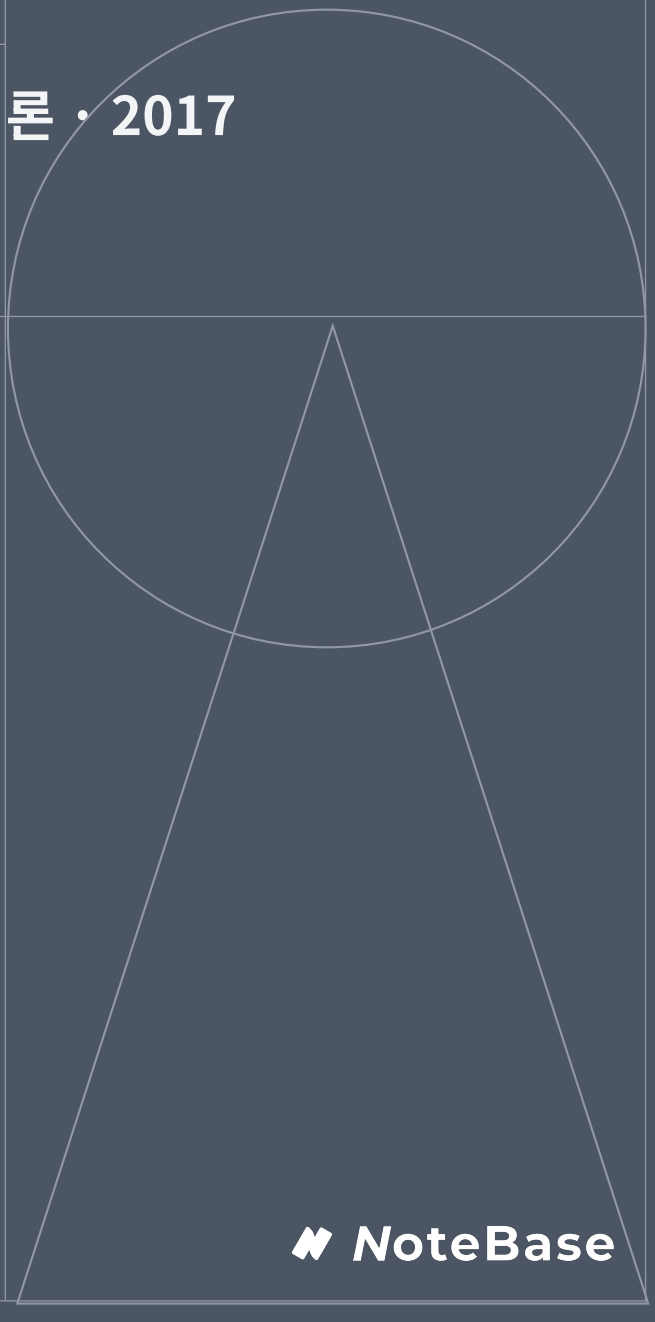
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 회로이론 · 2017



NoteBase

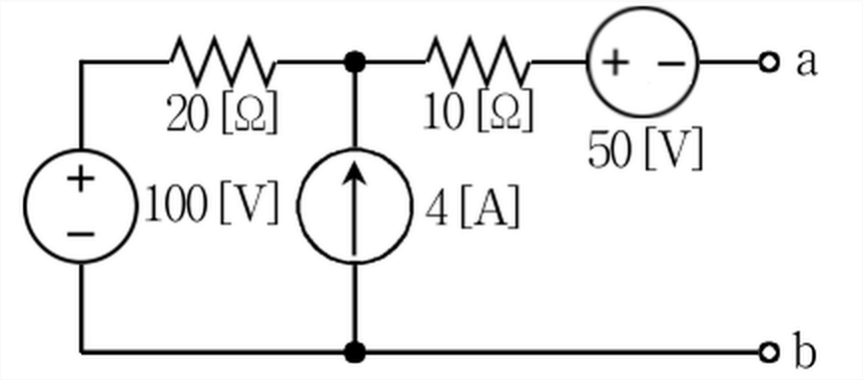
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 회로이론 · 2017

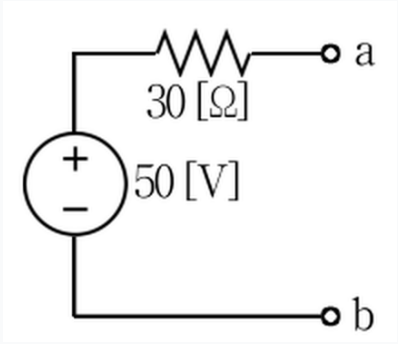
공무원/국가직/7급 · 회로이론 · 2017

NoteBase

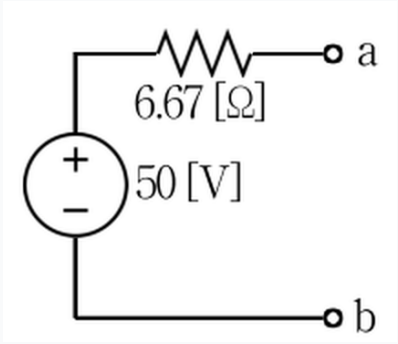
문 1. 다음 회로를 테브난 등가회로로 표현한 것은?



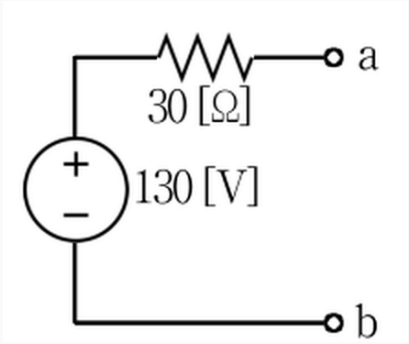
①



②

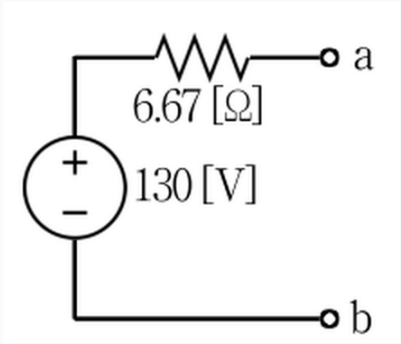


③



NoteBase

④



정답 3번

출제 포인트

복합 전원(전압원 1개, 전류원 1개, 전압원 1개)이 섞인 회로에서 개방단자 a-b에 대한 테브난 등가전압 V_{th}와 등가저항 R_{th}를 구하는 문제이다. 핵심은 단자 a로 이어지는 마지막 가지(10[Ω]과 50[V] 전압원)가 개방 상태에서는 전류가 흐르지 않는 막다른 가지라는 점을 알아채는 것이다.

조건 정리

b를 기준(0[V])으로 잡는다. 100[V] 전압원의 +단자를 P라 하면 $V_P = 100[V]$이고, P는 20[Ω]을 통해 중간 노드 N에 연결된다. 4[A] 전류원은 b에서 N 방향으로 전류를 주입한다. N은 10[Ω]을 통해 노드 Q에 연결되고, Q에서 50[V] 전압원(+가 Q쪽, -가 a쪽)을 지나 단자 a로 이어진다. a-b는 개방(무부하) 상태이므로 a로는 외부 전류가 흐르지 않는다.

사용할 공식

테브난 전압: 단자 개방 시 $V_{th} = V_a - V_b$를 노드해석(KCL)으로 구한다. 테브난 저항: 모든 독립전원을 죽인 뒤(전압원→단락, 전류원→개방) 단자 a-b에서 바라본 등가저항을 구한다.

계산 과정

1) 단자 a가 개방이므로 Q-a 사이의 50[V] 전압원 가지와 N-Q 사이의 10[Ω]은 막다른 가지이며 전류가 흐르지 않는다. 따라서 10[Ω] 양단 전압강하가 0이 되어 $V_Q = V_N$이고, $V_a = V_Q - 50 = V_N - 50$이다.
2) 노드 N에서 KCL을 세운다. 10[Ω] 가지로는 전류가 안 나가므로, 20[Ω]을 통해 들어오는 전류와 4[A] 전류원이 주입하는 전류의 합이 0이 되어야 한다: $\frac{V_P - V_N}{20} + 4 = 0$.
3) $V_P = 100$이므로 $\frac{100 - V_N}{20} = -4 \Rightarrow 100 - V_N = -80 \Rightarrow V_N = 180[V]$.
4) $V_a = V_N - 50 = 180 - 50 = 130[V]$. b는 0[V]이므로 $V_{th} = 130[V]$.
5) 저항을 구하기 위해 전원을 모두 죽인다: 100[V] 전압원은 단락, 4[A] 전류원은 개방. 전류원이 개방되면 그 가지는 사라지고, 100[V] 전압원이 단락되면 P와 b가 같은 점이 되어 20[Ω]은 N과 b 사이에 직접 연결된 형태가 된다. 단자 a에서 보면 a-(50[V] 전압원 내부저항 0)-Q-10[Ω]-N-20[Ω]-b 순서로 직렬 연결만 남는다.
6) $R_{th} = 10 + 20 = 30[\Omega]$.

NoteBase

선지 판단

① 30[Ω], 50[V]: 저항값은 맞지만 전압원 값이 130[V]가 아닌 50[V]로 잘못되어 있다 → X
② 6.67[Ω], 50[V]: 저항값과 전압원 값이 모두 계산값(30[Ω], 130[V])과 다르다 → X
③ 30[Ω], 130[V]: $R_{th} = 30[\Omega]$, $V_{th} = 130[V]$로 계산 결과와 정확히 일치한다 → O
④ 6.67[Ω], 130[V]: 전압원 값은 맞지만 저항값이 6.67[Ω]로 잘못되어 있다(6.67은 20과 10을 병렬로 착각했을 때 나오는 값이다) → X

오답 포인트

가장 흔한 실수는 20[Ω]과 10[Ω]을 무조건 직렬 또는 병렬로 단순 합산하는 것이다. 이 회로는 저항의 연결 형태를 겉모습만으로 판단하면 안 되고, 단자 a가 개방되어 마지막 가지(10[Ω]과 50[V] 전압원)에 전류가 흐르지 않는다는 사실을 먼저 확인해야 한다. 이를 놓치면 전압 계산에서 130[V] 대신 50[V]나 다른 값을 얻게 되고, 저항 계산에서도 20과 10을 병렬로 잘못 묶어 6.67[Ω]이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

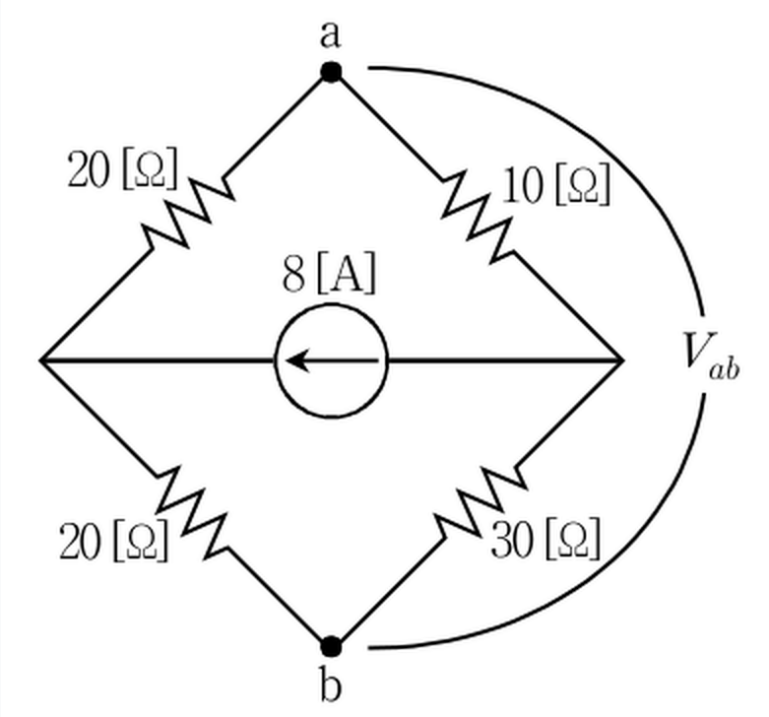
복합 전원 회로의 테브난 등가를 구할 때는 먼저 단자가 개방된 상태에서 실제로 전류가 흐르는 경로와 흐르지 않는 막다른 가지를 구분한다. 전류가 안 흐르는 가지의 저항에는 전압강하가 없으므로 그 양 끝 노드의 전위가 같다는 점을 이용해 전압원 값을 그대로 더하거나 뺄 수 있다. 저항을 구할 때는 전압원은 단락, 전류원은 개방으로 바꾼 뒤 단자에서 바라본 경로만 남겨 직렬·병렬을 다시 판단한다.

암기 포인트

테브난 전압은 개방단자 조건에서 전류가 흐르지 않는 가지를 먼저 찾아내는 것이 핵심이고, 테브난 저항은 전압원 단락·전류원 개방 후 단자에서 본 등가저항이다. 이 문제의 정답 값은 $V_{th} = 130[V]$, $R_{th} = 30[\Omega]$이다.

NoteBase

문 2. 다음 회로에서 노드 a와 노드 b 간의 양단 전압 V_{ab}[V]는?



① -10

② 10

③ 15

④ -40

정답 4번

출제 포인트

브리지 형태로 배치된 저항망에서 다른 전원 없이 전류원 하나만 존재할 때, 그 전류가 두 병렬 경로로 나뉘어 흐르는 상황을 분석하는 문제이다. 노드 a와 노드 b는 각각 저항 두 개가 만나는 지점일 뿐 다른 곳으로 전류가 빠져나가는 통로가 없다는 점(전압 표시를 위한 호는 실제 도선이 아니라 전압을 측정하는 지점을 나타낼 뿐이다)을 알아채는 것이 핵심이다.

조건 정리

회로 좌측의 내부 노드를 L, 우측의 내부 노드를 R이라 하면, a는 L과 20Ω, R과 10Ω으로 연결되어 있어 L-a-R 경로의 저항 합은 30Ω이다. b는 L과 20Ω, R과 30Ω으로 연결되어 있어 L-b-R 경로의 저항 합은 50Ω이다. L과 R 사이에는 8A 전류원이 있고 화살표가 L 쪽을 향하므로, 전류원 내부로는 R에서 L 방향으로 8A가 흐르고, 이를 보상하기 위해 외부 저항망으로는 L에서 R 방향으로 8A가 순환한다.

NoteBase

사용할 공식

두 저항 경로(30Ω, 50Ω)가 L과 R 사이에 병렬로 연결되어 같은 전류원의 전류를 나누어 받으므로, 두 경로의 전압강하는 서로 같다. $V_{LR} = I_1 R_1 = I_2 R_2, \quad I_1 + I_2 = I_{source}$

계산 과정

L과 R 사이의 전압을 V_{LR}이라 하면 $I_1 = \frac{V_{LR}}{30}$, $I_2 = \frac{V_{LR}}{50}$이고 $I_1 + I_2 = 8$이므로
$V_{LR}\left(\frac{1}{30} + \frac{1}{50}\right) = 8$
$\frac{1}{30} + \frac{1}{50} = \frac{5+3}{150} = \frac{8}{150}$
$V_{LR} \cdot \frac{8}{150} = 8 \Rightarrow V_{LR} = 150[\mathrm{V}]$
$I_1 = \frac{150}{30} = 5[\mathrm{A}], \quad I_2 = \frac{150}{50} = 3[\mathrm{A}]$
L의 전위를 0V로 두면, 경로1(20Ω)을 따라 $V_a = 0 - I_1 \times 20 = 0 - 5 \times 20 = -100[\mathrm{V}]$이고, 경로2(20Ω)를 따라 $V_b = 0 - I_2 \times 20 = 0 - 3 \times 20 = -60[\mathrm{V}]$이다.
따라서 $V_{ab} = V_a - V_b = -100 - (-60) = -40[\mathrm{V}]$이다.

선지 판단

① -10: 두 경로의 저항비를 병렬 전류 분배가 아닌 다른 방식으로 조합해 나온 값으로, 실제 계산 결과와 다르다.
② 10: 부호와 크기를 모두 잘못 산출한 값이다.
③ 15: 전류원의 전류를 단순 비율로 잘못 배분했을 때 나올 수 있는 값으로, 노드 a, b의 실제 전위차와 다르다.
④ -40: 두 병렬 경로(30Ω, 50Ω)에 흐르는 전류를 정확히 구하고 L 기준으로 a, b의 전위를 계산하면 나오는 값과 일치한다.

오답 포인트

노드 a와 b가 저항 두 개만 만나는 통과점이라는 사실을 놓치면 KCL을 세우지 못해 엉뚱한 등가회로를 만들게 된다. 또한 전류원 화살표가 가리키는 방향(전류가 흘러 들어가는 방향)을 반대로 해석하면 V_a, V_b의 부호가 통째로 뒤집혀 -40 대신 +40 계열의 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

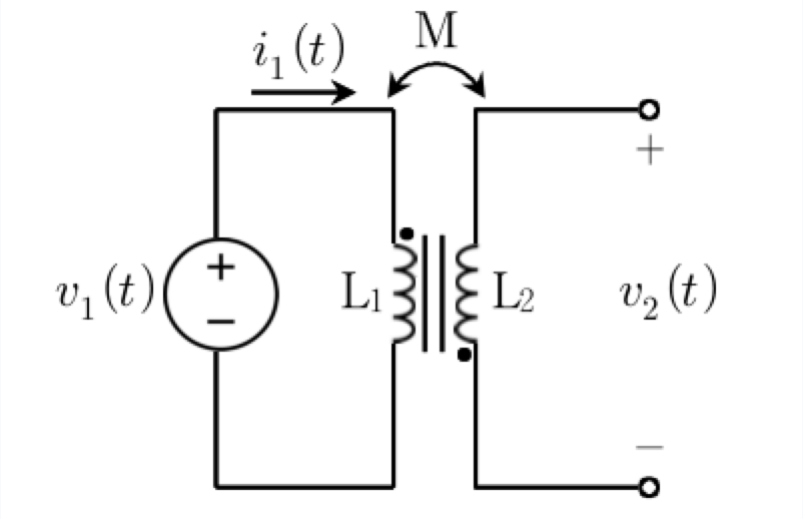
브리지 모양의 저항망이라도 중간에 다른 전압원 없이 전류원 하나만 걸려 있다면, 전류원의 양 끝 노드를 기준으로 두 대각선 경로의 저항 합을 각각 구해 병렬 관계로 놓고 전류를 분배한다. 이후 한쪽 노드를 0V로 잡고 각 경로를 따라가며 저항에서의 전압강하를 누적해 목표 노드들의 전위를 구하면 된다.

