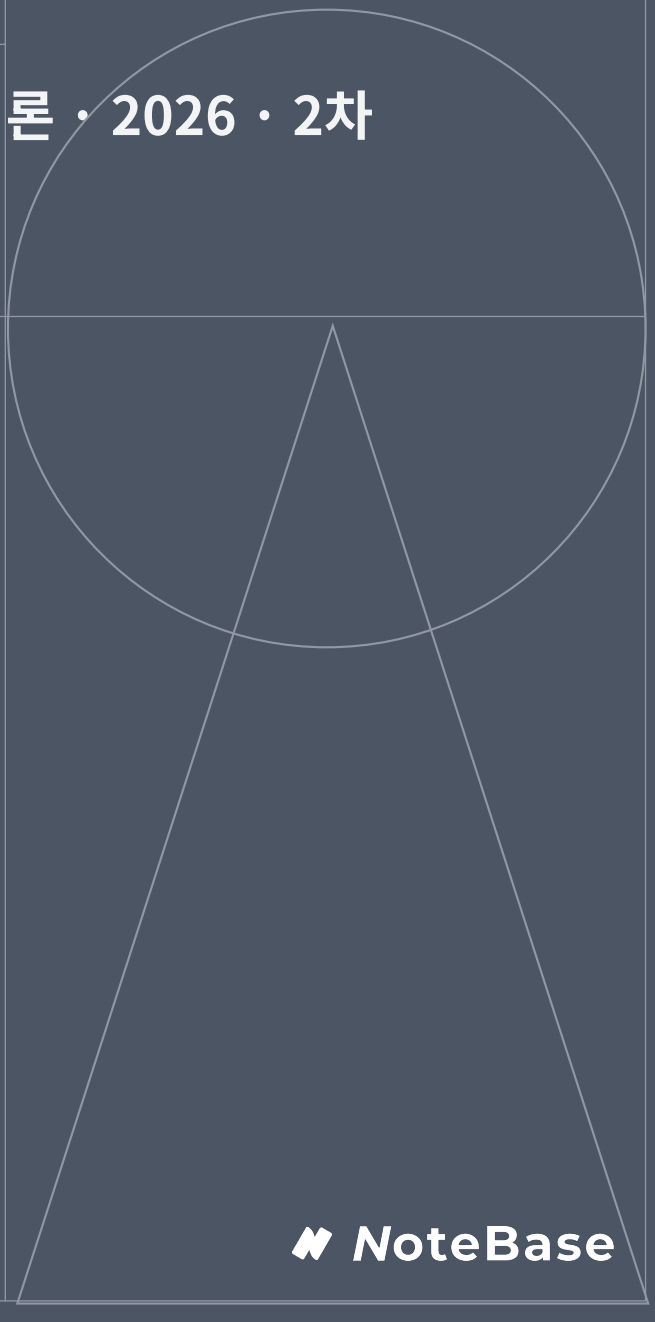
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 회로이론 · 2026 · 2차



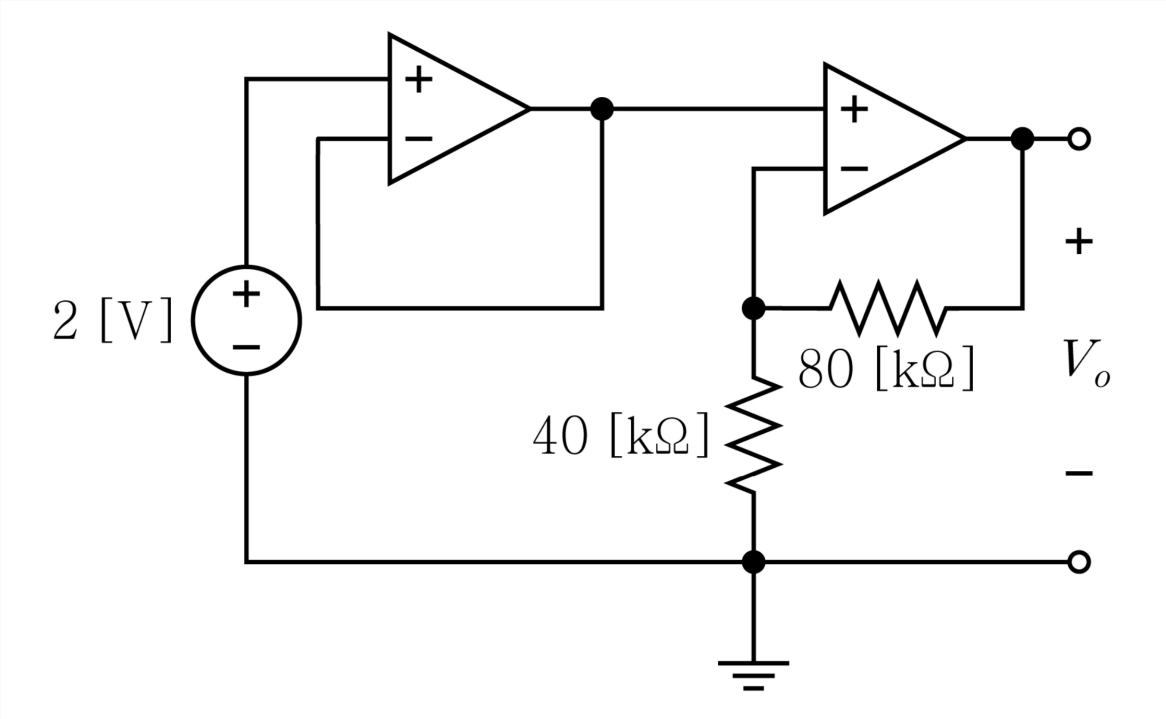
NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 회로이론 · 2026 · 2차

공무원/국가직/7급 · 회로이론 · 2026 · 2차

문 1. 다음 회로에서 전압 V_o [V]는? (단, 연산증폭기는 이상적이다)



① −6

② 0

③ 6

④ 12

정답 3번

간단한 해설

첫 번째 연산증폭기는 전압 팔로어이므로 2 V를 그대로 전달한다. 두 번째 연산증폭기는 이를 **3배로 증폭**하는 비반전 증폭기이므로 출력 전압은 6 V이다.

