 $A = -9B$. 이를 $A + B = 16$에 대입하면 $-9B + B = 16 \Rightarrow -8B = 16 \Rightarrow B = -2, A = 18$.

6) 따라서 $v(t) = 18e^{-t} - 2e^{-9t}$이다.

NoteBase

선지 판단

① 18e^{-t}-2e^{-9t}: 계산 결과와 정확히 일치한다(O).
② 2e^{-t}-18e^{-9t}: 계수 A, B의 값이 서로 뒤바뀌었다. $v(0) = 2 - 18 = -16$이 되어 초기값 16V와 부호가 맞지 않는다(X).
③ -2e^{-t}+18e^{-9t}: $v(0) = -2 + 18 = 16$으로 초기값은 맞지만 $v'(0) = 2 - 162 = -160 \neq 0$이 되어 초기 기울기 조건을 만족하지 못한다(X).
④ -18e^{-t}+2e^{-9t}: $v(0) = -18 + 2 = -16$으로 초기값 16V와 부호가 반대이다(X).

오답 포인트

이 문제에서 자주 하는 실수는 두 가지이다. 첫째, $t=0^-$ 정상상태에서 커패시터를 개방으로 보지 않고 전류가 흐르는 것으로 착각해 초기전압 16V를 잘못 구하는 경우이다. 둘째, $v(0) = A + B$ 조건만 맞추고 $v'(0) = 0$ 조건(인덕터 전류 연속성에서 나오는 조건)을 확인하지 않아 A와 B의 부호나 크기를 서로 바꿔 쓰는 경우이다. 두 조건을 모두 사용해야 정확한 A, B를 얻을 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

스위치 개폐형 2차 회로 문제는 항상 다음 순서로 접근한다. 먼저 t<0 정상상태에서 인덕터는 단락, 커패시터는 개방으로 보고 초기 전압·전류를 구한다. 다음으로 t>0 회로에서 KVL/KCL로 2차 미분방정식을 세워 특성근을 구한다. 마지막으로 v(0)과 v'(0)(또는 필요시 i(0))의 두 초기조건으로 계수를 결정한다. 답이 지수함수의 조합으로 주어지는 보기가 여러 개일 때는 계수의 부호와 크기를 초기조건 두 개로 반드시 교차 검증한다.

암기 포인트

직류 정상상태: 인덕터=단락(전압 0), 커패시터=개방(전류 0). 커패시터 전압과 인덕터 전류는 스위칭 순간에도 연속이다(값이 순간적으로 바뀌지 않는다). 직렬 RLC의 특성방정식은 $s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC}$ 형태(등가회로에 따라 계수는 달라질 수 있음)이며, 서로 다른 두 실근이면 응답은 $Ae^{s_1 t} + Be^{s_2 t}$ 꼴의 과제동(overdamped) 응답이 된다.

NoteBase