암기 포인트

전류원이 만드는 두 병렬 경로의 전압강하는 항상 같다는 조건 $I_1 R_1 = I_2 R_2$를 이용해 분배 전류를 구하고, 이후 $V = IR$로 각 저항의 전압강하를 누적해 노드 전위를 계산한다.

NoteBase

문 3. 다음 회로에서 $i_1(t) = I_m\sin(\omega t + 30^\circ)$[A]일 때, 개방된 2차 단자에 나타나는 $v_2(t)$[V]는? (단, 변압기는 이상적이다)



① $\omega M I_m\cos(\omega t + 30^\circ)$

② $\omega M I_m\cos(\omega t - 90^\circ)$

③ $\omega M I_m\sin(\omega t + 30^\circ)$

④ $\omega M I_m\sin(\omega t - 60^\circ)$

정답 4번

출제 포인트

2차측이 개방된 상호 인덕턴스 결합 회로에서 유도 전압 $v_2(t) = M\frac{di_1}{dt}$를 구하는 문제이다. 2차측 전류가 0이므로 L_2 자체 인덕턴스에 의한 전압은 없고, 오직 1차 전류 $i_1(t)$의 시간에 따른 변화가 상호 인덕턴스 M을 통해 2차측에 전압을 유도한다. 여기서 핵심은 점(dot) 표시의 위치에 따라 유도 전압의 부호(위상)가 달라진다는 점이다.

조건 정리

1차 전류는 $i_1(t) = I_m\sin(\omega t + 30^\circ)$이고 2차측은 개방되어 있어 2차 전류는 0이다. 점 표시는 L_1의 경우 전류 i_1이 유입되는 단자(상단)에 있고, L_2의 경우 v_2의 - 단자와 같은 쪽(하단)에 있다. 즉 두 점이 서로 반대쪽 단자에 위치한 형태이다.

NoteBase

사용할 공식

2차측이 개방된 이상적 변압기(상호 인덕턴스 결합)에서 유도 전압은 $v_2(t) = \pm M\frac{di_1}{dt}$이다. 부호는 점 표시 규약으로 정해지는데, 전류가 점 찍힌 단자로 유입될 때 유도되는 전압이 상대측 점 찍힌 단자에서 +가 되도록 정의된다. 이 문제에서는 v_2의 + 기준 단자가 L_2의 점 찍힌 단자가 아닌 반대쪽(하단이 점, 상단이 +)이므로 부호는 음(-)이 되어 $v_2(t) = -M\frac{di_1}{dt}$이다.

계산 과정

$i_1(t) = I_m\sin(\omega t + 30^\circ)$를 시간에 대해 미분하면 $\frac{di_1}{dt} = \omega I_m\cos(\omega t + 30^\circ)$이다. 점 표시가 서로 반대 극성이므로 $v_2(t) = -M\frac{di_1}{dt} = -\omega M I_m\cos(\omega t + 30^\circ)$이다. 이를 사인 함수로 변환하면 $-\cos\theta = \sin(\theta - 90^\circ)$이므로 $v_2(t) = \omega M I_m\sin(\omega t + 30^\circ - 90^\circ) = \omega M I_m\sin(\omega t - 60^\circ)$이다.

선지 판단

① $\omega M I_m\cos(\omega t + 30^\circ)$: X → 점 표시의 극성을 반대로(같은 쪽으로) 가정하고 부호를 +로 잘못 적용한 결과이며 형태도 코사인 그대로라 최종 정답과 위상이 다르다.
② $\omega M I_m\cos(\omega t - 90^\circ)$: X → 미분만 적용하고 위상 이동(+30°)을 빠뜨린 결과이다.
③ $\omega M I_m\sin(\omega t + 30^\circ)$: X → 미분을 하지 않고 원래 $i_1(t)$의 위상을 그대로 옮겨 적어 사인 형태로만 바꾼 오류이다.
④ $\omega M I_m\sin(\omega t - 60^\circ)$: O → 미분 $\omega I_m\cos(\omega t + 30^\circ)$에 점 표시에 따른 음의 부호를 반영하고 사인 함수로 변환하면 정확히 이 값이 된다.

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 점 표시의 상대적 위치를 확인하지 않고 무조건 $v_2 = +M\frac{di_1}{dt}$로 계산하는 것이다(①이 그 결과). 또한 미분 자체를 빠뜨리고 원래 전류의 위상을 그대로 쓰는 실수(③), 미분은 했지만 위상 이동을 놓치는 실수(②)도 자주 나온다. 점 표시가 1차·2차에서 서로 반대쪽 단자에 있으면 부호가 음(-)이 된다는 것을 반드시 확인해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

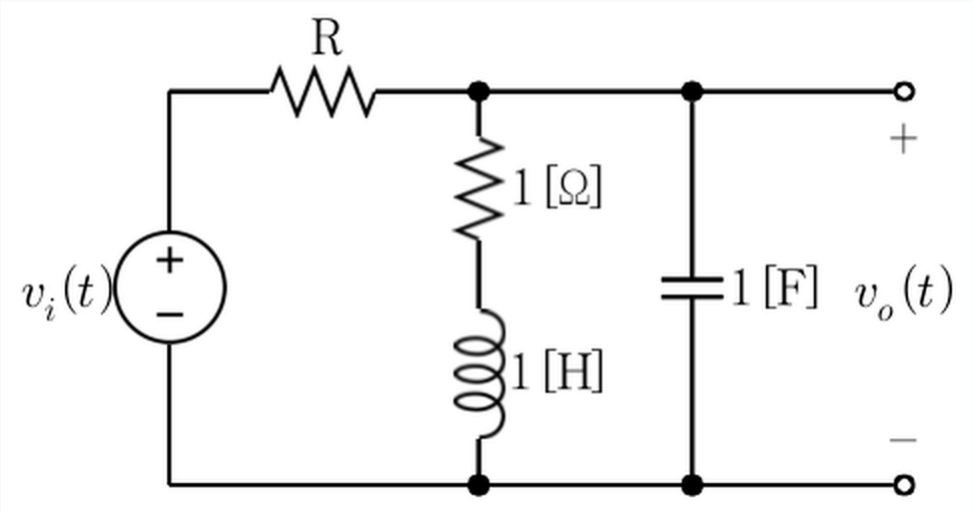
먼저 2차측이 개방인지 확인해 자체 인덕턴스 항은 무시하고 상호 인덕턴스 항만 남긴다. 다음으로 점 표시가 1차 전류의 유입 방향 및 2차 전압의 + 기준과 같은 쪽인지 반대쪽인지를 확인해 부호(+/-)를 정한다. 그 다음 $i_1(t)$를 미분해 위상을 90° 이동시키고, 마지막으로 필요하면 사인·코사인 형태를 서로 변환($\cos\theta = \sin(\theta + 90^\circ)$, $-\cos\theta = \sin(\theta - 90^\circ)$)해 보기의 형태와 맞춘다.

암기 포인트

개방 2차측 유도 전압은 $v_2 = \pm M\frac{di_1}{dt}$이며 부호는 점 표시의 상대 위치로 결정된다. 미분은 위상을 90° 앞서게 하고(sin → cos), 부호가 음이면 다시 90° 이동해 사인으로 되돌아온다는 관계($-\cos\theta = \sin(\theta - 90^\circ)$)를 기억해 둔다.

NoteBase

문 4. 다음 회로에서 전달 함수 $H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$의 극점이 $-1 + j$와 $-1 - j$가 되도록 하는 저항 $R[\Omega]$은?



① 1

② 2

③ 3

④ 5

정답 1번

출제 포인트

라플라스 변환된 회로에서 임피던스를 이용해 전달 함수 $H(s) = V_o(s)/V_i(s)$를 구하고, 분모(특성 방정식)의 근인 극점 위치가 주어졌을 때 이를 만족하는 소자값(저항 R)을 역으로 구하는 문제이다. 회로 해석(전압 분배)과 2차 방정식의 근과 계수 관계를 함께 사용한다.

조건 정리

입력 $v_i(t)$에 저항 R이 직렬로 연결되고, 그 뒤 노드에서 접지까지 두 갈래가 병렬로 연결된다. 한 갈래는 1Ω 저항과 1H 인덕터의 직렬 연결이고, 다른 갈래는 1F 커패시터이며, 출력 $v_o(t)$는 이 커패시터 양단(=병렬 접속 노드와 접지 사이) 전압이다. 라플라스 영역에서 인덕터의 임피던스는 $sL = s$, 커패시터의 임피던스는 $1/(sC) = 1/s$이다. 극점이 $-1 + j$, $-1 - j$가 되도록 하는 R을 구한다.

사용할 공식

저항 1Ω과 인덕터 1H가 직렬이므로 그 임피던스는 $Z_1(s) = 1 + s$이고, 커패시터의 임피던스는 $Z_2(s) = 1/s$이다. 두 임피던스가 병렬이므로 $Z_p(s) = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}$이고, 전체 회로는 R과 Z_p의 전압 분배 구조이므로 $H(s) = \frac{Z_p(s)}{R + Z_p(s)}$이다. 2차 방정식 $as^2 + bs + c = 0$의 두 근의 합은 $-b/a$, 곱은 c/a라는 근과 계수의 관계를 이용한다.

NoteBase

계산 과정

먼저 병렬 임피던스를 구하면 $Z_p(s) = \frac{(1+s)\cdot\frac{1}{s}}{(1+s)+\frac{1}{s}} = \frac{1+s}{s^2+s+1}$ 이다. 전달 함수는 $H(s) = \frac{Z_p(s)}{R+Z_p(s)} = \frac{1+s}{R(s^2+s+1)+(1+s)}$ 이고, 분모를 정리하면 $Rs^2+(R+1)s+(R+1)=0$ 즉 양변을 R로 나누면 $s^2+\frac{R+1}{R}s+\frac{R+1}{R}=0$ 이 특성 방정식이다. 극점이 $-1+j$와 $-1-j$이므로 두 근의 합은 $(-1+j)+(-1-j)=-2$이고, 두 근의 곱은 $(-1+j)(-1-j)=1-j^2=1+1=2$이다. 근과 계수의 관계에서 두 근의 합은 $-\frac{R+1}{R}$이므로 $-\frac{R+1}{R}=-2 \Rightarrow R+1=2R \Rightarrow R=1$ 이고, 두 근의 곱은 $\frac{R+1}{R}$이므로 $\frac{R+1}{R}=2$ 를 대입해도 $R=1$로 같은 값이 나와 두 조건이 서로 모순 없이 일치한다. 따라서 $R=1[\Omega]$이다.

선지 판단

① 1: 두 근의 합·곱 조건을 모두 만족하는 값으로 옳다.
② 2: $R=2$를 대입하면 두 근의 합이 $-\frac{3}{2}$, 곱이 $\frac{3}{2}$가 되어 극점이 $-1\pm j$가 되지 않으므로 틀리다.
③ 3: $R=3$을 대입하면 두 근의 합이 $-\frac{4}{3}$, 곱이 $\frac{4}{3}$가 되어 조건을 만족하지 못하므로 틀리다.
④ 5: $R=5$를 대입하면 두 근의 합이 $-\frac{6}{5}$, 곱이 $\frac{6}{5}$가 되어 조건을 만족하지 못하므로 틀리다.

오답 포인트

이 문제는 R 값을 임의로 대입해 극점을 확인하는 방식이 아니라, 특성 방정식의 계수와 근과 계수의 관계를 직접 세워 R에 대한 방정식을 푸는 것이 핵심이다. 병렬 임피던스를 구할 때 인덕터 임피던스와 저항을 먼저 더한 뒤 커패시터와 병렬 결합해야 하는데, 이 순서를 바꾸어 커패시터를 R과 먼저 묶으면 잘못된 전달 함수가 나온다. 또한 두 근의 합과 곱 조건이 모두 같은 R값(=1)으로 일치하는지 반드시 교차 확인해야 계산 실수를 줄일 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

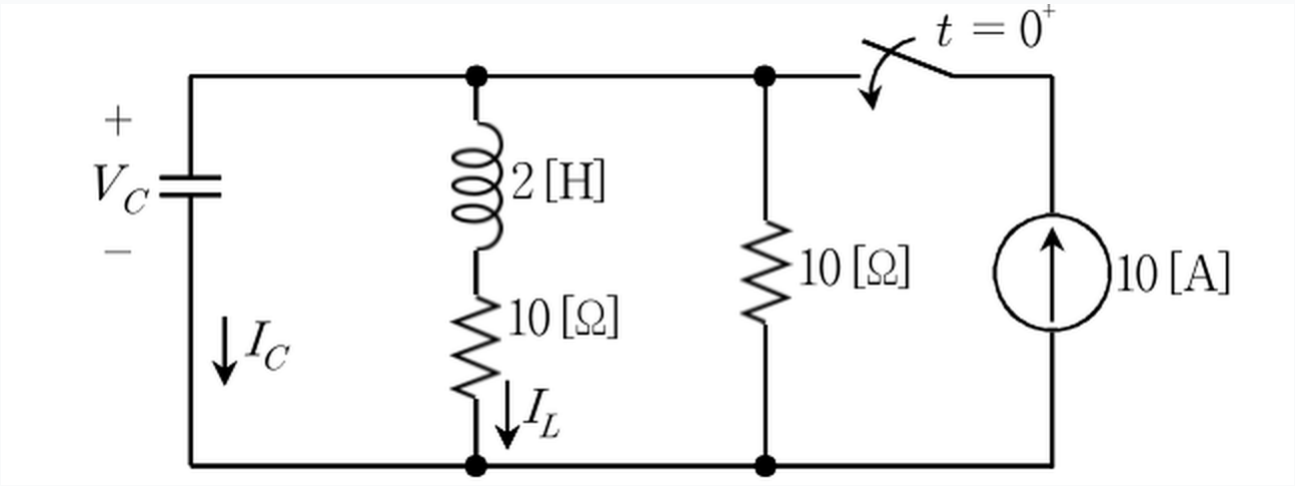
회로에서 R, L, C가 섞인 전달 함수 문제가 나오면 먼저 라플라스 임피던스(sL, $1/(sC)$)로 바꾸고 전압 분배식을 세운 뒤 분모를 R을 포함한 다항식으로 정리한다. 극점(또는 근)이 켤레 복소수 $-a\pm jb$ 형태로 주어지면, 두 근의 합은 $-2a$, 곱은 a^2+b^2라는 근과 계수의 관계를 이용해 미지의 소자값에 대한 방정식을 세우면 빠르게 풀 수 있다.

암기 포인트

인덕터 임피던스는 sL, 커패시터 임피던스는 $1/(sC)$이며, 2차식 $s^2+bs+c=0$의 두 근이 $-a\pm jb$이면 두 근의 합은 $-2a$, 곱은 a^2+b^2이 된다는 근과 계수의 관계를 기억해 둔다.

NoteBase

문 5. 다음 회로에서 $I_L(0^-) = 1[\mathrm{A}]$, $V_C(0^-) = 1[\mathrm{V}]$일 때, $I_C(0^+)[\mathrm{A}]$는?



① 8.1

② 8.9

③ 9.1

④ 10

정답 2번

출제 포인트

스위치 동작(t=0)을 경계로 회로 구조가 바뀌는 과도현상 문제이다. 커패시터 전압과 인덕터 전류는 t=0 순간에 급격히 변하지 않는다는 연속성 원리를 이용해 t=0+ 시점의 값을 구한 뒤, 스위치가 닫혀 전류원이 새로 연결된 t=0+ 회로에서 KCL(키르히호프 전류법칙)로 $I_C(0^+)$를 구하는 것이 핵심이다.

조건 정리

회로 상단의 공통 노드를 T라 하면, T에는 세 개의 병렬 가지(커패시터 가지, 2H 인덕터+10Ω 저항 직렬 가지, 그리고 오른쪽 10Ω 저항 가지)가 항상 연결되어 있고, 스위치를 통해 10A 전류원이 t=0+에 추가로 연결된다. 주어진 초기값은 $I_L(0^-) = 1\mathrm{A}$, $V_C(0^-) = 1\mathrm{V}$이다. 커패시터는 노드 T와 접지(하단 공통 노드) 사이에 있으므로 T의 전압은 곧 V_C와 같다. 인덕터 전류와 커패시터 전압은 t=0 전후로 연속이므로 $I_L(0^+) = I_L(0^-) = 1\mathrm{A}$, $V_C(0^+) = V_C(0^-) = 1\mathrm{V}$이다.

사용할 공식

인덕터 전류의 연속성: $I_L(0^+) = I_L(0^-)$. 커패시터 전압의 연속성: $V_C(0^+) = V_C(0^-)$. 저항 전류: $I = \frac{V}{R}$. 노드 T에서의 키르히호프 전류법칙(KCL): 들어오는 전류의 합 = 나가는 전류의 합.

NoteBase

계산 과정

t=0+에서 스위치가 닫히면서 10A 전류원이 하단에서 상단 노드 T로 10A를 밀어 넣는다. 노드 T에서 나가는 전류는 세 가지이다. 하나는 커패시터를 통해 흐르는 $I_C(0^+)$, 다른 하나는 인덕터+저항 가지를 통해 흐르는 $I_L(0^+) = 1\text{A}$(연속성에 의해 스위칭 순간에도 그대로 유지), 마지막은 오른쪽 10Ω 저항을 통해 흐르는 전류로 그 값은 노드 전압 $V_T(0^+) = V_C(0^+) = 1\text{V}$를 그대로 이용해 $\frac{1\text{V}}{10\Omega} = 0.1\text{A}$이다. 노드 T에서 KCL을 세우면 $10 = I_C(0^+) + I_L(0^+) + 0.1$이므로 $I_C(0^+) = 10 - 1 - 0.1 = 8.9\text{A}$이다.