NoteBase

계산 과정

이상적 연산증폭기의 입력 단자로는 전류가 흐르지 않는다. 두 증폭기 모두 출력이 반전 입력으로 되돌아가는 **음의 피드백**이 걸려 있으므로, 선형 동작에서 비반전 입력 전압과 반전 입력 전압은 같다.

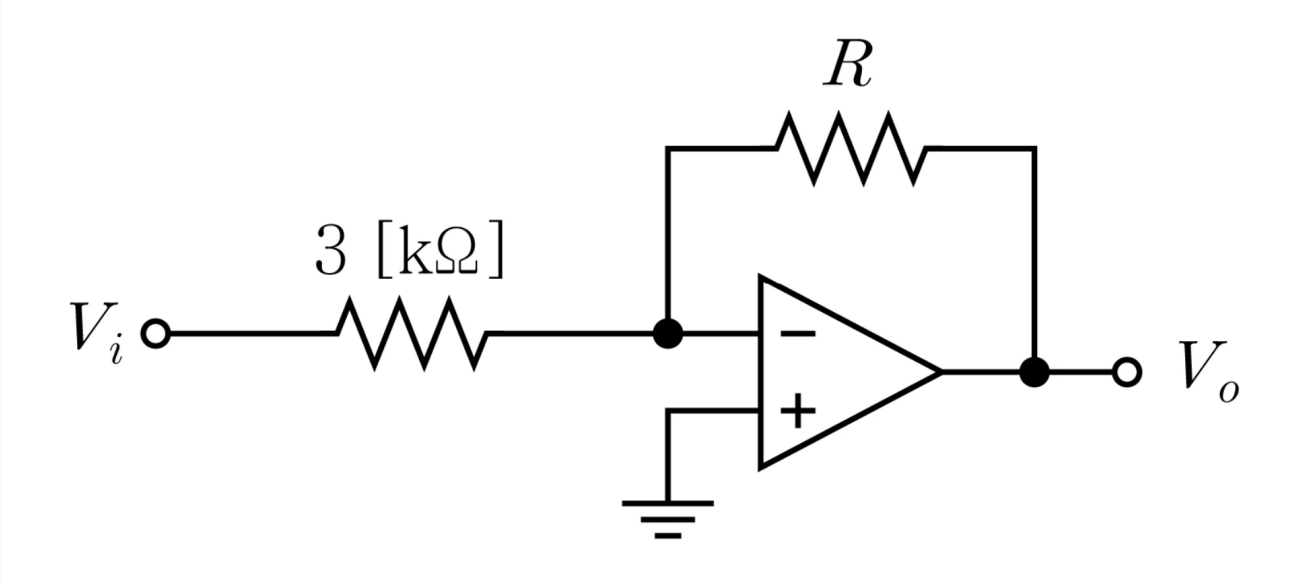
첫 번째 증폭기: 비반전 입력은 접지 기준 2 V이고, 반전 입력은 출력에 직접 연결되어 있다. 따라서 첫 번째 출력도 2 V이며, 이 전압이 두 번째 증폭기의 비반전 입력에 인가된다. 이처럼 출력 전압이 입력 전압을 그대로 따르는 회로를 전압 팔로어라고 한다.

두 번째 증폭기: 반전 입력 전압을 V_-라 하면, 두 입력 전압이 같으므로 $V_- = 2\text{V}$이다. 출력과 반전 입력 사이에는 80 kΩ, 반전 입력과 접지 사이에는 40 kΩ이 연결되어 있다. 입력 전류가 0이므로 두 저항에는 같은 전류가 흐르며, 반전 입력 전압은 **40 kΩ에 걸리는 분압 전압**이다. 두 저항의 단위가 같으므로 분압 관계는 $V_- = \frac{40}{80+40} V_o = \frac{V_o}{3}$이다.

따라서 출력 전압은 2 V의 3배인 6 V이다. 출력의 위쪽 단자가 접지보다 높은 전위이므로, 그림에 표시된 극성의 V_o는 +6 V이며 ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 2. 다음 회로에서 출력전압 V_o가 $-5V_i$가 되도록 하는 저항 R [kΩ]은? (단, 연산증폭기는 이상적이다)



① 3

② 5

③ 10

④ 15

정답 4번

간단한 해설

이 회로는 **반전 증폭기**이므로 전압 이득은 $-\frac{R}{3\text{k}\Omega}$이다. 이득이 −5가 되려면 되먹임 저항이 입력 저항의 5배여야 하므로 R = 15 kΩ이다.

NoteBase

계산 과정

회로에서 입력전압 V_i는 3 kΩ 저항을 거쳐 반전 입력(−)에 연결되고, 출력은 저항 R을 통해 같은 입력으로 되먹임된다. 비반전 입력(+)이 접지되어 있으므로, 음의 되먹임이 걸린 이상적 연산증폭기의 두 입력 전압은 같아져 반전 입력도 0 V가 된다. 이를 **가상 접지**라 한다.

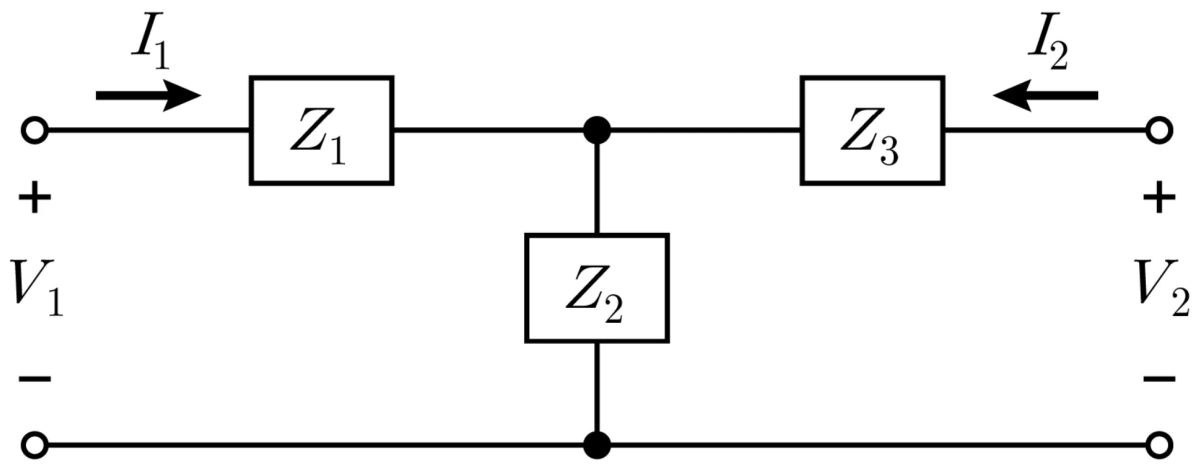
이상적 연산증폭기는 **입력 단자로 전류가 흐르지 않으므로**, 3 kΩ 저항을 통해 반전 입력의 접점으로 들어오는 전류는 모두 저항 R을 통해 출력 쪽으로 흐른다. 따라서 키르히호프 전류 법칙을 적용하면 $\frac{V_i}{3\text{k}\Omega} = \frac{0 - V_o}{R}$이다.

전류 관계식을 출력전압에 대해 정리하면 $V_o = -\frac{R}{3\text{k}\Omega}V_i$이다. 즉, 전압 이득의 크기는 **되먹임 저항과 입력 저항의 비**이며, 음의 부호는 입력에 대해 출력의 극성이 반전됨을 뜻한다.

주어진 조건 $V_o = -5V_i$와 비교하면 $\frac{R}{3\text{k}\Omega} = 5$이다. 따라서 $R = 5 \cdot 3\text{k}\Omega = 15\text{k}\Omega$이므로 ④의 15에 해당한다.

NoteBase

문 3. 다음 2포트 회로망에서 임피던스 파라미터 [Z]=bmatrixz_11&z_12_21&z_22bmatrix [Ω]의 행렬식 값은?



① $Z_1Z_2Z_3 + Z_1Z_3$

② $Z_1^2Z_2 + Z_2^2Z_3$

③ $Z_1Z_2 + Z_2Z_3 + Z_1Z_3$

④ $Z_1Z_3^2 + Z_2Z_3^2 + Z_1Z_2^2$

정답 3번

간단한 해설

공통 가지 Z_2에 두 포트 전류의 합이 흐르므로, **두 전달 임피던스가 모두** Z_2가 된다. 행렬식은 $(Z_1 + Z_2)(Z_2 + Z_3) - Z_2^2$를 전개한 $Z_1Z_2 + Z_2Z_3 + Z_1Z_3$이다.

NoteBase

계산 과정

공통 가지 전류: 그림에서 I_1과 I_2는 모두 회로망 안쪽으로 들어간다. 따라서 키르히호프 전류 법칙에 의해 **중앙 가지에 아래로 흐르는 전류는 두 전류의 합**인 $I_1 + I_2$이다. 아래쪽 공통 도선을 기준으로 중앙 접점의 전압은 $Z_2(I_1 + I_2)$가 된다.

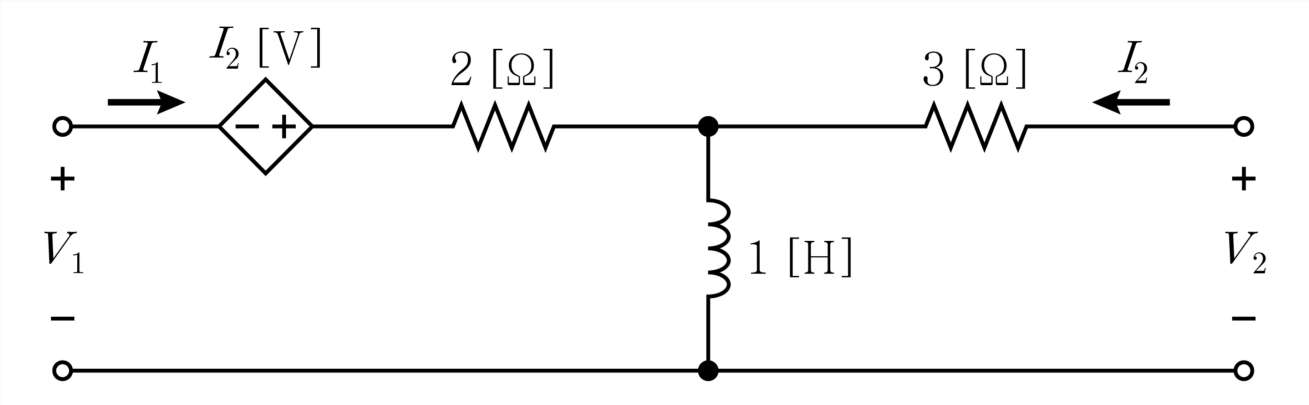
포트 전압: 각 포트 전압은 해당 직렬 가지의 전압강하와 중앙 접점 전압의 합이다. 왼쪽은 $V_1 = Z_1 I_1 + Z_2(I_1 + I_2)$, 오른쪽은 $V_2 = Z_3 I_2 + Z_2(I_1 + I_2)$이다. 이를 전류별로 정리하면 다음과 같다.
$V_1 = (Z_1 + Z_2) I_1 + Z_2 I_2$
$V_2 = Z_2 I_1 + (Z_2 + Z_3) I_2$

임피던스 파라미터: 임피던스 파라미터는 포트 전압을 포트 전류의 일차식으로 나타낼 때의 계수이다. 따라서 **자기 임피던스는 각 직렬 가지와 공통 가지의 합**이고, 전달 임피던스는 공통 가지의 임피던스이다.
$z_{11} = Z_1 + Z_2,\ z_{22} = Z_2 + Z_3$
$z_{12} = z_{21} = Z_2$

행렬식 계산: 2×2 행렬의 행렬식은 주대각 원소의 곱에서 나머지 두 원소의 곱을 뺀 값이다.
$\det[Z] = z_{11} z_{22} - z_{12} z_{21}$
$\det[Z] = (Z_1 + Z_2)(Z_2 + Z_3) - Z_2^2$
전개하면 Z_2^2 항이 소거되어 $\det[Z] = Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_1 Z_3$이 된다. 각 항은 임피던스 두 개의 곱이므로 단위는 Ω^2이며, 이 식은 ③과 일치한다.

NoteBase

문 4. 다음 2포트 회로망에서 임피던스 파라미터 z_{12} [Ω]는?



① s−1

② s

③ s+2

④ s+3

정답 1번

간단한 해설

z_{12}는 **1번 포트를 개방**하여 $I_1 = 0$일 때의 전압·전류비이다. 이때 인덕터 전압은 sI_2이고, 종속 전압원의 극성 때문에 입력 전압에서 I_2만큼 차감되므로 $z_{12} = s - 1\ \Omega$이다.