선지 판단

① 8.1: 계산 과정에서 인덕터 전류 1A와 저항 전류 0.1A 중 하나를 이중으로 빼거나 부호를 잘못 처리했을 때 나오는 값으로, KCL 적용 오류이다 → 옳은 값은 8.9A.
② 8.9: $I_C(0^+) = 10 - I_L(0^+) - \frac{V_C(0^+)}{10} = 10 - 1 - 0.1 = 8.9\text{A}$로 정확히 일치한다.
③ 9.1: 오른쪽 10Ω 저항 가지의 전류(0.1A)를 KCL에서 누락하고 $10 - 1 = 9$에 가깝게 계산하거나 부호를 반대로 적용했을 때 나올 수 있는 값이다 → 저항 전류 0.1A를 반드시 함께 빼야 한다.
④ 10: 전류원 전류를 그대로 커패시터 전류로 착각한 경우이다. 실제로는 전류원의 10A 중 일부가 인덕터 가지와 저항 가지로도 분배되므로 커패시터로 전부 흐르지 않는다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 두 가지이다. 첫째, 인덕터 전류와 커패시터 전압은 t=0 전후로 연속이지만, 그 외의 모든 전류(여기서는 I_C와 오른쪽 저항 전류)는 스위칭 순간 불연속적으로 바뀔 수 있다는 점을 놓치면 안 된다. 둘째, 노드 T에 연결된 가지가 커패시터·인덕터 가지 두 개뿐이라고 착각해 오른쪽 10Ω 저항 가지의 전류(0.1A)를 KCL에서 빠뜨리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

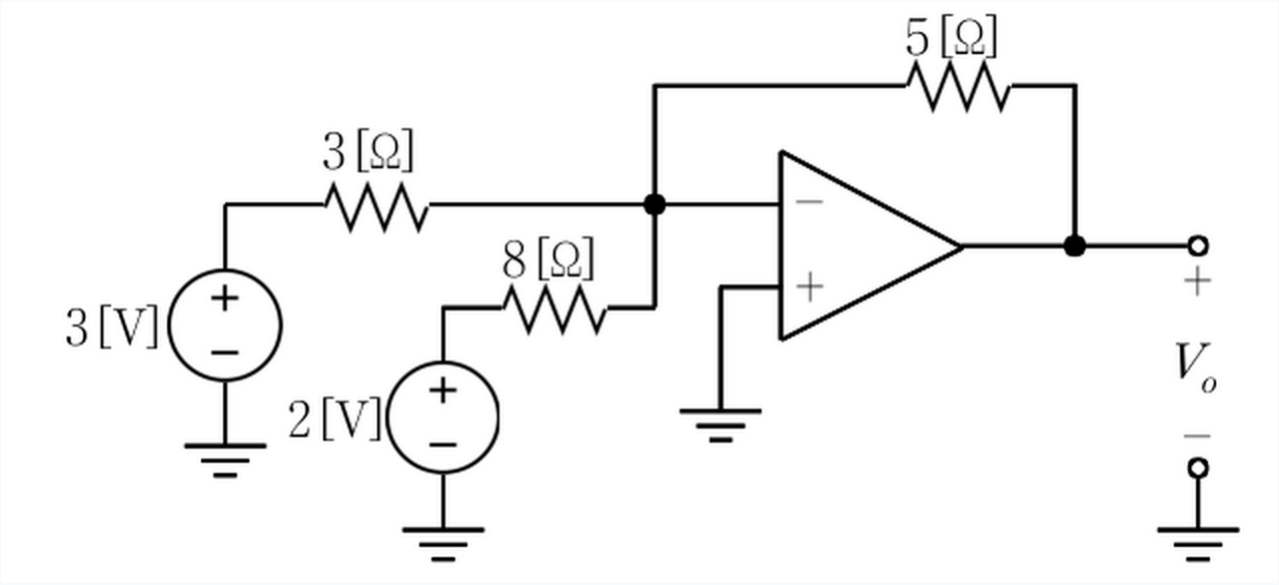
스위칭 회로에서 미지의 전류를 구할 때는 먼저 커패시터 전압과 인덕터 전류를 '상태변수'로 보고 연속성부터 적용한다. 그다음 구하고자 하는 순간(t=0+)의 회로 구조로 다시 그려 놓고, 목표 전류가 흐르는 가지가 연결된 노드에서 KCL을 세운다. 이때 그 노드에 연결된 모든 가지를 빠짐없이 나열하고, 저항 가지는 그 순간의 노드 전압을 이용해 옴의 법칙으로 전류를 구한다.

암기 포인트

커패시터 전압과 인덕터 전류는 t=0 전후로 연속($V_C(0^+) = V_C(0^-)$, $I_L(0^+) = I_L(0^-)$)이지만, 저항 전류나 다른 소자의 전류는 스위칭 순간 순간적으로 바뀔 수 있다는 것을 기억해 둔다. 그리고 KCL을 세울 때는 목표 노드에 연결된 가지를 하나도 빠뜨리지 않도록 회로도에서 직접 확인한다.

NoteBase

문 6. 다음 회로에서 출력 전압 V_o [V]는? (단, 연산증폭기는 이상적이다)



① 7.5

② 8.25

③ -5.5

④ -6.25

정답 4번

출제 포인트

여러 개의 입력 전압이 서로 다른 저항을 통해 연산증폭기의 반전 입력단에 동시에 연결된 가산(합산) 증폭기 회로에서 출력 전압을 구하는 문제이다. 비반전 입력단이 접지되어 있으므로 이상적인 연산증폭기의 가상 접지(virtual short) 개념을 이용해 반전 입력단 전압을 0으로 놓고 마디 방정식을 세울 수 있는지가 핵심이다.

조건 정리

비반전(+) 입력단이 직접 접지되어 있으므로 이상적 연산증폭기의 가상 단락 조건에 의해 반전(-) 입력단 전압도 0[V]이다(가상 접지). 반전 입력단에는 3가지 경로가 만난다: 3[V] 전원에서 3[Ω]을 통해 들어오는 전류, 2[V] 전원에서 8[Ω]을 통해 들어오는 전류, 그리고 출력 V_o에서 5[Ω] 궤환 저항을 통해 흐르는 전류. 이상적 연산증폭기는 입력단으로 전류가 흘러 들어가지 않으므로, 반전 입력 노드에서 키르히호프 전류 법칙(KCL)을 적용하면 세 전류의 합이 0이 되어야 한다.

NoteBase

사용할 공식

가상 접지에 의해 반전 입력단 전압 $V_- = 0$. 노드에 흘러 들어오는 전류의 합은 0이므로
$\frac{3-0}{3} + \frac{2-0}{8} + \frac{V_o - 0}{5} = 0$

계산 과정

먼저 3[V] 전원에 의한 전류는 $\frac{3}{3} = 1$[A]이고, 2[V] 전원에 의한 전류는 $\frac{2}{8} = 0.25$[A]이다. 두 전류를 더하면 $1 + 0.25 = 1.25$[A]이며, 이 전류는 반전 입력 노드로 들어와 이상적 연산증폭기의 입력단으로는 흐르지 못하므로 그대로 5[Ω] 궤환 저항을 통해 출력 쪽으로 빠져나가야 한다. 따라서 $\frac{V_o}{5} = -(1 + 0.25) = -1.25$
양변에 5를 곱하면 $V_o = -1.25 \times 5 = -6.25$[V]

선지 판단

① 7.5: 부호와 크기 모두 틀렸다. 두 입력 전류의 합에 궤환 저항 5[Ω]을 곱한 값의 부호를 반대로 잘못 적용하거나 저항값을 잘못 대입한 경우에 나올 수 있는 값이다 → 올바른 계산 결과는 -6.25이다.
② 8.25: 부호와 크기 모두 틀렸다. 두 전류의 합을 잘못 구했을 때 나올 수 있는 값이다 → 올바른 값은 -6.25이다.
③ -5.5: 부호는 맞으나 크기가 틀렸다. 2[V]/8[Ω] 전류를 0.5[A]로 잘못 계산(예: 저항을 4[Ω]으로 착각)하면 합이 1.5[A]가 되어 5를 곱해 -7.5가 나오거나, 다른 조합으로 -5.5가 나올 수 있으나 실제 전류의 합은 1.25[A]이므로 -5.5는 틀린 값이다 → 올바른 값은 -6.25이다.
④ -6.25: 옳다. $\frac{3}{3} + \frac{2}{8} = 1.25$[A]이고 이 전류가 5[Ω] 궤환 저항을 통해 반전 방향으로 흐르므로 $V_o = -1.25 \times 5 = -6.25$[V]이다.

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 두 입력 전류를 구할 때 저항을 서로 바꿔 나누는 것이다(3[V]를 8[Ω]으로, 2[V]를 3[Ω]으로 나누는 실수). 또한 궤환 저항을 통해 흐르는 전류의 방향을 반대로 생각해 출력 전압의 부호를 양수로 잘못 구하는 경우도 많다. 가상 접지에 의해 반전 입력단이 0[V]라는 사실을 놓치고 3[V]나 2[V]를 그대로 반전 입력단 전압으로 대입하는 것도 자주 나오는 오류이다.

다시 나오면 이렇게 판단

비반전 입력단이 접지된 가산 증폭기 회로를 보면 먼저 반전 입력단을 0[V](가상 접지)로 놓는다. 그다음 각 입력 전압을 해당 저항으로 나누어 노드로 들어오는 전류를 각각 구하고, 이 전류들의 합이 궤환 저항을 통해 그대로 출력 쪽으로 흘러야 한다는 조건에서 $V_o = -R_f \sum \frac{V_i}{R_i}$ 형태의 식을 세운다.

암기 포인트

가산 증폭기의 출력은 $V_o = -R_f\left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \cdots\right)$이며, 비반전 입력단이 접지되어 있을 때만 이 식이 그대로 성립한다는 점을 기억해 둔다.

NoteBase

문 7. 평형 3상 Y결선 전원에 평형 3상 Y결선 부하가 연결되어 있다. 이 회로의 상전압($V_{rms} = 100\angle 0^\circ\,[V]$)과 연결된 선로 임피던스와 부하 임피던스가 각각 $1 + j3[\Omega]$, $5 + j5[\Omega]$일 때, 선전류 실효값 및 부하전압의 실효값은?

① 선전류: $5\sqrt{2}\,[A]$, 부하전압: $50[V]$

② 선전류: $5\sqrt{2}\,[A]$, 부하전압: $50\sqrt{2}\,[V]$

③ 선전류: $10[A]$, 부하전압: $50[V]$

④ 선전류: $10[A]$, 부하전압: $50\sqrt{2}\,[V]$

정답 4번

출제 포인트

평형 3상 Y-Y 회로에서 상전압 하나만 알고 선로 임피던스와 부하 임피던스가 주어졌을 때, 한 상만 떼어내어 단상 등가회로로 풀 수 있는지를 묻는 문제이다. 선전류의 크기와 부하전압의 크기를 각각 구해야 한다.

조건 정리

상전압 $V_{rms} = 100\angle 0^\circ\ [V]$, 선로 임피던스 $Z_{line} = 1 + j3\ [\Omega]$, 부하 임피던스 $Z_{load} = 5 + j5\ [\Omega]$이다. 평형 3상 Y-Y 결선이므로 중성선을 통해 세 상이 서로 간섭하지 않고, 한 상만 따로 떼어 직렬회로로 해석할 수 있다.

사용할 공식

한 상의 전체 임피던스는 선로와 부하가 직렬로 연결된 것이므로 $Z = Z_{line} + Z_{load}$이다. 선전류는 $I = \frac{V}{Z}$이고, 부하전압은 $V_{load} = I \times Z_{load}$이다. 복소수 임피던스의 크기는 $|a + jb| = \sqrt{a^2 + b^2}$로 구한다.

계산 과정

전체 임피던스는 $Z = (1 + j3) + (5 + j5) = 6 + j8\ [\Omega]$이고 크기는
$|Z| = \sqrt{6^2 + 8^2} = \sqrt{36 + 64} = \sqrt{100} = 10\ [\Omega]$이다. 선전류의 실효값은 $I = \frac{100}{10} = 10\ [A]$이다. 부하 임피던스의 크기는 |Z_load|=√(5^2+5^2)=√(50)=52 [Ω]이므로, 부하전압의 실효값은 V_load=I×|Z_load|=10×52=502 [V]이다.

선지 판단

① 선전류 5√2, 부하전압 50 → X: 선전류는 전체 임피던스 크기 10으로 나눈 값이므로 5√2가 아니라 10이다.
② 선전류 5√2, 부하전압 50√2 → X: 부하전압 값은 맞지만 선전류가 틀렸다.
③ 선전류 10, 부하전압 50 → X: 선전류는 맞지만 부하전압은 전류 10에 부하 임피던스 크기 5√2를 곱한 50√2가 되어야 하므로 50은 틀렸다.
④ 선전류 10, 부하전압 50√2 → O: 전체 임피던스 크기 10으로 상전압 100을 나누면 선전류 10[A]이고, 여기에 부하 임피던스 크기 5√2를 곱하면 부하전압 50√2[V]가 되어 계산과 일치한다.

NoteBase

오답 포인트

선전류를 구할 때 부하 임피던스의 크기($5\sqrt{2}$)만 사용하거나 선로 임피던스를 빼먹으면 ①·②처럼 틀린 선전류가 나온다. 또한 선전류를 올바르게 구하고도 부하전압을 구할 때 상전압 100을 그대로 쓰거나 전체 임피던스로 나누는 실수를 하면 ③처럼 부하전압을 틀리게 된다. 부하전압은 반드시 선전류에 부하 임피던스의 크기를 곱해야 한다는 점을 놓치지 않아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

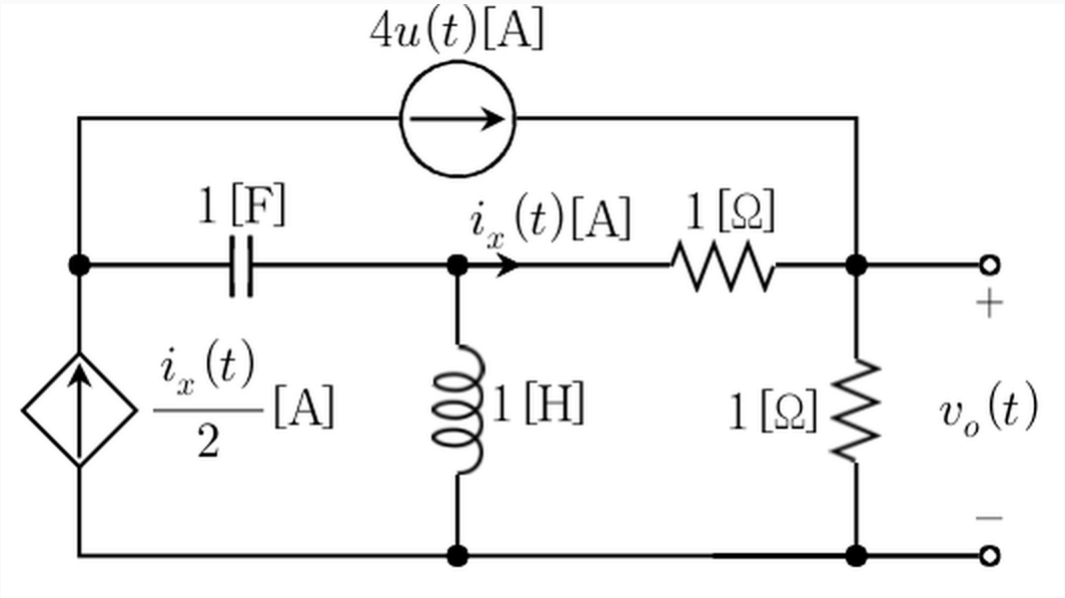
평형 3상 Y-Y 회로 문제는 한 상만 떼어 직렬 단상 등가회로로 바꾼 뒤, 선로 임피던스와 부하 임피던스를 더해 전체 임피던스를 먼저 구한다. 이후 선전류는 상전압을 전체 임피던스로 나누어 구하고, 부하전압은 그 선전류에 부하 임피던스의 크기만 곱해 구한다는 순서를 지킨다.

암기 포인트

평형 Y-Y는 한 상만 보면 된다: $I = \frac{V_{phase}}{Z_{line} + Z_{load}}$, $V_{load} = I \times Z_{load}$. 복소수 크기는 $\sqrt{a^2 + b^2}$로 구하며, 6+j8은 크기 10, 5+j5는 크기 $5\sqrt{2}$로 자주 나오는 조합이므로 기억해 둔다.

NoteBase

문 8. 다음 회로에서 $v_o(t)$에 대한 라플라스 변환 $V_o(s)$는?



① $\frac{-4(s+4)}{s(s-2)}$
② $\frac{-4(s-2)}{s(s+4)}$
③ $\frac{4(s+4)}{s(s-2)}$
④ $\frac{4(s-2)}{s(s+4)}$

정답 2번

출제 포인트

종속전류원이 포함된 회로를 라플라스 s-도메인으로 바꾼 뒤 마디해석(node analysis)으로 출력전압 $V_o(s)$를 구하는 문제이다. 커패시터와 인덕터를 임피던스로 치환하고, 마디마다 전류의 유입=유출 관계를 세운 뒤 미지수를 소거하는 절차가 핵심이다.

조건 정리

왼쪽 마디를 A, 커패시터와 저항 사이의 마디를 B, 출력 쪽 마디를 C라 한다(아래쪽은 모두 공통 접지). A에는 종속전류원 $i_x(t)/2$[A]가 접지에서 A로 유입되고, 위쪽 가지의 독립전류원 $4u(t)$[A]는 A에서 C로 흐른다. A-B 사이에는 1F 커패시터, B-C 사이에는 $i_x(t)$가 표시된 1Ω 저항, B-접지 사이에는 1H 인덕터가 있다. C-접지 사이의 1Ω 저항 양단전압이 $v_o(t)$이다. 모든 초기조건은 0으로 가정한다(라플라스 변환의 표준 가정).