계산 과정

개방 조건: 임피던스 파라미터는 $V_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2$로 정의되므로, **1번 포트를 개방하여** $I_1 = 0$으로 놓으면 $z_{12} = \frac{V_1}{I_2}$이다. 왼쪽 2 Ω 저항에도 전류가 흐르지 않으므로 그 저항의 전압강하는 0이다.

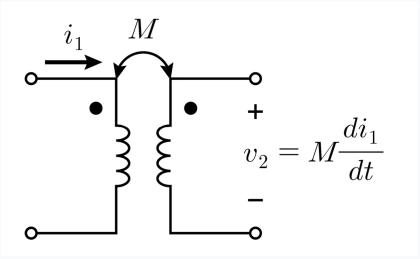
인덕터 전압: 2번 포트로 들어온 I_2는 3 Ω 저항을 지나 중앙 접점에 도달한 뒤 모두 1 H 인덕터로 흐른다. 초기조건을 0으로 두는 s 영역에서 인덕터의 임피던스는 $Z_L = sL = s\ \Omega$이다. 따라서 아래 공통선을 기준으로 한 중앙 접점 전압을 V_c라 하면 $V_c = sI_2$이다. 3 Ω 저항의 전압강하는 2번 포트 전압에 포함되며, 중앙 접점 전압에 더하지 않는다.

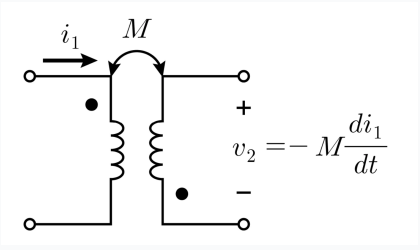
종속 전압원과 입력 전압: 그림에서 종속 전압원은 **오른쪽이 +, 왼쪽이 −**이고 전압은 I_2 V이다. 2 Ω 저항의 전압강하가 0이므로 종속 전압원의 오른쪽 전위는 V_c와 같고, $V_c - V_1 = I_2$가 된다. 따라서 $V_1 = sI_2 - I_2 = (s-1)I_2$이다.

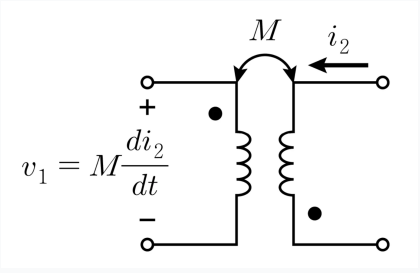
전압·전류비를 구하면 $z_{12} = \frac{V_1}{I_2} = s - 1\ \Omega$이므로 ①의 식과 일치한다.

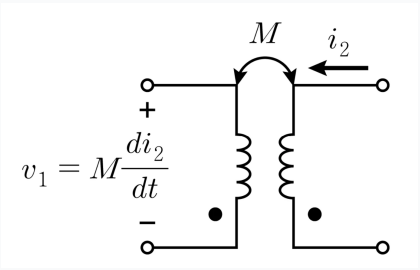
NoteBase

문 5. 다음 자기결합회로에서 점 규약(dot convention)에 위배되는 전류-전압 관계는?

① 

② 

③ 

④ 

정답 3번

간단한 해설

③에서는 i_2가 오른쪽 코일의 **점 없는 단자로 들어가고**, v_1의 + 기준은 왼쪽 코일의 점 단자에 있다. 따라서 상호유도 전압은 $v_1 = -M\frac{di_2}{dt}$이며, 그림의 양의 부호를 음의 부호로 고쳐야 한다.

NoteBase

공통 해설

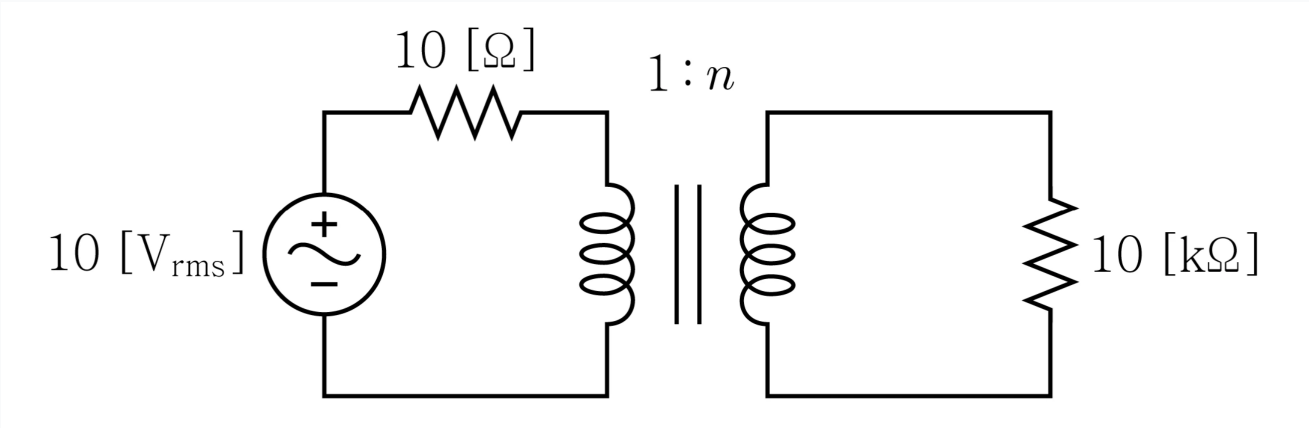
점 규약은 두 코일의 상호유도 전압 극성을 정하는 규칙이다. 상호인덕턴스의 크기를 M이라 할 때, 전류 i의 기준 방향이 한 코일의 점 단자로 들어가고 다른 코일의 전압 v를 점 단자에서 점 없는 단자를 뺀 값으로 잡으면 $v = M\frac{di}{dt}$이다. 즉, 이 방향의 전류가 증가하면 다른 코일의 점 단자 전위가 더 높아진다. **전류 방향과 전압 극성 중 하나만 반대로 잡으면** 식의 부호가 음으로 바뀌고, 둘 다 반대로 잡으면 양의 부호가 유지된다.

①·②는 모두 i_1이 왼쪽 코일의 위쪽 점 단자로 들어간다. ①은 v_2의 + 기준이 오른쪽 코일의 위쪽 점 단자이므로 $v_2 = M\frac{di_1}{dt}$이다. ②는 오른쪽 코일의 점이 아래쪽에 있어 + 기준이 점 없는 단자에 있으므로 $v_2 = -M\frac{di_1}{dt}$이다. 두 그림의 식은 이 규칙에 맞는다.

③·④는 i_2가 오른쪽 코일의 위쪽 점 없는 단자로 들어간다. ③은 왼쪽 코일의 위쪽 점 단자를 v_1의 + 기준으로 잡았으므로 **전류 기준만 점 단자 유입 기준과 반대**이다. 따라서 $v_1 = -M\frac{di_2}{dt}$이어야 하며, 제시된 식의 부호가 잘못되었다. ④는 왼쪽 코일의 점도 아래쪽에 있어 전압의 + 기준 역시 점 없는 단자이다. 전류와 전압 기준이 모두 반대이므로 그림처럼 $v_1 = M\frac{di_2}{dt}$이다.

NoteBase

문 6. 다음 회로의 부하 10 [kΩ]에 최대전력을 전달하기 위한 권선비 n은? (단, 변압기는 이상적이다)



① 10

② $10\sqrt{10}$

③ 100

④ $100\sqrt{10}$

정답 2번

간단한 해설

최대전력을 전달하려면 **1차측으로 환산한 부하저항이 전원측 저항 10 Ω과 같아야 한다**. 권선비가 1 : n이므로 $\frac{10{,}000}{n^2} = 10$에서 $n = 10\sqrt{10}$을 얻는다.

계산 과정

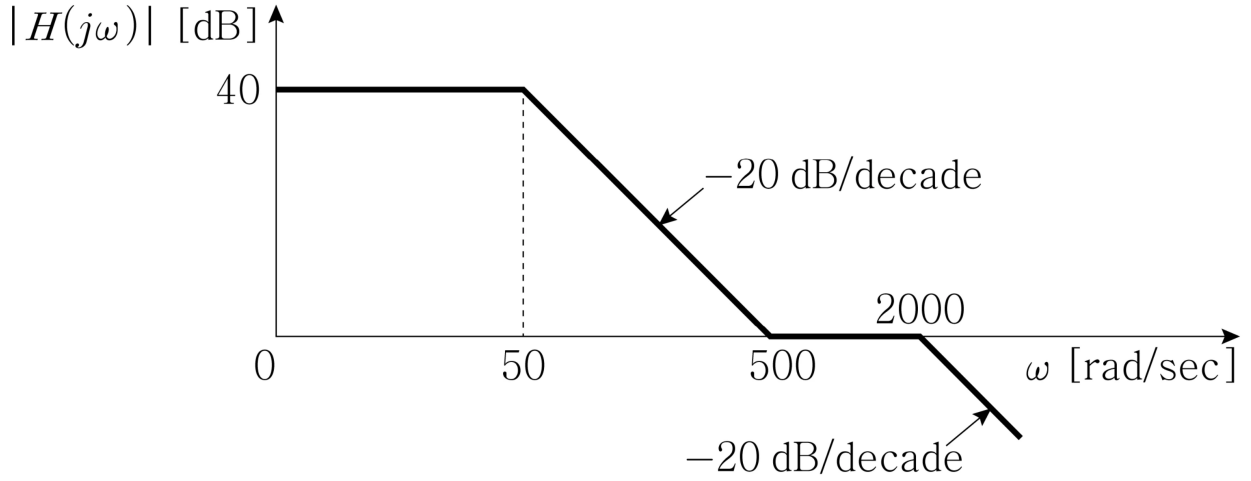
1차측 환산저항: 그림에서 전원과 직렬인 저항은 10 Ω이고, 2차측 부하저항 R_L은 10 kΩ = 10,000 Ω이다. 1차와 2차의 권수를 각각 N_1, N_2라 하면 그림의 1 : n은 $\frac{N_2}{N_1} = n$을 뜻한다. 이상적 변압기에서는 2차 전압이 1차 전압의 n배이고 2차 전류의 크기는 1차 전류의 1/n배이므로, 전압과 전류의 비인 저항은 **권선비의 제곱에 따라 환산**된다. 따라서 1차측에서 본 부하저항은 $R_{\text{in}} = \frac{R_L}{n^2}$이다.

최대전력 조건: 전원측 저항을 R_s라 하면, 저항성 부하에 최대전력을 전달하는 조건은 $R_{\text{in}} = R_s$이다. 변압기는 이상적이어서 전력손실이 없으므로 1차측 환산저항에 전달되는 전력이 최대일 때 실제 2차측 부하의 전력도 최대이다. 따라서 **환산저항을 10 Ω에 맞추어야 한다**.

권선비 계산: $\frac{10{,}000}{n^2} = 10$이므로 $n^2 = 1{,}000$이다. 권수의 비는 양수이므로 $n = \sqrt{1{,}000} = 10\sqrt{10}$이다. 권선비는 무차원이며, 이 값은 ②와 일치한다.

NoteBase

문 7. 다음 보드선도(Bode plot)와 같이 표현될 수 있는 전달함수 $H(s)$는?



① $\frac{2000(s+500)}{(s+50)(s+2000)}$
② $\frac{8000(s+50)}{(s+500)(s+2000)}$
③ $\frac{20000(s+500)}{(s+50)(s+2000)}$
④ $\frac{40000(s+50)}{(s+500)(s+2000)}$

정답 3번

간단한 해설

기울기가 감소하는 50·2000 rad/s는 극점의 절점주파수이고, 증가하는 500 rad/s는 영점의 절점주파수이다.
저주파 이득 40 dB는 크기 100을 뜻하므로 분자 계수는 20000이 된다.

NoteBase

계산 과정

그림은 전달함수 크기를 직선으로 근사한 보드선도이다. 가로축은 각주파수 ω이며 단위는 rad/s이고, 세로축은 $20\log_{10}|H(j\omega)|$로 나타낸 dB 값이다. 선지와 같은 실수 1차 인수에서 극점은 절점 이후 기울기를 20 dB/decade 낮추고, 영점은 20 dB/decade 높인다. 여기서 decade는 주파수가 10배가 되는 구간이다.