사용할 공식

커패시터의 임피던스는 $\frac{1}{Cs}=\frac{1}{s}$, 인덕터의 임피던스는 $Ls=s$이다. 각 마디에서는 키르히호프 전류법칙(KCL)에 의해 유입전류의 합과 유출전류의 합이 같다. 저항의 전류는 $i=\frac{\Delta V}{R}$로 구한다.

NoteBase

계산 과정

B-C 사이 저항의 전류를 $i_x = V_B - V_C$로 둔다(1Ω이므로 전압차와 같다).

마디 A: 종속전류원으로 유입되는 $i_x/2$는 커패시터 전류 I_C와 위쪽 가지 전류 $4/s$로 유출되므로 $\frac{i_x}{2} = I_C + \frac{4}{s} \rightarrow I_C = \frac{i_x}{2} - \frac{4}{s}$.

마디 B: 커패시터로 유입된 I_C는 인덕터 전류 V_B/s와 저항 전류 i_x로 유출되므로 $I_C = \frac{V_B}{s} + i_x$. 위 두 식을 연립하면 $\frac{i_x}{2} - \frac{4}{s} = \frac{V_B}{s} + i_x$이고, 정리하면 $i_x = -\frac{2(V_B+4)}{s}$이다.

마디 C: 위쪽 가지의 $4/s$와 저항 전류 i_x가 유입되어 출력저항으로 V_C가 유출되므로 $\frac{4}{s} + i_x = V_C$, 즉 $i_x = V_C - \frac{4}{s}$이다. 또한 $i_x = V_B - V_C$이므로 $V_B = 2V_C - \frac{4}{s}$이다.

두 i_x 표현을 같다고 놓으면 $-\frac{2(V_B+4)}{s} = V_C - \frac{4}{s}$이고, 여기에 $V_B = 2V_C - \frac{4}{s}$를 대입해 정리하면 $V_C(s+4) = \frac{8-4s}{s}$가 되어 $V_C = \frac{8-4s}{s(s+4)} = \frac{-4(s-2)}{s(s+4)}$를 얻는다. 출력전압 $v_o(t)$가 C-접지 저항 양단전압이므로 $V_o(s) = V_C = \frac{-4(s-2)}{s(s+4)}$이다.

선지 판단

① $\frac{-4(s+4)}{s(s-2)}$: 분자 부호는 맞지만 계산 과정에서 극점이 나오는 항의 부호를 반대로 처리해 분모가 $s(s-2)$로 뒤바뀐 경우에 나오는 값이므로 오답이다.
② $\frac{-4(s-2)}{s(s+4)}$: 위 계산 과정과 정확히 일치하므로 정답이다.
③ $\frac{4(s+4)}{s(s-2)}$: 전류원의 방향(부호)을 반대로 놓고 계산했을 때 나오는 값으로 분자 부호와 분모 극점이 모두 어긋나 있으므로 오답이다.
④ $\frac{4(s-2)}{s(s+4)}$: 분모는 정답과 같지만 분자의 부호가 반대이며, 이는 마디 A 또는 마디 C의 KCL 부호를 반대로 세웠을 때 나오는 값이므로 오답이다.

오답 포인트

이 문제는 종속전류원의 방향(접지→A로 유입)과 독립전류원의 방향(A→C로 유출)을 부호까지 정확히 반영해야 한다. 방향을 반대로 놓으면 ③, ④처럼 분자 부호가 뒤집히고, 마디 B와 C의 전류 관계식을 세울 때 유입·유출을 헷갈리면 ①처럼 분모의 극점이 $s+4$ 대신 $s-2$로 잘못 나온다. i_x를 저항 전류로 정의했으면 끝까지 그 정의를 일관되게 사용해야 하며, 커패시터가 연결된 마디 A는 두 전류원의 KCL만으로 커패시터 전류가 결정된다는 점(전압 V_A는 다른 식에 등장하지 않음)을 놓치지 않아야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

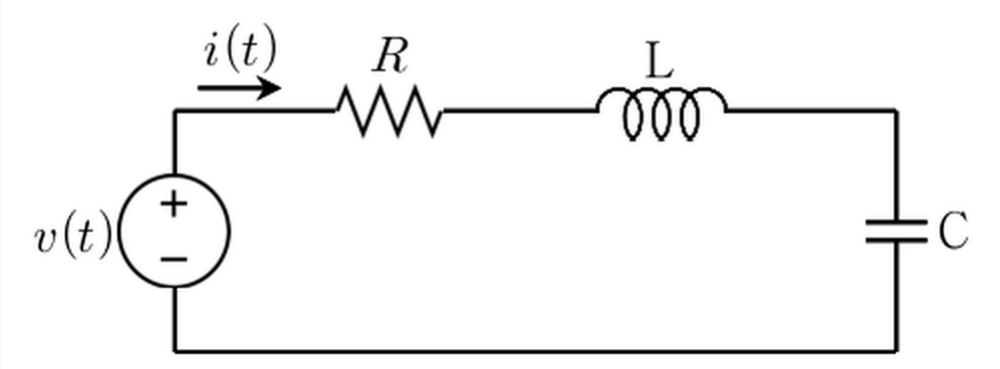
종속전류원이 있는 회로는 전류원이 연결된 마디부터 KCL을 세워 전류 변수를 먼저 구하는 것이 유리하다. 이 문제처럼 한 마디가 전류원 두 개와 하나의 소자로만 이루어져 있으면, 그 마디의 전압을 몰라도 소자 전류가 KCL만으로 결정된다는 점을 활용해 미지수를 줄인다. 이후 나머지 마디에서 임피던스 관계식을 세워 연립하면 된다.

암기 포인트

라플라스 변환에서 커패시터는 $1/s$, 인덕터는 s의 임피던스로 바뀐다는 점과, 전류원이 연결된 마디는 전압 대신 KCL로 전류를 먼저 정리하면 계산이 단순해진다는 점을 기억해 둔다.

NoteBase

문 9. 다음 회로에서 $v(t) = 10\cos(20t + 10^\circ)[V]$, $i(t) = \cos(20t + 10^\circ)[A]$이고 $L = 5[\text{mH}]$일 때, R과 C의 값은?



① $R = 10[\Omega],\ C = 5[\text{mF}]$

② $R = 10[\Omega],\ C = 500[\text{mF}]$

③ $R = 50[\Omega],\ C = 5[\text{mF}]$

④ $R = 50[\Omega],\ C = 500[\text{mF}]$

정답 2번

출제 포인트

R, L, C 직렬회로에서 전압과 전류의 위상이 서로 같다는 조건이 주어졌을 때, 이 조건을 임피던스의 허수부가 0이 되는 공진 조건으로 해석해 R과 C의 값을 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

$v(t) = 10\cos(20t + 10^\circ)[V]$, $i(t) = \cos(20t + 10^\circ)[A]$이므로 전압과 전류의 위상각이 둘 다 10°로 같다. 각주파수는 $\omega = 20[\text{rad/s}]$이고 $L = 5[\text{mH}] = 0.005[\text{H}]$이다. 회로는 전압원에 R, L, C가 직렬로 연결된 구조이다.

사용할 공식

직렬회로의 임피던스는 $Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$이다. 전압과 전류의 위상이 같다는 것은 임피던스 Z가 순저항(허수부 0)이라는 뜻이므로 $\omega L = \frac{1}{\omega C}$가 성립하고, 이때 $Z = R$이 된다. 또한 페이저 비로부터 $Z = \frac{V_m}{I_m}$을 구할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

전압과 전류의 위상각이 같으므로 페이저비는 크기만 남는다: $Z = \frac{10\angle 10^\circ}{1\angle 10^\circ} = 10\angle 0^\circ = 10[\Omega]$. 위상이 0°라는 것은 Z의 허수부가 0임을 뜻하므로 $Z = R$이 되어 $R = 10[\Omega]$이다. 허수부가 0이라는 조건에서 $\omega L = \frac{1}{\omega C}$이므로 $C = \frac{1}{\omega^2 L}$이다. 여기에 $\omega = 20, L = 0.005$를 대입하면 $C = \frac{1}{20^2 \times 0.005} = \frac{1}{400 \times 0.005} = \frac{1}{2} = 0.5$[F]이고, 이를 [mF] 단위로 바꾸면 $C = 500$[mF]이다.

선지 판단

① R = 10 [Ω], C = 5 [mF] → R값은 맞지만 C값이 틀렸다. 계산 결과 C = 500 [mF]이므로 단위 자릿수가 맞지 않는다.
② R = 10 [Ω], C = 500 [mF] → 계산 결과와 정확히 일치한다. 옳다.
③ R = 50 [Ω], C = 5 [mF] → R값이 틀렸다. 임피던스 크기는 $10\angle 0^\circ$이므로 R = 10 [Ω]이어야 한다.
④ R = 50 [Ω], C = 500 [mF] → R값이 틀렸다. C값은 맞지만 R = 50 [Ω]은 계산 결과인 10 [Ω]과 다르다.

오답 포인트

이 문제의 핵심 함정은 전압과 전류의 '위상이 같다'는 조건을 곧바로 크기 비만 이용해 $R = V_m/I_m$으로 구한 뒤, L과 C의 관계식을 세우지 않고 끝내버리는 것이다. 위상이 같다는 조건은 임피던스 크기(R값 도출)뿐 아니라 허수부가 0이라는 두 번째 정보($\omega L = 1/\omega C$, C값 도출)까지 동시에 담고 있으므로 두 조건을 모두 사용해야 한다. 또한 ω를 각주파수가 아닌 주파수로 착각하거나, F 단위를 mF로 환산하는 과정에서 자릿수를 놓치면 ①번과 같은 오답에 이르게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

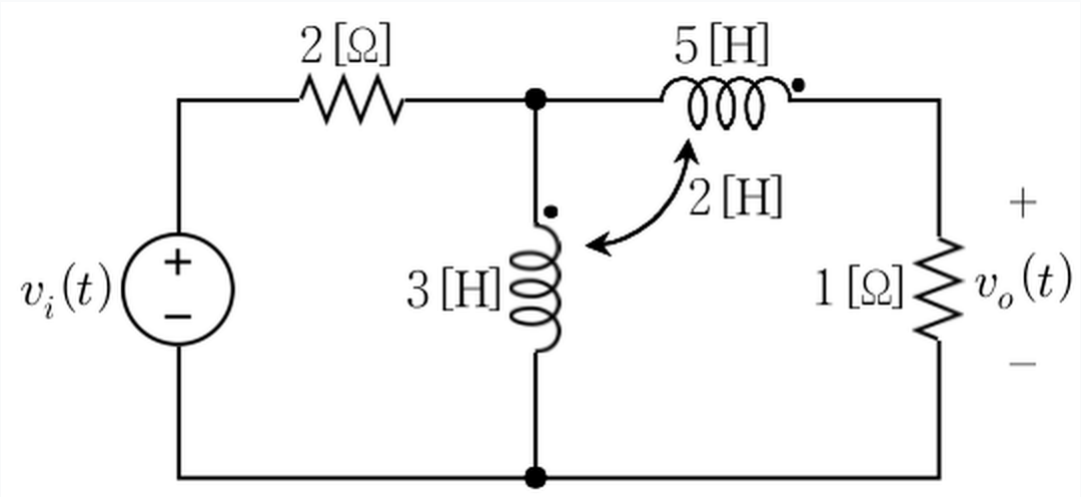
R, L, C 직렬(또는 병렬)회로에서 전압과 전류의 위상이 같다는 조건이 나오면 가장 먼저 '허수부가 0인 임피던스(공진 조건)'로 치환해서 생각한다. 이후 크기 비로 R(또는 등가 저항 성분)을 구하고, 허수부 0 조건식 $\omega L = 1/\omega C$를 세워 나머지 소자값을 구하는 두 단계로 접근한다.

암기 포인트

직렬 RLC 회로 임피던스: $Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$. 전압·전류 동위상 조건은 $\omega L = \frac{1}{\omega C}$이고 이때 $Z = R$이다. 이 관계에서 $C = \frac{1}{\omega^2 L}$로 정리해 바로 계산한다.

NoteBase

문 10. 다음 유도결합회로에서 입력전압에 대한 출력전압의 전달함수 $\frac{V_o(s)}{V_i(s)}$는?



① $\frac{5s}{11s^2+27s+2}$
② $\frac{5s}{12s^2+20s+2}$
③ $\frac{5}{11s^2+27s+2}$
④ $\frac{5}{12s^2+20s+2}$

정답 1번

출제 포인트

상호인덕턴스(M)로 결합된 두 인덕터를 포함한 회로에서 메시(loop) 해석으로 입력전압 대비 출력전압의 전달함수를 구하는 문제다. 핵심은 도트 규약에 따라 상호인덕턴스 항의 부호를 정확히 정하는 것이다.

조건 정리

전압원 $v_i(t)$에 2Ω 저항이 직렬로 연결되어 노드 A에 이른다. 노드 A에서 3H 인덕터가 접지까지 내려가고, 같은 노드 A에서 5H 인덕터가 노드 B까지 이어지며, 노드 B에서 1Ω 저항이 접지까지 내려가고 이 1Ω 양단 전압이 출력 $v_o(t)$다. 3H 인덕터와 5H 인덕터 사이에 상호인덕턴스 $M = 2\text{H}$가 존재하며, 도트는 3H의 노드 A쪽 끝과 5H의 노드 B쪽 끝에 찍혀 있다.

사용할 공식

두 메시전류 I_1(전압원-2Ω-3H 루프), I_2(3H-5H-1Ω 루프)를 정의한다. 3H를 흐르는 전류는 $I_1 - I_2$(A에서 접지로, 도트단 유입), 5H를 흐르는 전류는 I_2(A에서 B로, 5H의 비도트단 유입)이다. 도트 배치상 두 전류가 서로 다른 극성(한쪽은 도트단 유입, 다른 쪽은 비도트단 유입)으로 흐르므로 상호인덕턴스 항은 음(-)의 부호를 갖는다. 각 인덕터의 전압-전류 관계는 $V = LsI - MsI'$ 형태로 쓴다.

NoteBase

계산 과정

3H 양단 전압(A에서 접지 방향): $V_{3H} = 3s(I_1 - I_2) - 2sI_2$. 5H 양단 전압(A에서 B 방향): $V_{5H} = 5sI_2 - 2s(I_1 - I_2)$. 메시1 KVL: $V_i = 2I_1 + V_{3H} = (2 + 3s)I_1 - 5sI_2$. 메시2 KVL(무전원 루프): $V_{5H} + I_2 \cdot 1 - V_{3H} = 0$을 정리하면 $-5sI_1 + (12s + 1)I_2 = 0$, 즉 $I_2 = \frac{5s}{12s+1}I_1$. 이를 메시1 식에 대입하면 $V_i = I_1\left[(2 + 3s) - \frac{25s^2}{12s+1}\right] = I_1 \cdot \frac{11s^2 + 27s + 2}{12s+1}$이므로 $I_1 = \frac{(12s+1)V_i}{11s^2 + 27s + 2}$. 출력전압은 1Ω에 흐르는 I_2와 같으므로 $V_o = I_2 = \frac{5s}{12s+1}I_1 = \frac{5sV_i}{11s^2 + 27s + 2}$. 따라서 $\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{5s}{11s^2 + 27s + 2}$이다.

선지 판단

① $5s/(11s^2 + 27s + 2)$ — O. 메시해석으로 정확히 도출되는 값과 일치한다.

② $5s/(12s^2 + 20s + 2)$ — X. 상호인덕턴스 부호를 반대로(양수로) 적용하거나 메시 방정식 계수를 잘못 정리했을 때 나오는 오답이다.

③ $5/(11s^2 + 27s + 2)$ — X. 분모는 맞지만 분자에서 s를 빠뜨린 오답으로, 출력전압이 s에 비례하는 항을 놓친 경우다.

④ $5/(12s^2 + 20s + 2)$ — X. 부호와 분자의 s 항을 모두 잘못 처리한 경우에 나오는 오답이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 도트 규약 적용이다. 3H는 노드 A쪽(도트단)으로 전류가 들어가고, 5H는 노드 B쪽(도트단)으로 전류가 빠져나가는 구조이므로 두 전류의 도트 기준 방향이 서로 반대다. 이를 놓치고 상호인덕턴스 항을 양수로 넣으면 분모 계수가 $12s^2 + 20s + 2$로 바뀌어 ②나 ④ 같은 오답이 나온다. 또한 메시2 식을 정리할 때 부호를 한 번이라도 놓치면 최종 분자에서 s가 사라지는 실수(③, ④)로 이어진다.

다시 나오면 이렇게 판단

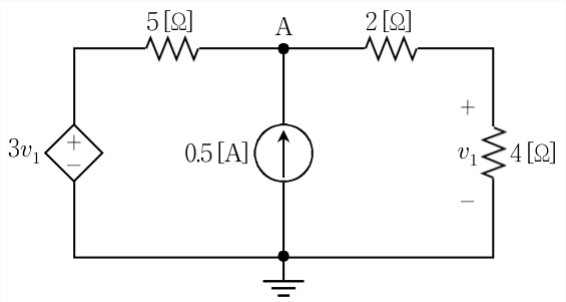
유도결합회로 문제는 먼저 도트가 어느 노드쪽에 찍혀 있는지부터 확인한다. 두 인덕터에 흐르는 전류를 공통 노드를 기준으로 같은 방향(둘 다 유입 또는 둘 다 유출)으로 정의했을 때, 도트 기준이 서로 같은지 다른지를 따져 상호인덕턴스 항의 부호(+ 또는 -)를 정한 뒤 메시 방정식을 세운다. 이후 두 메시 방정식을 연립해 I_2를 I_1에 대해 먼저 구하고, 그 관계를 첫 번째 식에 대입해 I_1을 V_i로 표현한 다음 최종적으로 $V_o = I_2 \times R$을 계산하는 순서로 풀면 실수가 줄어든다.