50 rad/s: 기울기가 0에서 −20 dB/decade로 감소하므로 **극점에 해당하는 분모 인수**는 $(s+50)$이다.

500 rad/s: 기울기가 −20 dB/decade에서 0으로 증가하므로 **영점에 해당하는 분자 인수**는 $(s+500)$이다. 수평 구간은 앞선 극점의 기울기와 이 영점의 기울기가 상쇄된 결과이다.

2000 rad/s: 기울기가 0에서 다시 −20 dB/decade로 감소하므로 분모에 $(s+2000)$이 추가된다. 따라서 양의 계수 K를 두면 $H(s)=\frac{K(s+500)}{(s+50)(s+2000)}$로 쓸 수 있다.

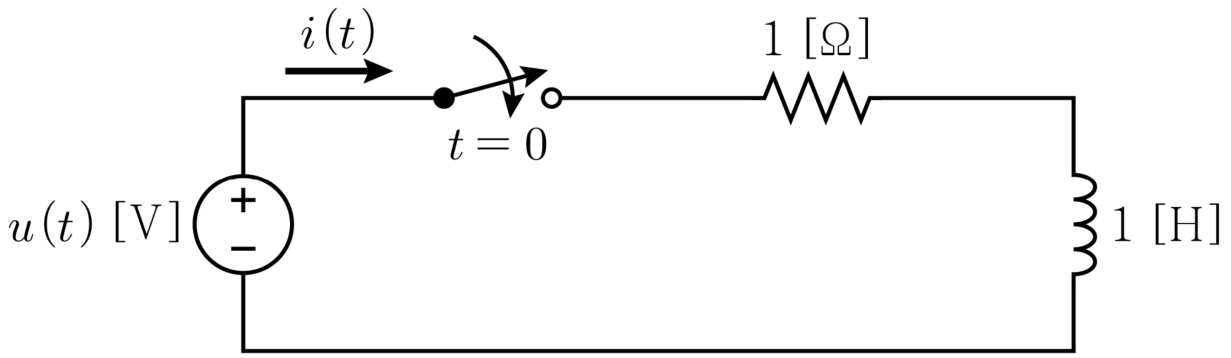
저주파 이득: 각주파수가 50 rad/s보다 충분히 작으면 각 인수에서 $s=j\omega$를 상수항에 비해 무시할 수 있다. 따라서 **저주파 수평선의 높이는 직류 이득의 크기**를 나타내며, 그림의 저주파 표시 40 dB를 기준으로 하면 $20\log_{10}|H(0)|=40$이다. 이를 풀면 $|H(0)|=10^{40/20}=100$이다. 한편 $H(0)=\frac{500K}{50\cdot 2000}=\frac{K}{200}$이므로 $K=200\cdot 100=20000$이다.

저주파 표시 40 dB와 절점·기울기 변화를 기준으로 얻은 전달함수는 $H(s)=\frac{20000(s+500)}{(s+50)(s+2000)}$이며, 공식 정답 ③의 식과 일치한다.

다만 원도식의 수평 구간 높이는 다른 표시와 일치하지 않는다. 50에서 500 rad/s까지는 한 decade이므로 −20 dB/decade의 기울기로 내려가면 40 − 20 = 20 dB가 된다. 따라서 ③에 대응하는 500~2000 rad/s 구간의 **수평 점근선은 0 dB가 아니라 20 dB**이다. 같은 절점·기울기 변화에서 중간 수평선을 0 dB로 맞추면 저주파 이득은 20 dB가 되어 ①에 대응한다. 즉, 그림의 높이·절점·기울기 표시를 모두 동시에 만족하는 선지는 없으며, 공식 답 ③은 저주파 40 dB와 절점·기울기 변화를 따른 결과이다.

NoteBase

문 8. 다음 회로에서 $t=0$ [sec]에 스위치가 닫힌다. $i(t)$ [A]의 라플라스 변환 $I(s)$는? (단, $t<0$ [sec]에서 회로는 정상상태이고, $u(t)$는 단위계단함수이다)



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

정답 1번

간단한 해설

스위치를 닫기 전 전류가 0이므로 **초기 전류 항이 없는** 직렬 RL 회로의 계단응답을 구한다. 저항 1 Ω과 인덕턴스 1 H에 대해 $(s+1)I(s)=\frac{1}{s}$이므로, $I(s)=\frac{1}{s}-\frac{1}{s+1}$이다.

계산 과정

초기조건: 스위치가 열린 상태에서는 전류가 흐르지 않으므로 $i(0^-)=0$ A이다. 유한한 전압이 가해질 때 **인덕터 전류는 순간적으로 변하지 않으므로** $i(0^+)=0$ A이다.

회로방정식: 그림의 저항은 R = 1 Ω, 인덕턴스는 L = 1 H이고, 스위치를 닫으면 1 V의 단위계단전압이 직렬 RL 회로에 가해진다. 표시된 전류 방향을 기준으로 저항과 인덕터의 전압강하를 더하면 전원전압과 같으므로, $L\frac{di(t)}{dt}+Ri(t)=u(t)$이다.

라플라스 변환: 미분항의 변환은 $sI(s)-i(0^-)$이고, 단위계단함수의 변환은 $\frac{1}{s}$이다. 초기 전류가 0이고 R = 1 Ω, L = 1 H이므로 회로방정식은 $(s+1)I(s)=\frac{1}{s}$가 된다. 여기서 **s항은 인덕터, 상수항 1은 저항의 기여**를 나타낸다.

부분분수 전개: $I(s)=\frac{1}{s(s+1)}$이다. 분자의 1을 $(s+1)-s$로 쓰면 $I(s)=\frac{1}{s}-\frac{1}{s+1}$을 얻는다. 이는 ①의 식과 일치한다.

NoteBase

문 9. 실횻값 100 [V] 교류전압원으로부터 $Z = 10 + j10$ [Ω]의 부하에 전달되는 평균전력[W]은?

① 100

② 250

③ 500

④ 1000

정답 3번

간단한 해설

평균전력은 부하의 **저항 성분에서 소비되는 전력**으로, $P = I^2R$로 구한다. 전류의 실효값 제곱이 50 A^2이고 저항이 10 Ω이므로 평균전력은 500 W이다.

계산 과정

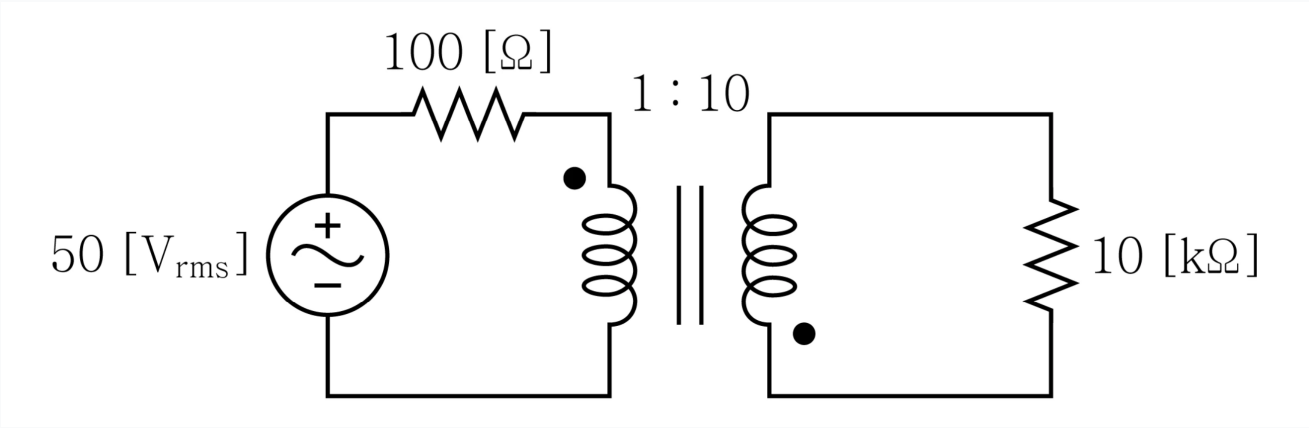
부하 임피던스 $Z = R + jX = 10 + j10\Omega$에서 저항 R은 10 Ω, 리액턴스 X는 10 Ω이다. 저항은 전력을 소비하고, 이상적인 리액턴스는 에너지를 저장했다가 돌려주므로 한 주기 평균전력은 0이다. 따라서 부하의 평균전력은 $P = I^2R$로 계산한다. 여기서 I는 전류의 실효값이다.

전류는 저항 R만이 아니라 **임피던스의 크기**에 의해 결정된다. 임피던스 크기의 제곱은 $|Z|^2 = R^2 + X^2 = 10^2 + 10^2 = 200\Omega^2$이다. 전압의 실효값을 V라 하면 $I = \frac{V}{|Z|}$이므로, $I^2 = \frac{100^2}{200} = 50A^2$이다. 전력 계산에 필요한 값이 전류의 제곱이므로 제곱근을 구할 필요가 없다.

이를 평균전력 식에 대입하면 $P = I^2R = 50 \cdot 10 = 500W$이다. **실효값을 사용했으므로** 여기에 다시 1/2을 곱하지 않는다. 평균전력 500 W는 ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 10. 다음 회로의 10 [kΩ] 저항에서 소비되는 평균전력[W]은? (단, 변압기는 이상적이다)



① 6.25

② 12.5

③ 25.0

④ 50.0

정답 1번

간단한 해설

10 kΩ 부하를 1차측으로 환산하면 **100 Ω**이 되어 직렬 저항과 전원전압을 절반씩 나눈다. 2차측 부하전압은 실효값 250 V이므로 평균 소비전력은 **6.25 W**이다.

계산 과정

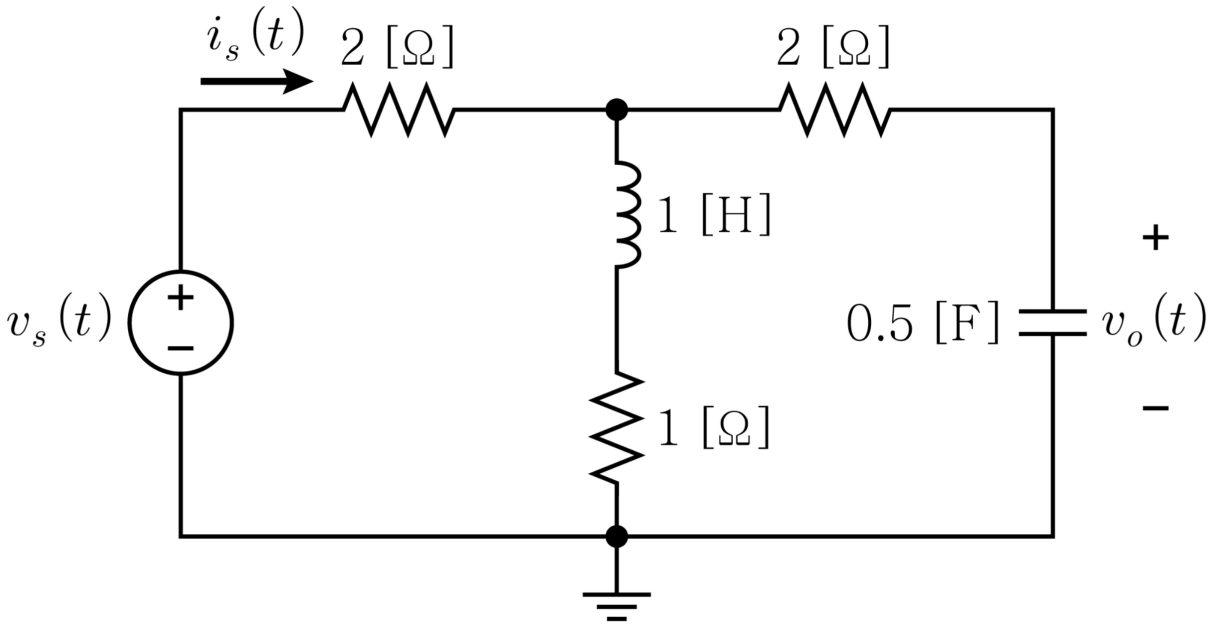
1. 부하저항의 1차측 환산: 권수비는 $N_1 : N_2 = 1 : 10$이고, 부하저항은 10 kΩ = 10,000 Ω이다. 이상적 변압기에서 전압비는 권수비와 같고 전류비는 그 역수이므로, 저항은 **권수비의 제곱**에 비례하여 환산한다. 따라서 $R'_L = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_L$이며, $R'_L = \left(\frac{1}{10}\right)^2 \cdot 10{,}000 = 100\Omega$이다. 이는 2차측 부하가 1차측에서 100 Ω으로 보인다는 뜻이다.