암기 포인트

상호인덕턴스가 있는 회로에서 전압-전류 관계는 $V = LsI \mp MsI'$이며, 부호는 두 전류가 각 코일의 도트단에 대해 같은 방향(둘 다 유입)이면 +, 다르면 -이다. 결합 코일 회로는 메시전류법으로 접근하고, 상호인덕턴스가 걸린 두 코일이 공유하는 노드를 기준으로 전류 방향을 명확히 그려두는 습관을 들여 둔다.

NoteBase

문 11. 다음 회로에서 A 노드의 전압 v_A[V]는?



① 3

② 6

③ 15

④ -15

정답 4번

출제 포인트

종속전압원과 독립전류원이 함께 있는 회로에서 마디해석(node analysis)으로 특정 노드의 전압을 구하는 문제이다. 종속전압원의 제어변수 v_1이 회로 반대편 저항의 양단 전압으로 정의되어 있으므로, 노드 방정식을 세운 뒤 제어변수 관계식으로 연립해서 풀어야 한다.

조건 정리

하단 공통선을 기준(0V)으로 잡는다. 왼쪽 가지: 종속전압원 $3v_1$의 위쪽 단자 전압은 접지 대비 $3v_1$이고, 이 단자가 5[Ω]을 통해 A 노드에 연결된다. A 노드에는 0.5[A] 전류원이 접지에서 A 방향으로 전류를 밀어 넣는다. A 노드는 2[Ω]을 통해 오른쪽 가지의 상단 노드(전압 v_1, 4[Ω]의 양단 전압으로 정의됨, 하단은 접지)와 연결되고, 이 노드에서 4[Ω]을 통해 접지로 전류가 흐른다.

사용할 공식

각 노드에서 키르히호프 전류법칙(KCL): 노드로 들어오는 전류의 합 = 노드에서 나가는 전류의 합. 저항을 통한 전류는 I=(V_높은쪽-V_낮은쪽)/(R)로 계산한다.

NoteBase

계산 과정

오른쪽 상단 노드(전압 v_1)에서 KCL을 세우면, 2[Ω]을 통해 A에서 들어오는 전류가 4[Ω]을 통해 접지로 빠지는 전류와 같다.
$\frac{v_A - v_1}{2} = \frac{v_1}{4}$
이를 정리하면 $2(v_A - v_1) = v_1$, 즉 $2v_A = 3v_1$이므로 $v_1 = \frac{2}{3}v_A$이다.

A 노드에서 KCL을 세우면, 5[Ω]을 통해 종속전압원 쪽에서 들어오는 전류와 전류원이 공급하는 0.5[A]의 합이 2[Ω]을 통해 오른쪽으로 나가는 전류와 같다.
$\frac{3v_1 - v_A}{5} + 0.5 = \frac{v_A - v_1}{2}$
앞서 오른쪽 노드 식에서 $\frac{v_A - v_1}{2} = \frac{v_1}{4}$이었으므로 우변을 $\frac{v_1}{4}$로 바꾸어 쓴다.
$\frac{3v_1 - v_A}{5} + 0.5 = \frac{v_1}{4}$
여기에 $v_1 = \frac{2}{3}v_A$를 대입하면 $3v_1 = 2v_A$이므로,
$\frac{2v_A - v_A}{5} + 0.5 = \frac{1}{4} \cdot \frac{2}{3}v_A$
$\frac{v_A}{5} + 0.5 = \frac{v_A}{6}$
양변에 30을 곱하면 $6v_A + 15 = 5v_A$이고, 이를 정리하면 $v_A = -15$이다.

선지 판단

① 3: 부호와 크기 모두 계산 결과와 다르다. X
② 6: 계산 결과와 다르다. X
③ 15: 크기는 유사한 값이 나올 수 있으나 종속전압원 방향(부호)을 고려하면 부호가 반대이다. X
④ -15: 노드 A와 오른쪽 노드에 대해 KCL을 세우고 v_1과 v_A의 관계식을 연립하면 $v_A = -15$로 계산된다. O

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 종속전압원 $3v_1$의 극성(+, -)을 무시하고 단순히 크기만 계산에 넣는 것이다. 위쪽이 +이므로 그 단자의 전압은 접지 대비 $+3v_1$이 되어야 하며, 이를 반대로 놓으면 부호가 뒤집혀 15와 같은 오답이 나온다. 또한 전류의 방향(들어오는 전류와 나가는 전류)을 헷갈리면 방정식의 부호가 틀어져 6이나 3과 같은 값이 나올 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

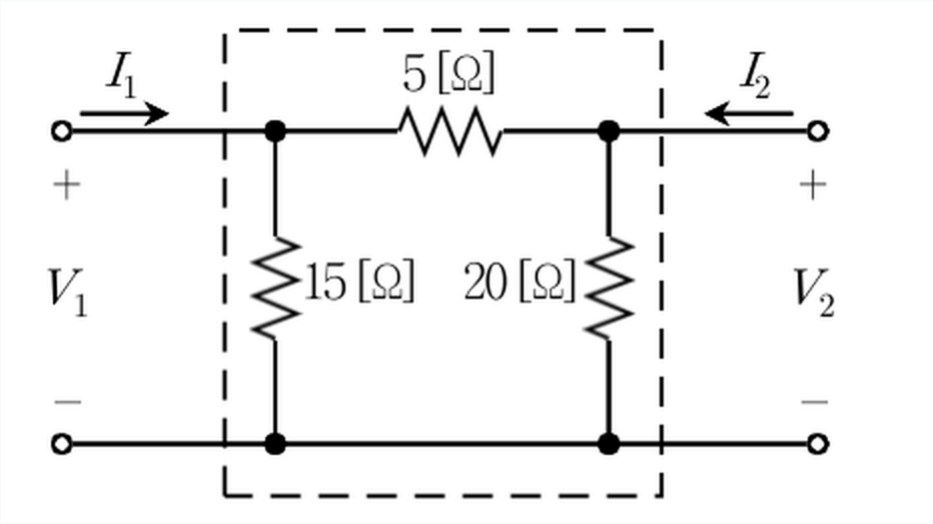
종속전압원이 포함된 회로는 우선 노드 전압을 미지수로 놓고 KCL 방정식을 세운 뒤, 제어변수(여기서는 v_1)를 노드 전압으로 표현하는 관계식을 별도로 세워 연립한다. 전류원이 있는 노드는 전류원의 전류값을 그대로 KCL 식에 상수항으로 넣으면 된다.

암기 포인트

종속전압원이 있는 마디해석은 (1) 각 노드에서 KCL 세우기 (2) 제어변수를 노드 전압으로 표현하는 보조식 세우기 (3) 두 식을 연립해서 풀기, 이 세 단계로 접근한다는 것을 기억해 둔다.

NoteBase

문 12. 다음 회로의 임피던스 행렬 Z 구성 요소로부터 구한 $Z_{12}+Z_{22}$ 값은?



① 10

② 17.5

③ 20

④ 25.5

정답 2번

출제 포인트

이 회로는 입력단에 15Ω 션트, 두 절점 사이에 5Ω 직렬, 출력단에 20Ω 션트가 붙은 파이(Π)형 2단자쌍망이다. 파이형 회로는 어드미턴스 행렬 Y를 직접 세우기 쉬운 구조이므로, Y 파라미터를 먼저 구한 뒤 이를 역행렬로 변환해 임피던스 행렬 Z를 얻는 방식으로 접근한다.

조건 정리

입력 절점을 A, 출력 절점을 B, 하단 공통선을 접지(기준절점)로 둔다. A는 15Ω으로 접지에, B는 20Ω으로 접지에 연결되고, A와 B 사이는 5Ω으로 연결된다. 입력단자는 A와 같은 절점이고 출력단자는 B와 같은 절점이므로 $V_1 = V_A$, $V_2 = V_B$이다.

사용할 공식

절점 A, B에 대한 전류 방정식(어드미턴스 형태): $I_1 = \left(\frac{1}{15}+\frac{1}{5}\right)V_A - \frac{1}{5}V_B$, $I_2 = -\frac{1}{5}V_A + \left(\frac{1}{20}+\frac{1}{5}\right)V_B$. 이를 $I = YV$ 꼴로 두면 $Y_{11} = \frac{4}{15}$, $Y_{22} = \frac{1}{4}$, $Y_{12} = Y_{21} = -\frac{1}{5}$이다. 임피던스 행렬은 $Z = Y^{-1}$이며, $Z_{11} = \frac{Y_{22}}{\Delta Y}$, $Z_{22} = \frac{Y_{11}}{\Delta Y}$, $Z_{12} = Z_{21} = -\frac{Y_{12}}{\Delta Y}$, $\Delta Y = Y_{11}Y_{22} - Y_{12}Y_{21}$이다.

NoteBase

계산 과정

$Y_{11} = \frac{1}{15} + \frac{1}{5} = \frac{4}{15}$, $Y_{22} = \frac{1}{20} + \frac{1}{5} = \frac{1}{4}$, $Y_{12} = Y_{21} = -\frac{1}{5}$이다. 행렬식은 $\Delta Y = \frac{4}{15} \times \frac{1}{4} - \left(-\frac{1}{5}\right)\left(-\frac{1}{5}\right) = \frac{1}{15} - \frac{1}{25} = \frac{2}{75}$이다. 따라서 $Z_{22} = \frac{Y_{11}}{\Delta Y} = \frac{4/15}{2/75} = 10$, $Z_{12} = -\frac{Y_{12}}{\Delta Y} = \frac{1/5}{2/75} = 7.5$이다. 그러므로 $Z_{12} + Z_{22} = 7.5 + 10 = 17.5$이다.

선지 판단

① 10 → 틀림. Z_{22} 값(10)만 취하고 Z_{12}를 빠뜨린 값이다.

② 17.5 → 맞음. $Z_{12} = 7.5$, $Z_{22} = 10$이므로 합은 17.5이다.

③ 20 → 틀림. 회로도의 20Ω 저항값을 그대로 옮겨 온 값일 뿐, 계산 결과가 아니다.

④ 25.5 → 틀림. Y 행렬을 역행렬로 바꾸지 않고 어드미턴스 값을 그대로 더하거나 잘못된 사칙연산으로 나온 값이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 파이형 회로를 T형 공식(직렬-공통-직렬)에 그대로 대입하는 것이다. 이 회로는 반대로 '션트-직렬-션트' 구조이므로 어드미턴스(Y) 관점에서 접근해야 계산이 단순해진다. 또한 Z_{12}를 구하지 않고 Z_{22}만 답으로 고르거나(①), 회로에 적힌 저항값을 그대로 답으로 착각하는 것(③)도 주의해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

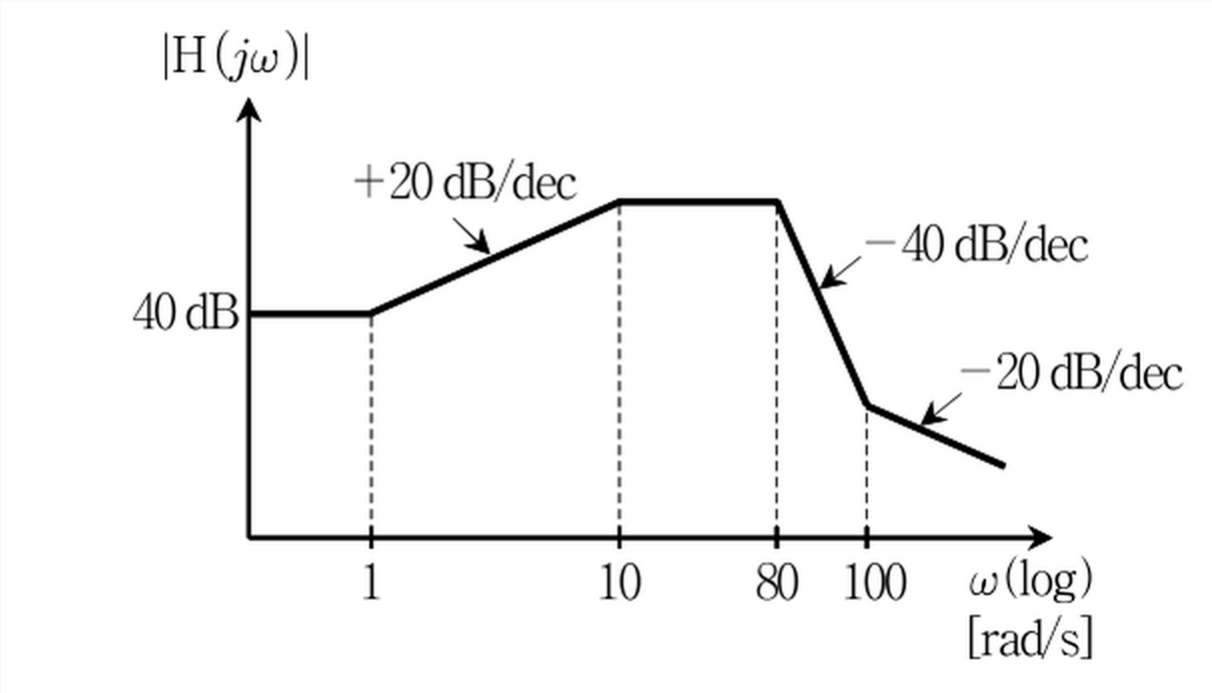
회로가 두 절점에서 각각 접지로 션트 저항이 있고 그 사이를 저항 하나가 잇는 파이형 구조라면, 절점방정식을 세워 $Y_{11} = \frac{1}{Z_a} + \frac{1}{Z_c}$, $Y_{22} = \frac{1}{Z_b} + \frac{1}{Z_c}$, $Y_{12} = Y_{21} = -\frac{1}{Z_c}$를 먼저 구하고, $Z = Y^{-1}$로 변환해 원하는 Z 성분을 뽑아낸다.

암기 포인트

T형 회로는 Z 파라미터가 직접 나오고(직렬-공통-직렬), 파이(Π)형 회로는 Y 파라미터가 직접 나온다(션트-직렬-션트). 서로 반대 형태를 요구하면 역행렬 변환이 필요하다는 것을 기억해 둔다.

NoteBase

문 13. 다음 보드선도(Bode plot)와 같이 표현될 수 있는 $H(j\omega)$는?



① $3.2 \times 10^2 \frac{(j\omega+1)(j\omega+100)}{(j\omega+10)(j\omega+80)}$
② $8 \times 10^3 \frac{(j\omega+1)(j\omega+100)}{(j\omega+10)(j\omega+80)}$
③ $6.4 \times 10^4 \frac{(j\omega+1)(j\omega+100)}{(j\omega+10)(j\omega+80)^2}$
④ $2.56 \times 10^4 \frac{(j\omega+1)(j\omega+100)}{(j\omega+10)(j\omega+80)^2}$

정답 3번

출제 포인트

보드 선도(점근선)의 꺾임점(코너 주파수)과 기울기 변화로부터 전달함수 $H(j\omega)$의 극점·영점 위치를 역으로 읽어내고, 저주파 구간의 dB값으로 이득상수를 계산하는 문제이다. 기울기가 +20dB/dec씩 증가하면 영점, -20dB/dec씩 감소하면 극점이 해당 주파수에 존재한다.

조건 정리

그래프를 보면 $\omega = 1$에서 40dB 평탄 구간이 끝나고 +20dB/dec로 상승하므로 $\omega = 1$에 영점이 있다. $\omega = 10$에서 다시 평탄해지므로(기울기가 +20에서 0으로 감소) $\omega = 10$에 극점이 있다. $\omega = 80$에서 기울기가 0에서 -40dB/dec로 바뀌므로 $\omega = 80$에 2중 극점이 있다. $\omega = 100$에서 기울기가 -40에서 -20dB/dec로 완화되므로(기울기가 +20만큼 증가) $\omega = 100$에 영점이 있다. 따라서 $H(j\omega)$는 분자에 $(j\omega + 1)(j\omega + 100)$, 분모에 $(j\omega + 10)(j\omega + 80)^2$ 형태를 가진다.

NoteBase

사용할 공식

표준형(각 코너 주파수를 1로 정규화한 극점·영점 형태)에서는 $\omega \to 0$일 때 $H(j\omega)$의 크기가 이득상수 K 그 자체가 된다. 여기서는 극점·영점이 정규화되지 않은 형태 $(j\omega+1)(j\omega+100)/[(j\omega+10)(j\omega+80)^2]$ 이므로, $\omega \to 0$에서의 크기는 $|H(0)| = K \cdot \frac{1\times 100}{10\times 80^2}$이 되고, 이 값이 그래프의 저주파 평탄 구간 값인 40dB, 즉 $20\log_{10}|H(0)| = 40$을 만족해야 한다. 이로부터 $|H(0)| = 10^{40/20} = 100$이다.

계산 과정

$|H(0)| = K \cdot \frac{1\times 100}{10\times 80^2} = K \cdot \frac{100}{10\times 6400} = \frac{K}{640}$이고 이 값이 100이어야 하므로
$K = 640 \times 100 = 64000 = 6.4 \times 10^4$이다. 검산: $K/640 = 100$이면 $20\log_{10} 100 = 40$dB로 그래프의 저주파 평탄 구간 값과 정확히 일치한다.

선지 판단

① $K = 3.2 \times 10^2 = 320$: $K/640 = 0.5$, $20\log_{10} 0.5 \approx -6$dB → 저주파 이득이 40dB가 아니므로 X
② $K = 8 \times 10^3 = 8000$: $K/640 = 12.5$, $20\log_{10} 12.5 \approx 21.9$dB → 40dB가 아니므로 X
③ $K = 6.4 \times 10^4 = 64000$: $K/640 = 100$, $20\log_{10} 100 = 40$dB → 그래프와 정확히 일치, 극점·영점 위치도 모두 일치하므로 O
④ $K = 2.56 \times 10^4 = 25600$: $K/640 = 40$, $20\log_{10} 40 \approx 32$dB → 40dB가 아니므로 X

오답 포인트

이 문제에서는 극점·영점의 위치(1, 10, 80(2중), 100)는 ①~④ 모두 동일하게 맞게 배치되어 있어서, 분자·분모의 형태만 보고 답을 고르면 틀리기 쉽다. 실제 변별점은 이득상수 K이며, 저주파 점근값(그래프의 40dB 평탄 구간)을 실제로 계산해 대입값과 비교해야 정답을 가려낼 수 있다. 또한 80에서의 극점이 2중 극점(지수 2)이라는 점을 놓치고 단순 곱으로 계산하면 K 값이 달라지므로 분모의 $(j\omega+80)^2$을 반드시 반영해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

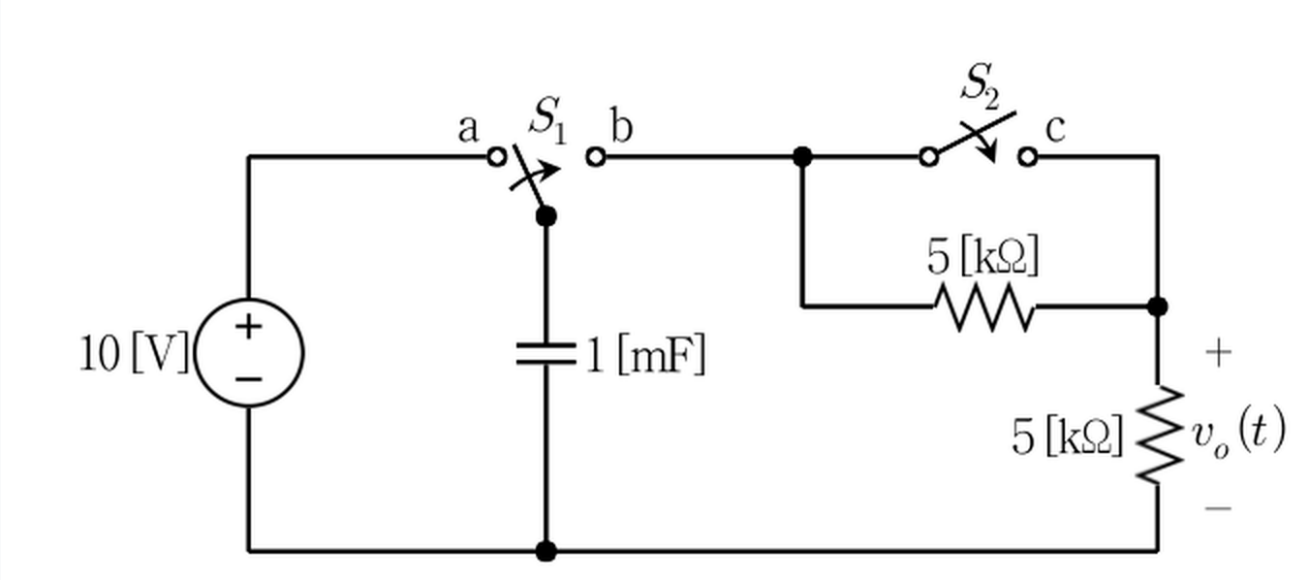
보드 선도 문제에서는 먼저 기울기가 바뀌는 주파수마다 극점(기울기 -20dB/dec씩 감소)인지 영점(기울기 +20dB/dec씩 증가)인지, 그리고 기울기 변화폭이 ±20인지 ±40인지(후자면 2중 극점·영점)를 표시한다. 그 다음 선지들의 분자·분모 형태가 이 배치와 맞는지 먼저 거르고, 남은 선지들 중에서는 $\omega \to 0$(또는 그래프의 평탄 구간)에서의 dB값을 실제로 계산해 이득상수 K를 확정한다.

암기 포인트

보드 선도에서 기울기가 +20dB/dec 증가하면 그 주파수는 영점, -20dB/dec 감소하면 극점이며, 변화폭이 ±40이면 2중 근이다. 저주파(또는 표준형 기준) 점근값의 dB를 실제 크기로 바꿀 때는 $20\log_{10}|H| = \text{dB}$, 즉 $|H| = 10^{\text{dB}/20}$을 사용한다.

NoteBase

문 14. 다음 회로에서 $t < 0$에서 정상상태에 도달하였다. 스위치 S_1이 $t = 0$인 순간에 점 a에서 점 b로 연결되고, 스위치 S_2가 $t = 10[s]$인 순간에 점 c에 연결되었다. $0 \le t < 10[s]$ 동안 출력전압 $v_o(t)[V]$는?



① $5e^{-t/2.5}$

② $5e^{-t/10}$

③ $10e^{-t/2.5}$

④ $10e^{-t/10}$

정답 2번

출제 포인트

스위치 전환이 일어나는 RC 회로의 과도상태 해석 문제이다. t<0의 정상상태에서 커패시터의 초기전압을 구하고, t=0 이후 새로 구성되는 회로의 시정수를 계산해 출력전압의 지수함수 형태를 맞추는 능력을 묻는다.

조건 정리

t<0에서는 회로가 정상상태에 도달했으므로 커패시터에는 전류가 흐르지 않고 커패시터는 개방 상태로 취급한다. 이때 스위치 S1이 a에 연결되어 있어 커패시터 상단은 10V 전원에 직접 연결되고, 그 경로에는 저항이 없으므로 커패시터 전압은 전원전압과 같은 10V로 충전되어 있다. t=0인 순간 S1이 a에서 b로 전환되면서 커패시터는 전원에서 분리되고, 대신 두 개의 5kΩ 저항이 직렬로 이루어진 방전 경로에 연결된다. 스위치 S2는 t=10s가 되어서야 c에 연결되므로, 0≤t<10s 구간에서는 S2가 열려 있는 상태이고 전류는 오직 수평 방향 5kΩ 저항을 거쳐 출력단의 5kΩ 저항(vo가 걸리는 저항)으로 흐른다. 즉 이 구간에서는 두 5kΩ 저항이 직렬로 연결되어 커패시터를 방전시키는 단순 RC 방전 회로가 된다.

NoteBase

사용할 공식

커패시터 방전 전압은 $v_C(t) = V_0 e^{-t/\tau}$의 형태를 따르며, 시정수는 $\tau = R_{eq}C$이다. 출력전압은 직렬로 흐르는 방전전류가 출력 저항에 걸리는 전압이므로 전압분배 관계 $v_o(t) = i(t) \cdot R_o$를 이용한다.

계산 과정

방전 경로의 합성저항은 두 5kΩ 저항이 직렬이므로 $R_{eq} = 5\text{k}\Omega + 5\text{k}\Omega = 10\text{k}\Omega$이다. 커패시턴스는 1mF이므로 시정수는 $\tau = R_{eq}C = (10 \times 10^3) \times (1 \times 10^{-3}) = 10\text{s}$이다. 커패시터의 초기전압은 $V_0 = 10\text{V}$이므로 방전전류는 $i(t) = \frac{V_0}{R_{eq}} e^{-t/\tau} = \frac{10}{10 \times 10^3} e^{-t/10}$이다. 출력전압은 이 전류가 출력측 5kΩ 저항에 걸리는 전압이므로 $v_o(t) = i(t) \times 5 \times 10^3 = \frac{10}{10 \times 10^3} \times 5 \times 10^3 \times e^{-t/10} = 5e^{-t/10}$이다. 따라서 $0 \le t < 10\text{s}$ 구간에서 출력전압은 $v_o(t) = 5e^{-t/10}$이다.

선지 판단

① $5e^{-t/2.5}$: 초기값 5V는 전압분배로 맞게 나오지만 시정수를 2.5s로 계산한 것은 합성저항을 잘못 구한 결과이므로 틀리다.
② $5e^{-t/10}$: 초기값 5V(전압분배 반영)와 시정수 10s(직렬저항 10kΩ×1mF)가 모두 계산 결과와 일치하므로 옳다.
③ $10e^{-t/2.5}$: 초기값을 커패시터 전압 10V 그대로 사용(전압분배를 반영하지 않음)하고 시정수도 2.5s로 잘못 구한 것이므로 틀리다.
④ $10e^{-t/10}$: 시정수 10s는 맞지만 초기값을 전압분배 없이 10V로 그대로 쓴 것이므로 틀리다.

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수 두 가지가 있다. 첫째, 시정수를 구할 때 방전 경로에 있는 두 5kΩ 저항을 모두 더하지 않고 하나만(5kΩ) 사용해 $\tau = 2.5\text{s}$로 잘못 계산하는 경우이다(①, ③). 둘째, 출력전압이 커패시터 전압 자체가 아니라 두 저항 사이의 전압분배 결과라는 점을 놓쳐 초기값을 10V로 그대로 쓰는 경우이다(③, ④). vo는 커패시터 전압이 아니라 출력측 저항에 걸리는 전압이므로 반드시 전압분배를 거쳐야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

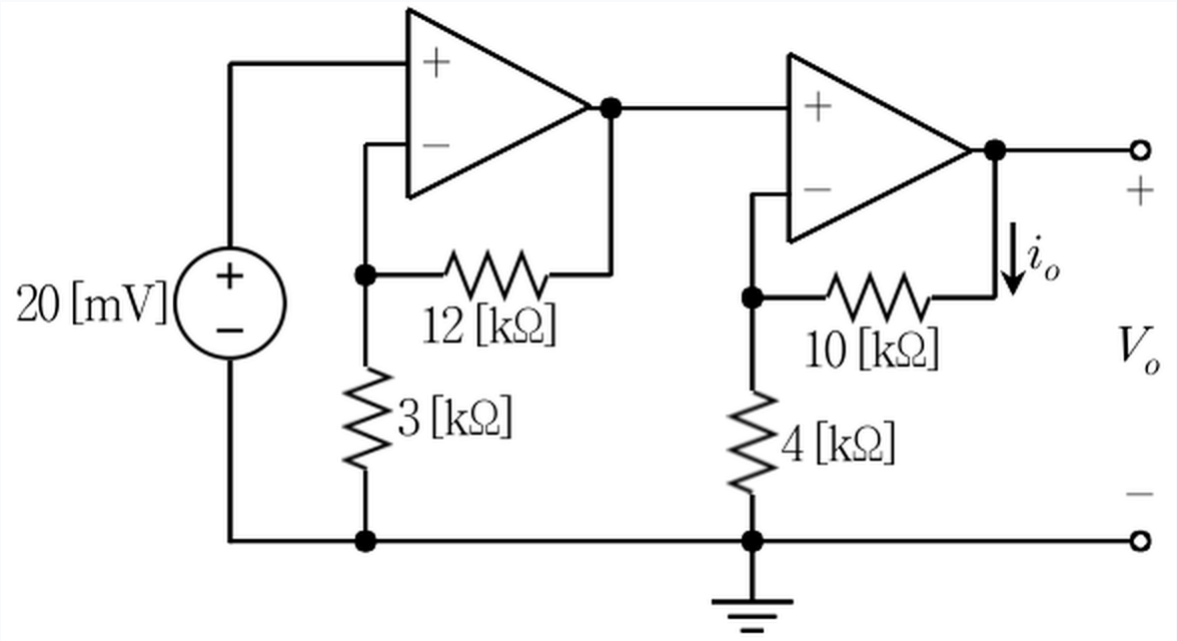
스위치 전환이 있는 RC(또는 RL) 문제는 항상 세 단계로 접근한다. 첫째, 전환 직전 정상상태에서 커패시터(또는 인덕터)의 초기값을 구한다(커패시터는 개방, 인덕터는 단락으로 취급). 둘째, 전환 직후의 회로를 다시 그려 방전(또는 충전) 경로의 등가저항을 구하고 시정수 $\tau = RC$(또는 L/R)를 계산한다. 셋째, 구하고자 하는 출력이 커패시터 전압 자체인지, 아니면 다른 저항에 걸리는 전압인지를 확인해 필요하면 전압분배를 적용한다.

암기 포인트

커패시터 방전전압은 $v_C(t) = V_0 e^{-t/RC}$, 시정수는 방전 경로에 있는 저항을 모두 더한 값으로 계산한다. 출력전압이 특정 저항에 걸리는 전압이면 전체 전류에 그 저항을 곱하는 전압분배를 반드시 적용해야 하며, 커패시터 전압과 출력전압을 혼동하지 않도록 주의한다.

NoteBase

문 15. 다음과 같이 이상적인 연산증폭기로 구성된 회로에서 $i_o[\mu A]$는?



① 25

② 30

③ 35

④ 40

정답 1번

출제 포인트

이상적 연산증폭기 2개가 종속(cascade)으로 연결된 비반전 증폭기 회로에서 각 단의 출력전압을 순서대로 구한 뒤, 마지막 단의 궤환저항에 흐르는 전류로 출력전류 i_o를 계산하는 문제이다. 이상적 연산증폭기의 두 가지 핵심 성질(가상 단락, 입력단 무전류)을 두 단 모두에 반복 적용할 수 있어야 한다.

조건 정리

1단: (+)입력단에 20[mV] 전압원이 연결되고, (-)입력단 노드는 12[kΩ](출력 쪽)과 3[kΩ](접지 쪽)으로 이루어진 궤환망에 물려 있다. 2단: (+)입력단에 1단 출력전압이 그대로 연결되고, (-)입력단 노드는 10[kΩ](출력 쪽)과 4[kΩ](접지 쪽)으로 이루어진 궤환망에 물려 있다. 출력전류 i_o는 2단 출력 노드에서 외부 단자 V_o 쪽으로 흘러나가는 전류이며, 외부 단자에는 별도의 부하가 없으므로 2단 출력이 공급하는 전류는 전량 10[kΩ] 궤환저항을 통해 되돌아 들어간다.

NoteBase

사용할 공식

이상적 연산증폭기의 가상 단락(virtual short): $V_+ = V_-$. 입력단 무전류이므로 궤환망의 두 저항에는 같은 전류가 흐른다. 접지된 저항 R_2와 출력 쪽 저항 R_1이 (-)입력단 노드에서 만나는 비반전 증폭기의 출력식은 $V_{out} = V_- \times \frac{R_1 + R_2}{R_2}$이다. 마지막으로 궤환저항 양단 전압차를 저항값으로 나누면 그 저항에 흐르는 전류, 즉 i_o가 된다: $i_o = \frac{V_o - V_{-2}}{10\text{k}\Omega}$.

계산 과정

1단: 가상 단락에 의해 (-)입력단 노드 전압 $V_{-1} = V_{+1} = 20\text{mV}$이다. 12[kΩ]과 3[kΩ]에는 같은 전류가 흐르므로 1단 출력전압은 $V_1 = V_{-1} \times \frac{12\text{k}\Omega + 3\text{k}\Omega}{3\text{k}\Omega} = 20\text{mV} \times 5 = 100\text{mV}$이다.
2단: 2단 (+)입력단에는 1단 출력전압 100[mV]가 그대로 걸리므로 가상 단락에 의해 $V_{-2} = 100\text{mV}$이다. 10[kΩ]과 4[kΩ]에도 같은 전류가 흐르므로 2단 출력전압은
$V_o = V_{-2} \times \frac{10\text{k}\Omega + 4\text{k}\Omega}{4\text{k}\Omega} = 100\text{mV} \times 3.5 = 350\text{mV}$이다.
외부 단자에는 부하가 없으므로 2단 출력전류는 모두 10[kΩ] 궤환저항으로 흘러 들어간다. 따라서
$i_o = \frac{V_o - V_{-2}}{10\text{k}\Omega} = \frac{350\text{mV} - 100\text{mV}}{10\text{k}\Omega} = \frac{250\text{mV}}{10\text{k}\Omega} = 25\ \mu\text{A}$이다.

선지 판단

① 25 — O. 위 계산 과정대로 $i_o = 25\ \mu$A이므로 정답이다.
② 30 — X. 1단 이득을 3배(=12k/4k 식 등)로 잘못 잡거나 2단 궤환전류 계산에서 분자·분모를 바꿔 넣으면 나오는 오답이다.
③ 35 — X. 2단 이득 3.5를 그대로 전류 단위처럼 착각하거나 두 단의 이득을 곱하지 않고 더하는 식으로 계산하면 나오는 오답이다.
④ 40 — X. 1단 이득과 2단 이득을 각각 4, 4로 어림잡아 잘못 곱하거나 궤환저항을 10[kΩ] 대신 다른 값으로 잘못 대입하면 나오는 오답이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 비반전 증폭기 이득식을 $\frac{R_1}{R_2}$로만 쓰고 1을 더하지 않는 것이다(정확히는 궤환저항과 접지저항의 합을 접지저항으로 나눈 값). 또한 i_o를 2단 출력전압 V_o를 10[kΩ]으로 그냥 나눈 값으로 착각하기 쉬운데, i_o는 출력전압 전체가 아니라 출력전압과 (-)입력단 노드전압(가상 단락 전압)의 차를 10[kΩ]으로 나눈 값임을 놓치면 안 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

연산증폭기가 종속으로 여러 단 연결된 회로는 앞단부터 순서대로 하나씩 출력전압을 구해 다음 단의 입력으로 넘긴다. 각 단에서 가상 단락으로 (-)입력단 전압을 확정한 뒤, 궤환저항 두 개가 만드는 전압분배 관계로 출력전압을 구하고, 마지막에 궤환저항에 흐르는 전류를 옴의 법칙으로 구하면 출력전류가 나온다.

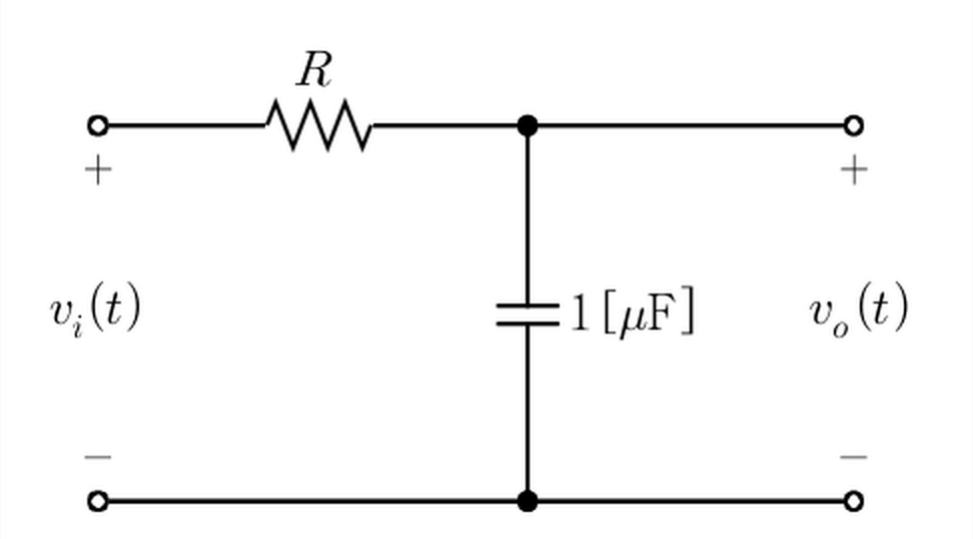
NoteBase

암기 포인트

비반전 증폭기 출력전압 $V_{out} = V_- \times \frac{R_{feedback} + R_{ground}}{R_{ground}}$, 궤환저항에 흐르는 전류 $i = \frac{V_{out} - V_-}{R_{feedback}}$을 세트로 외워 둔다.

NoteBase

문 16. 전달함수 $H(s)=\frac{V_o(s)}{V_i(s)}$를 갖는 저역통과필터를 다음과 같이 구성하였다. 차단주파수가 $\frac{2}{\pi}$[kHz]가 되도록 하는 저항 R[Ω]은?



① 250

② 280

③ 300

④ 320

정답 1번

출제 포인트

R과 C로 이루어진 1차 저역통과필터에서 차단주파수(모서리 주파수)와 R, C 값 사이의 관계식을 세울 수 있는지를 묻는다. 차단주파수가 헤르츠 단위로 주어졌을 때 이를 각주파수로 바꾸어 대입하는 과정이 핵심이다.

조건 정리

회로는 입력단에 저항 R이 직렬로 연결되고 출력단 양단에 커패시터 $C=1[\mu\text{F}]$가 병렬로 연결된 구조이므로 전형적인 1차 RC 저역통과필터이다. 차단주파수는 $f_c=\frac{2}{\pi}$[kHz]로 주어졌다.

사용할 공식

전달함수는 $H(s)=\frac{1/(sC)}{R+1/(sC)}=\frac{1}{1+sRC}$이므로 차단 각주파수는 $\omega_c=\frac{1}{RC}$이다. 또한 각주파수와 주파수의 관계는 $\omega_c=2\pi f_c$이다.

NoteBase

계산 과정

먼저 차단 각주파수를 구한다. $f_c = \frac{2}{\pi}[\text{kHz}] = \frac{2000}{\pi}[\text{Hz}]$이므로 $\omega_c = 2\pi f_c = 2\pi \times \frac{2000}{\pi} = 4000[\text{rad/s}]$이다. 이제 $\omega_c = \frac{1}{RC}$에서 R을 구하면 $R = \frac{1}{\omega_c C} = \frac{1}{4000 \times 1 \times 10^{-6}} = \frac{1}{0.004} = 250[\Omega]$이다.

선지 판단

① 250 — 계산 결과와 정확히 일치한다.
② 280 — $\omega_c = 2\pi f_c$ 변환 과정을 생략하고 f_c 값을 그대로 $\frac{1}{RC}$에 대입하는 등 계산상의 오차가 섞였을 때 나오는 값으로 옳지 않다.
③ 300 — 2π를 반영하지 않고 대략적인 값으로 근사할 때 나올 수 있는 값이나 정확한 계산 결과와 다르므로 옳지 않다.
④ 320 — 마찬가지로 각주파수 변환을 잘못 적용했을 때 나올 수 있는 값으로 옳지 않다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 주어진 차단주파수 $\frac{2}{\pi}$[kHz]를 각주파수로 착각하여 2π를 곱하지 않고 그대로 $\omega_c = \frac{1}{RC}$에 대입하는 것이다. 이 경우 R이 실제 값과 크게 달라진다. 또한 kHz를 Hz로 단위 환산하는 것을 빠뜨리면 답이 1000배 어긋나므로 단위 변환도 반드시 확인해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

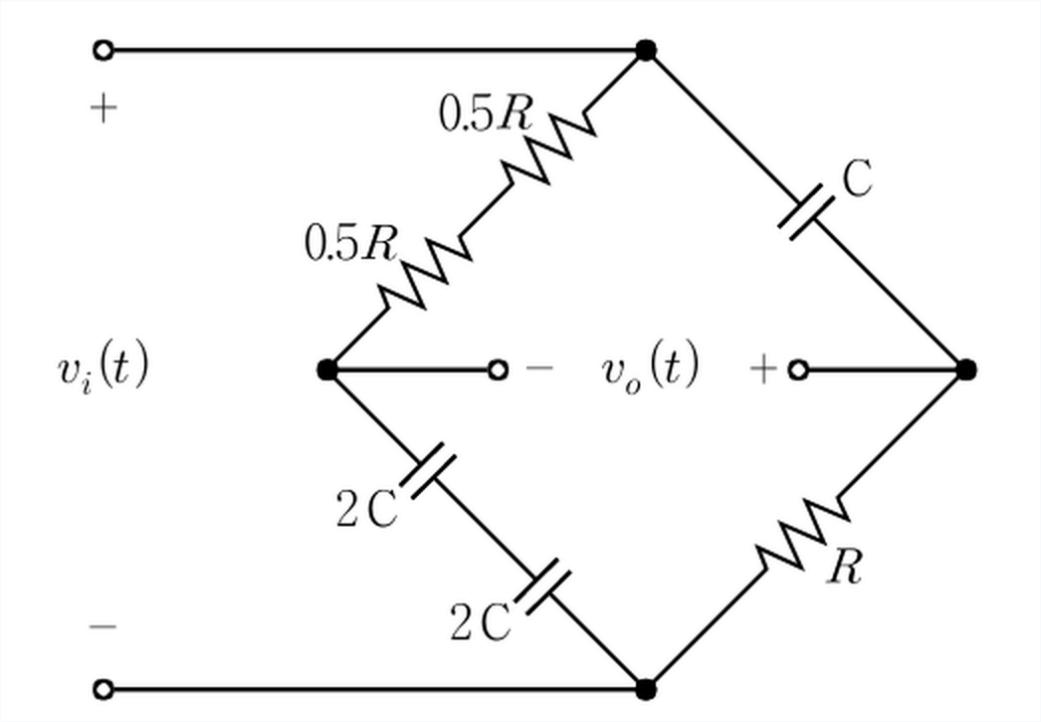
RC 저역통과필터 문제는 항상 $\omega_c = \frac{1}{RC} = 2\pi f_c$ 관계식부터 세운 뒤, 주어진 주파수 단위를 헤르츠로 통일하고 대입한다. 분수 형태로 주어진 주파수($\frac{k}{\pi}$ 꼴)는 2π를 곱하면 π가 약분되어 계산이 단순해지는 경우가 많으므로 이 형태를 보면 먼저 각주파수로 바꿔볼 것을 염두에 둔다.

암기 포인트

1차 RC 저역통과필터의 차단 각주파수는 $\omega_c = \frac{1}{RC}$이고, 주파수와의 관계는 $\omega_c = 2\pi f_c$이다. 두 식을 결합하면 $R = \frac{1}{2\pi f_c C}$로 바로 계산할 수 있다.

NoteBase

문 17. 다음 회로의 전달함수 $H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$는? (단, 각 소자의 초기 축적에너지는 없다고 가정한다)



① $\frac{CRs-1}{CRs+1}$
② $\frac{CRs+1}{CRs-1}$
③ $\frac{1-CRs}{CRs+1}$
④ $\frac{1}{CRs+1}$

정답 1번

출제 포인트

회로는 두 개의 전압분배 가지가 마주보는 브리지 형태로 구성되어 있다. 입력 $V_i(s)$는 브리지의 위-아래 두 노드 사이에 걸리고, 출력 $V_o(s)$는 브리지의 좌-우 두 노드 사이 전압차로 정의된다. 이런 브리지형 회로는 각 변의 전압분배식을 따로 구한 뒤 두 값을 빼는 방식으로 전달함수를 구하는 것이 핵심이다.

조건 정리

상단 노드를 기준전압 V_i, 하단 노드를 0으로 둔다. 좌측 변은 상단에서 좌측 노드까지 $0.5R$이 두 개 직렬로 이어져 있어 합성하면 R이고, 좌측 노드에서 하단까지는 $2C$ 두 개가 직렬로 이어져 있어 합성 임피던스는 $1/(Cs)$이다. 우측 변은 상단에서 우측 노드까지 C 하나이고 임피던스는 $1/(Cs)$, 우측 노드에서 하단까지는 R 하나이다. 출력 극성은 좌측 노드가 V_o의 (-), 우측 노드가 V_o의 (+)이므로 V_o = V_우측 - V_좌측이다.

NoteBase

사용할 공식

직렬 전압분배 공식을 좌측 변과 우측 변에 각각 적용한다. 좌측 변: V_좌측 = V_i · (1/(Cs))/(R+1/(Cs)). 우측 변: V_우측 = V_i · (R)/(1/(Cs)+R). 두 값의 차가 출력 전압이다: V_o = V_우측 - V_좌측.

계산 과정

좌측 변을 정리하면 V_좌측 = V_i · (1)/(1+RCs)이다. 우측 변은 분모와 분자에 Cs를 곱해 정리하면 V_우측 = V_i · (RCs)/(1+RCs)이다. 따라서 $V_o = V_i\left(\frac{RCs}{1+RCs} - \frac{1}{1+RCs}\right) = V_i \cdot \frac{RCs-1}{RCs+1}$이 되고, 전달함수는 $H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{CRs-1}{CRs+1}$이다.

선지 판단

① $\frac{CRs-1}{CRs+1}$: 계산 결과와 정확히 일치한다. 정답이다.
② $\frac{CRs+1}{CRs-1}$: 분자와 분모가 서로 뒤바뀐 형태로, 우측 변과 좌측 변을 반대로 빼거나(즉 V_좌측-V_우측의 역수를 취하는 식의 오류) 극성을 반대로 잡을 때 나오는 오답이다.
③ $\frac{1-CRs}{CRs+1}$: 분자의 부호만 반대인 형태로, V_o = V_좌측 - V_우측으로 극성을 거꾸로 잡았을 때 나오는 오답이다.
④ $\frac{1}{CRs+1}$: 좌측 변의 전압분배식 하나만 구하고 우측 변의 기여를 빼는 과정을 빠뜨렸을 때 나오는 오답이다.

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 두 가지이다. 첫째, 출력 단자의 극성(좌측이 -, 우측이 +)을 반대로 읽어 V_o = V_좌측-V_우측으로 계산하면 부호가 통째로 뒤집혀 ③번이 나온다. 둘째, 좌측 변의 $0.5R$ 두 개와 $2C$ 두 개가 각각 직렬로 합쳐져 R과 $1/(Cs)$가 된다는 점을 놓치고 값을 잘못 합성하면 전혀 다른 분수 형태가 나온다. 브리지 회로에서는 반드시 좌측 변과 우측 변을 완전히 독립적으로 각각 전압분배 계산한 뒤 마지막에 정해진 극성대로 빼야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

브리지형 회로에서 전달함수를 구하라는 문제가 나오면, 먼저 입력이 걸리는 두 노드와 출력이 걸리는 두 노드를 확인하고, 출력 노드를 지나는 두 변(좌측 변, 우측 변)을 각각 독립적인 전압분배기로 취급한다. 각 변의 합성 임피던스를 구해 전압분배식을 세운 뒤, 출력의 (+) 쪽 변에서 구한 전압에서 (-) 쪽 변에서 구한 전압을 빼면 된다.

암기 포인트

브리지 회로의 출력 전압은 항상 (두 변을 각각 전압분배해서 구한 값의 차)이고, 극성 방향을 먼저 확인한 뒤 부호를 정하는 습관을 들여 둔다. 직렬 커패시터 두 개(값이 같을 때)는 그 값의 절반이 되고, 직렬 저항 두 개(값이 같을 때)는 그 값의 두 배가 된다는 합성 규칙도 함께 기억해 둔다.

NoteBase

문 18. 임의의 회로에서 부하의 어드미턴스가 $Y_L = 0.1 - j0.2[\mathrm{S}]$이다. 이 부하에 소자를 병렬로 연결하여 역률을 1로 만들고자 할 때, 사용 가능한 소자의 종류와 소자의 크기는? (단, 각주파수는 $\omega = 1[\mathrm{rad/s}]$이다)

① 소자: 인덕터, 크기: 0.1[H]

② 소자: 인덕터, 크기: 0.2[H]

③ 소자: 커패시터, 크기: 0.1[F]

④ 소자: 커패시터, 크기: 0.2[F]

정답 4번

출제 포인트

부하의 어드미턴스가 주어졌을 때 역률을 1(무효분 0)로 만들기 위해 병렬로 추가해야 할 소자의 종류와 크기를 어드미턴스 합성으로 구하는 문제이다. 병렬 회로에서는 어드미턴스가 서로 더해지므로, 허수부(서셉턴스)의 부호와 크기를 상쇄시키는 소자를 찾는 것이 핵심이다.

조건 정리

부하 어드미턴스 $Y_L = 0.1 - j0.2[\mathrm{S}]$, 각주파수 $\omega = 1[\mathrm{rad/s}]$이다. 허수부가 음수($-j0.2$)이므로 부하는 유도성(인덕터 성분)이다. 병렬 소자를 추가하여 전체 어드미턴스의 허수부를 0으로 만들어야 역률이 1이 된다.

사용할 공식

인덕터의 어드미턴스: $Y_{ind} = \frac{1}{j\omega L} = -j\frac{1}{\omega L}$ (음의 허수부, 유도성)
커패시터의 어드미턴스: $Y_{cap} = j\omega C$ (양의 허수부, 용량성)
병렬 연결 시 전체 어드미턴스: $Y_{total} = Y_L + Y_{add}$
역률 1 조건: $\mathrm{Im}(Y_{total}) = 0$

계산 과정

부하의 허수부가 $-j0.2[\mathrm{S}]$이므로, 이를 상쇄하려면 $+j0.2[\mathrm{S}]$의 어드미턴스를 병렬로 더해야 한다. 양의 허수부를 만드는 소자는 커패시터이므로 인덕터가 아닌 커패시터를 선택해야 한다.
커패시터의 어드미턴스는 $Y_{cap} = j\omega C$이므로, $\omega C = 0.2$를 만족해야 한다.
$\omega = 1[\mathrm{rad/s}]$이므로 $C = 0.2[\mathrm{F}]$이다.
따라서 병렬로 연결해야 할 소자는 커패시터이고 크기는 0.2[F]이다.

NoteBase

선지 판단

① 인덕터, 0.1 [H] → X. 인덕터를 추가하면 어드미턴스 허수부가 더 음의 방향으로 커져 오히려 무효분이 늘어난다. 부하와 같은 유도성 소자로는 상쇄가 불가능하다.
② 인덕터, 0.2 [H] → X. 마찬가지로 인덕터는 음의 허수부를 더하는 소자이므로 유도성 부하의 상쇄용으로 쓸 수 없다.
③ 커패시터, 0.1 [F] → X. 소자 종류는 맞으나 크기가 틀렸다. $\omega C = 1 \times 0.1 = 0.1$이 되어 $+j0.1$[S]만 더해지므로 $-j0.2$[S]를 완전히 상쇄하지 못한다.
④ 커패시터, 0.2 [F] → O. $\omega C = 1 \times 0.2 = 0.2$이므로 $+j0.2$[S]가 더해져 부하의 $-j0.2$[S]를 정확히 상쇄한다. 전체 어드미턴스가 0.1[S]의 순저항 성분만 남아 역률이 1이 된다.

오답 포인트

부하 어드미턴스의 허수부 부호($-j$)만 보고 인덕터를 상쇄용으로 골라야 한다고 착각하기 쉬운데, 같은 부호(유도성)의 소자를 더하면 무효분이 오히려 커진다는 점을 놓치면 안 된다. 또한 소자 종류(커패시터)는 맞혀도 $\omega C = B$ 관계식에서 ω를 빠뜨리거나 곱셈을 잘못하여 크기를 0.1 F로 잘못 계산하는 실수가 흔하다.

다시 나오면 이렇게 판단

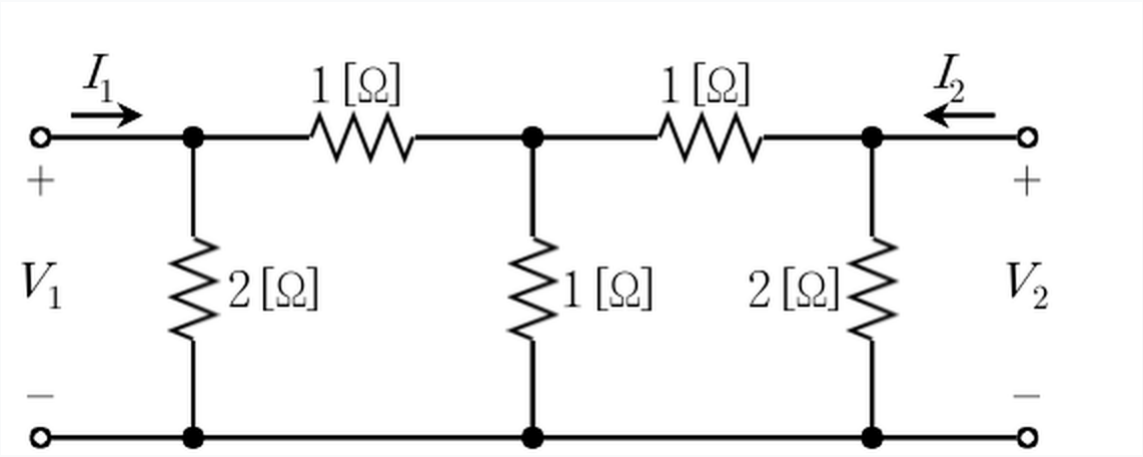
어드미턴스 표현에서 허수부(서셉턴스) 부호가 음수이면 유도성, 양수이면 용량성 부하임을 먼저 확인한다. 역률 1을 만들려면 병렬로 반대 부호의 서셉턴스를 정확히 같은 크기로 더해야 하므로, 커패시터라면 ωC, 인덕터라면 $1/(\omega L)$을 부하 서셉턴스의 절댓값과 같게 놓고 풀면 된다.

암기 포인트

어드미턴스 $Y = G + jB$에서 $B > 0$은 용량성(커패시터), $B < 0$은 유도성(인덕터)이다. 병렬 역률 개선은 커패시터의 어드미턴스 $j\omega C$로 유도성 무효분을 상쇄하며, 상쇄 조건은 $\omega C = |B_L|$이다.

NoteBase

문 19. 다음 2-포트 회로망의 전송 파라미터 T는?



① bmatrix (3)/(2) & 1 \ (5)/(4) & (3)/(2) bmatrix

② bmatrix (3)/(2) & 1 \ (5)/(4) & 3 bmatrix

③ bmatrix (7)/(2) & 3 \ (15)/(2) & (7)/(2) bmatrix

④ bmatrix (7)/(2) & 3 \ (15)/(4) & (7)/(2) bmatrix

정답 4번

출제 포인트

직렬-병렬(래더형) 저항 회로의 전송 파라미터(ABCD 파라미터) T=bmatrixA & B\ C & Dbmatrix를 구하는 문제이다. 입력측 전압·전류 (V_1, I_1)와 출력측 전압·전류 (V_2, I_2) 사이의 관계식 $V_1 = AV_2 - BI_2$, $I_1 = CV_2 - DI_2$를 만족하는 A, B, C, D를 구하는 것이 핵심이며, 회로가 여러 단(section)의 조합이므로 각 단을 개별 2-포트로 쪼개 전송 파라미터 행렬을 순서대로 곱하는 방식(종속 접속, cascade connection)으로 접근한다.

조건 정리

회로는 입력 단자에서 출력 단자로 가면서 다음 순서로 구성된다. 첫째, 입력단에서 접지로 병렬 저항 2Ω이 연결된다. 둘째, 직렬 저항 1Ω이 다음 마디로 연결된다. 셋째, 그 마디에서 접지로 병렬 저항 1Ω이 연결된다. 넷째, 다시 직렬 저항 1Ω이 다음 마디(출력단)로 연결된다. 다섯째, 출력단에서 접지로 병렬 저항 2Ω이 연결된다. 즉 병렬 2Ω - 직렬 1Ω - 병렬 1Ω - 직렬 1Ω - 병렬 2Ω의 5단 사다리 구조이며, 각 단을 기본 2-포트 소자로 보고 전송 파라미터를 순서대로 곱하면 전체 회로의 T 파라미터를 얻을 수 있다.

NoteBase

사용할 공식

병렬(shunt)로 연결된 저항 R(어드미턴스 $Y = 1/R$)의 전송 파라미터 행렬은 bmatrix1 & 0\ Y & 1bmatrix이고, 직렬(series)로 연결된 저항 Z의 전송 파라미터 행렬은 bmatrix1 & Z\ 0 & 1bmatrix이다. 여러 2-포트가 종속(cascade)으로 연결되면 전체 전송 파라미터는 각 단의 행렬을 입력에서 출력 순서대로 곱한 것과 같다: T_전체 = T_1 T_2 T_3 T_4 T_5.

계산 과정

회로 순서대로 다섯 개의 행렬을 정의한다. 입력단 병렬 2Ω: $Y_1 = \frac{1}{2}$ → M_1=bmatrix1&0\ (1)/(2)&1bmatrix. 직렬 1Ω: M_2=bmatrix1&1\ 0&1bmatrix. 중간 병렬 1Ω: $Y_2 = 1$ → M_3=bmatrix1&0\ 1&1bmatrix. 직렬 1Ω: M_4=bmatrix1&1\ 0&1bmatrix. 출력단 병렬 2Ω: $Y_3 = \frac{1}{2}$ → M_5=bmatrix1&0\ (1)/(2)&1bmatrix.

먼저 M_1 M_2 = bmatrix1&0\ (1)/(2)&1bmatrixbmatrix1&1\ 0&1bmatrix = bmatrix1&1\ (1)/(2)&(3)/(2)bmatrix이다.

다음으로 (M_1M_2)M_3 = bmatrix1&1\ (1)/(2)&(3)/(2)bmatrixbmatrix1&0\ 1&1bmatrix = bmatrix2&1\ 2&(3)/(2)bmatrix이다.

다음으로 (·s)M_4 = bmatrix2&1\ 2&(3)/(2)bmatrixbmatrix1&1\ 0&1bmatrix = bmatrix2&3\ 2&(7)/(2)bmatrix이다.

마지막으로 (·s)M_5 = bmatrix2&3\ 2&(7)/(2)bmatrixbmatrix1&0\ (1)/(2)&1bmatrix = bmatrix2+(3)/(2)&3\ 2+(7)/(4)&(7)/(2)bmatrix = bmatrix(7)/(2)&3\ (15)/(4)&(7)/(2)bmatrix이다.

따라서 전체 전송 파라미터는 T=bmatrix(7)/(2)&3\ (15)/(4)&(7)/(2)bmatrix로 구해진다.

선지 판단

① bmatrix3/2 & 1\ 5/4 & 3/2bmatrix: X. A, D 값이 실제 계산값 7/2보다 작게 나온 오답으로, 병렬-직렬 순서를 두 단이 아닌 한 단으로 축소 계산하거나 곱셈 순서를 일부 생략했을 때 나올 수 있는 값이다.
② bmatrix3/2 & 1\ 5/4 & 3bmatrix: X. 마찬가지로 A값이 축소되어 있고 D값도 계산값과 다르다.
③ bmatrix7/2 & 3\ 15/2 & 7/2bmatrix: X. A=7/2, B=3, D=7/2는 정답과 같지만 C값이 15/2로, 정답의 15/4와 다르다. 마지막 병렬 2Ω 단을 곱하는 과정에서 분수 계산을 잘못하면(2+7/4를 15/2로 오산) 나오는 값이다.
④ bmatrix7/2 & 3\ 15/4 & 7/2bmatrix: O. 다섯 단(병렬-직렬-병렬-직렬-병렬)의 전송 파라미터 행렬을 순서대로 곱한 계산 결과와 정확히 일치한다.

NoteBase

오답 포인트

이 문제의 함정은 두 가지이다. 첫째, 병렬(shunt) 소자의 전송 파라미터는 저항 R이 아니라 어드미턴스 $Y = 1/R$이 C 위치에 들어간다는 점을 놓치면 값이 뒤집힌다. 둘째, 다섯 개의 2×2 행렬을 곱하는 과정에서 한 단이라도 순서를 바꾸거나 분수 계산(예: $2 + \frac{7}{4}$)을 잘못하면 A, D는 맞아도 C만 어긋나는 식으로 오답이 나온다(선지 ③이 그 예이다). 행렬 곱은 교환법칙이 성립하지 않으므로 반드시 입력단에서 출력단 방향 순서대로 곱해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

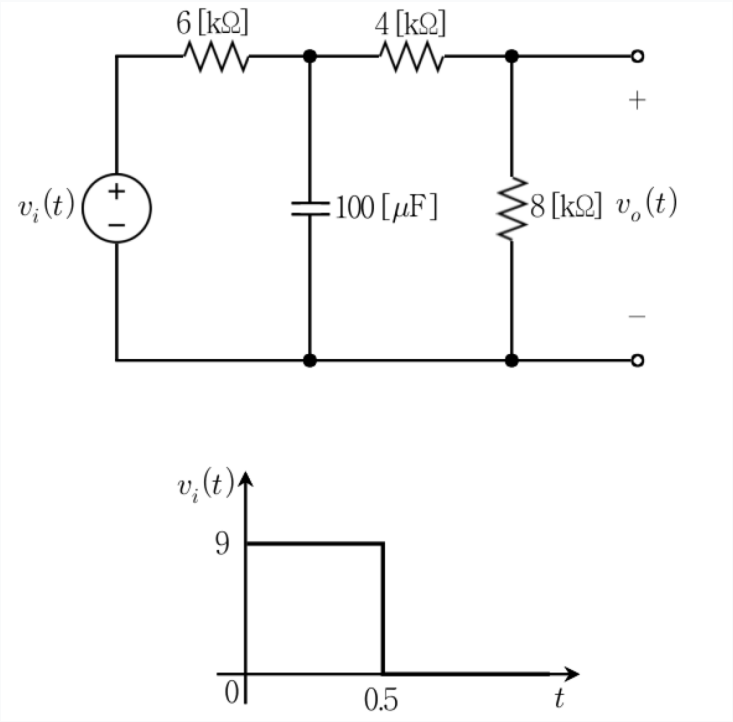
래더형(사다리형) 2-포트 회로가 나오면 먼저 회로를 입력에서 출력 방향으로 병렬-직렬-병렬-직렬-병렬 순서의 기본 소자로 분해한다. 병렬 저항 R은 bmatrix1&0\ 1/R&1bmatrix, 직렬 저항 Z는 bmatrix1&Z\ 0&1bmatrix로 놓고, 반드시 입력 쪽 소자부터 출력 쪽 소자 순서로 행렬을 곱해 나간다. 대칭 구조(양 끝 병렬값이 같은 경우)이면 A=D가 되는지로 계산 검산을 할 수 있다.

암기 포인트

병렬 소자 전송 행렬은 bmatrix1&0\ Y&1bmatrix(C 위치에 어드미턴스), 직렬 소자 전송 행렬은 bmatrix1&Z\ 0&1bmatrix(B 위치에 임피던스)로 외워 둔다. 여러 단이 종속 연결된 회로의 전체 T 파라미터는 각 단 행렬을 입력에서 출력 순서로 곱한 것과 같다는 점, 그리고 좌우 대칭 회로는 A=D가 된다는 점을 함께 기억해 둔다.

NoteBase

문 20. 다음 회로의 입력전압(v_i)이 그림과 같을 때, 이 회로에 대한 설명으로 옳은 것은?



① 입력전압은 $V_i(s) = \left(\frac{9}{s}\right)e^{-0.5s}$이다.

② 전달함수는 $H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{1}{0.9(s+2.25)}$이다.

③ 출력전압은 $V_o(s) = \left(\frac{4}{s} - \frac{4}{s+2.5}\right)(1 - e^{-0.5s})$이다.

④ 출력전압은 $v_o(t) = (4 - 4e^{-2.5(t-0.5)})u(t-0.5)$이다.

정답 3번

출제 포인트

구형 펄스 입력에 대한 RC 회로의 라플라스 변환과 전달함수, 그리고 시간응답까지 이어지는 회로 해석 능력을 종합적으로 묻는다. 입력전압의 라플라스 변환식을 세우는 능력, 마디해석으로 전달함수 $H(s) = V_o(s)/V_i(s)$를 구하는 능력, 부분분수 전개로 출력전압 $V_o(s)$를 구성하는 능력을 각각 확인해야 한다.

조건 정리

회로는 전압원 $v_i(t)$에 6[kΩ] 저항이 직렬로 연결되고, 그 뒤 노드(노드1)에 100[μF] 커패시터가 접지로, 다시 4[kΩ] 저항이 직렬로 다음 노드(노드2)까지 이어진다. 노드2에는 8[kΩ] 저항이 접지로 연결되어 있고 이 8[kΩ] 양단이 출력 $v_o(t)$이며 출력단자는 개방(무부하)이다. 입력전압은 $t = 0$에서 9[V]로 상승해 $t = 0.5$[s]까지 유지되다가 0으로 떨어지는 펄스이다. 출력단자가 개방이므로 노드2로 흘러든 전류는 전부 8[kΩ]을 통해 접지로 빠진다(4[kΩ]과 8[kΩ]에 흐르는 전류가 같다).

NoteBase

사용할 공식

구형 펄스는 두 계단함수의 차로 표현한다: $v_i(t) = 9[u(t) - u(t-0.5)]$, 라플라스 변환은 $V_i(s) = \frac{9}{s}(1 - e^{-0.5s})$이다. 커패시터의 s영역 임피던스는 $Z_C = \frac{1}{Cs}$이고, 마디해석(KCL)으로 각 노드에서 유입전류의 합이 0이 되는 방정식을 세운다. 마지막으로 부분분수 전개 $\frac{k}{s(s+a)} = \frac{k/a}{s} - \frac{k/a}{s+a}$를 이용해 시간영역으로 역변환할 수 있는 형태로 정리한다.

계산 과정

1) 입력전압의 라플라스 변환: $v_i(t) = 9[u(t) - u(t-0.5)]$이므로 $V_i(s) = \frac{9}{s}(1 - e^{-0.5s}) = \frac{9}{s} - \frac{9}{s}e^{-0.5s}$이다. 단순히 $\frac{9}{s}e^{-0.5s}$만 쓰면 t=0.5에서 켜지고 계속 유지되는 지연 계단이 되어 버려, 0.5초 후 다시 꺼지는 펄스를 나타내지 못한다.

2) 마디해석: 노드1 전압을 V_1, 노드2(출력) 전압을 V_o라 하면, 출력이 개방이므로 노드2에서는 $\frac{V_1 - V_o}{4000} = \frac{V_o}{8000}$이 성립하고, 이를 정리하면 $V_1 = 1.5V_o$이다.

노드1에서는 $\frac{V_i - V_1}{6000} = CsV_1 + \frac{V_1 - V_o}{4000}$이고, $C = 100 \times 10^{-6}$[F]이므로 $Cs = 10^{-4}s$이다. 여기에 $V_1 = 1.5V_o$를 대입하면

$$\frac{V_i}{6000} - \frac{1.5V_o}{6000} = 1.5 \times 10^{-4}sV_o + \frac{0.5V_o}{4000}$$

정리하면 $\frac{V_i}{6000} = 1.5 \times 10^{-4}sV_o + 1.25 \times 10^{-4}V_o + 2.5 \times 10^{-4}V_o = 1.5 \times 10^{-4}(s + 2.5)V_o$이다.

3) 전달함수: $H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{1}{6000 \times 1.5 \times 10^{-4}(s+2.5)} = \frac{1}{0.9(s+2.5)}$이다. 극점은 $s = -2.5$이며, 흔히 실수하기 쉬운 2.25가 아니다.

4) 출력전압: $V_o(s) = H(s)V_i(s) = \frac{1}{0.9(s+2.5)} \cdot \frac{9}{s}(1 - e^{-0.5s}) = \frac{10}{s(s+2.5)}(1 - e^{-0.5s})$이다.

부분분수 전개: $\frac{10}{s(s+2.5)} = \frac{A}{s} + \frac{B}{s+2.5}$에서 $A = \frac{10}{2.5} = 4$, $B = -4$이므로 $\frac{10}{s(s+2.5)} = \frac{4}{s} - \frac{4}{s+2.5}$이다.

따라서 $V_o(s) = (\frac{4}{s} - \frac{4}{s+2.5})(1 - e^{-0.5s})$이다.

선지 판단

① X: $V_i(s) = \frac{9}{s}e^{-0.5s}$로 쓰면 t=0.5초에 9[V]로 켜져서 계속 유지되는 지연 계단파가 되어 버려, 실제 파형(0~0.5초 구간에서만 9[V]이고 이후 0으로 꺼짐)과 다르다. 올바른 표현은 $V_i(s) = \frac{9}{s}(1 - e^{-0.5s})$이다.

② X: 마디해석 결과 극점은 $s + 2.25$가 아니라 $s + 2.5$이다. $H(s) = \frac{1}{0.9(s+2.5)}$가 옳다.

③ O: 계산 과정과 같이 $V_o(s) = (\frac{4}{s} - \frac{4}{s+2.5})(1 - e^{-0.5s})$로 정확히 일치한다.

④ X: $V_o(s)$를 역라플라스 변환하면 $v_o(t) = (4 - 4e^{-2.5t})u(t) - (4 - 4e^{-2.5(t-0.5)})u(t-0.5)$로, 0~0.5초 구간의 상승 성분과 0.5초 이후의 감쇠 성분이 함께 존재한다. 선지처럼 $(4 - 4e^{-2.5(t-0.5)})u(t-0.5)$ 항만 있는 것이 아니라, t=0부터 시작하는 $(4 - 4e^{-2.5t})u(t)$ 항을 빼먹었으며 부호 관계도 전체 응답을 나타내지 못한다.

NoteBase

오답 포인트

가장 흔한 실수는 구형 펄스를 하나의 지연 계단함수로만 표현하는 것과, 마디해석 중 계수 계산에서 2.5를 2.25로 잘못 약분하는 것이다. 또한 시간영역 응답을 쓸 때 0.5초 이전 구간의 상승 성분을 빠뜨리고 0.5초 이후의 감쇠 성분만 적는 실수도 자주 나온다. 출력단자가 개방(무부하)이라는 조건 때문에 4[kΩ]과 8[kΩ]에 흐르는 전류가 같다는 점을 반드시 이용해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

구형 펄스 입력이 나오면 우선 두 계단함수의 차 $v(t) = A[u(t-t_1) - u(t-t_2)]$ 꼴로 표현하고 라플라스 변환한다. 이후 전달함수를 구할 때는 출력단자의 개방/단락 여부를 먼저 확인해 전류 경로를 정확히 설정하고, 마디해석 결과를 분수식으로 남겨 계수 계산 실수를 줄인다. 마지막으로 부분분수 전개는 항상 원래 식에 대입해 통분값이 일치하는지 검산한다.

암기 포인트

구형 펄스 $A[u(t-t_1) - u(t-t_2)]$의 라플라스 변환은 $\frac{A}{s}(e^{-t_1 s} - e^{-t_2 s})$이다. 커패시터의 s영역 임피던스는 $\frac{1}{Cs}$이며, 출력단자가 개방이면 마지막 저항으로만 전류가 빠져나간다는 점을 기억해 둔다. 부분분수 공식 $\frac{k}{s(s+a)} = \frac{k/a}{s} - \frac{k/a}{s+a}$도 함께 외워 둔다.

NoteBase