2. 1차측 전압 계산: 환산 부하 100 Ω과 전원에 연결된 100 Ω 저항은 직렬이므로 합성저항은 200 Ω이다. 전원전압 50 V는 이미 실효값이므로 1차측 전류의 실효값은 $I_1 = \frac{50}{200} = 0.25\text{A}$이다. 변압기 1차 권선에 걸리는 전압은 전원전압 전체가 아니라 **환산 부하에 걸리는 전압**이므로, $V_1 = I_1 R'_L = 0.25 \cdot 100 = 25\text{V}$이다.

3. 부하전압과 평균전력 계산: 2차측 전압은 권수비에 따라 $V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1 = 10 \cdot 25 = 250\text{V}$이다. 이 전압이 10 kΩ 저항에 그대로 걸린다. 저항의 평균전력은 **전압의 실효값**을 사용하여 $P = \frac{V_2^2}{R_L}$로 계산하므로, $P = \frac{250^2}{10{,}000} = 6.25\text{W}$이다. 실효값을 사용했으므로 여기에 다시 1/2을 곱하지 않는다. 계산한 6.25 W는 ①의 값과 일치한다.

NoteBase

문 11. 다음 회로의 전달함수 $H(s)=\frac{V_o(s)}{I_s(s)}$에 대해 임펄스 응답 $h(t)=\mathcal{L}^{-1}\{H(s)\}$는? (단, $V_o(s)$와 $I_s(s)$는 각각 $v_o(t)$와 $i_s(t)$의 라플라스 변환이고, $\mathcal{L}^{-1}\{H(s)\}$는 $H(s)$의 라플라스 역변환이며, $u(t)$는 단위계단함수이다)



① $(e^{-t}+e^{-2t})u(t)$

② $2(e^{-t}+e^{-2t})u(t)$

③ $e^{-2t}u(t)$

④ $2e^{-2t}u(t)$

정답 4번

간단한 해설

입력 전류는 중앙 접점에서 두 갈래로 나뉘므로, **전류분배로 커패시터 전류**를 구한다. 커패시터 임피던스를 곱하면 $H(s)=\frac{2}{s+2}$가 되어 임펄스 응답은 $h(t)=2e^{-2t}u(t)$이다.

NoteBase

계산 과정

1. 가지 임피던스: 전달함수는 **초기 에너지가 0인 조건**에서 구한다. 인덕터 1 H의 임피던스는 $Z_L = s$, 커패시터 0.5 F의 임피던스는 $Z_C = \frac{1}{0.5s} = \frac{2}{s}$이다. 중앙 접점에서 접지로 내려가는 가지는 인덕터와 1 Ω 저항의 직렬 연결이므로 $Z_1 = s + 1$이고, 오른쪽 가지는 2 Ω 저항과 커패시터의 직렬 연결이므로 $Z_2 = 2 + \frac{2}{s} = \frac{2(s+1)}{s}$이다. 각 임피던스의 단위는 Ω이다.

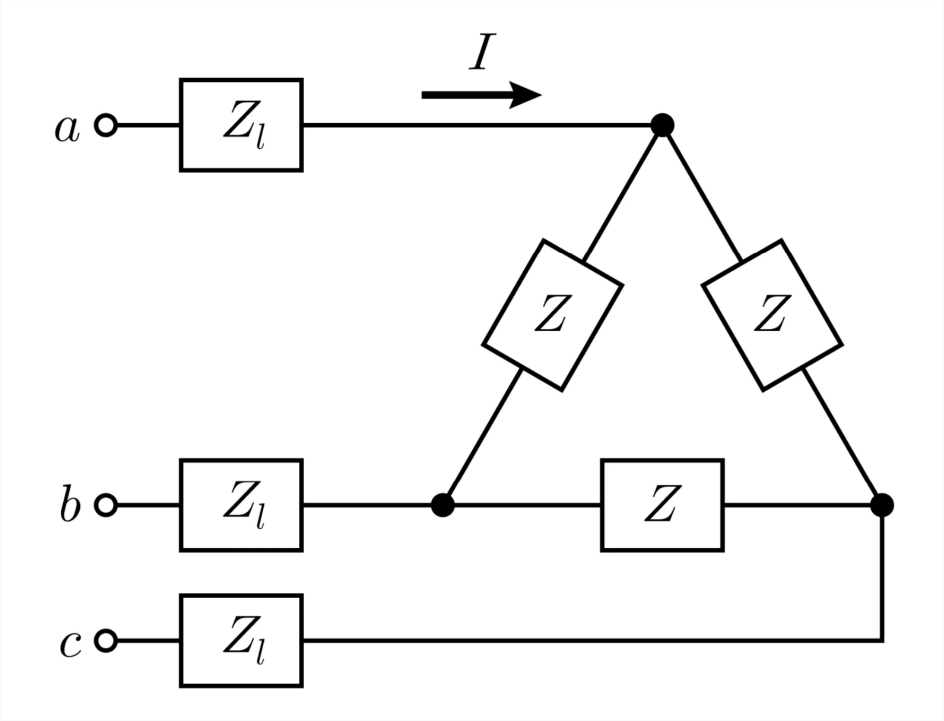
2. 전류분배: 오른쪽 가지 전류를 $I_C(s)$라 하면 커패시터에도 같은 전류가 흐른다. 두 가지는 병렬이므로 전류분배식은 $\frac{I_C(s)}{I_s(s)} = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$이다. $\frac{Z_2}{Z_1} = \frac{2}{s}$를 대입하면 $\frac{I_C(s)}{I_s(s)} = \frac{1}{1 + 2/s} = \frac{s}{s+2}$가 된다. 왼쪽 2 Ω 저항을 지난 전류 자체가 입력이므로, **왼쪽 저항의 전압강하**는 이 전류비를 구하는 데 필요하지 않다.

3. 출력 전압과 전달함수: 출력은 오른쪽 가지 전체가 아니라 **커패시터 양단 전압**이다. 표시된 위쪽이 양극이고 가지 전류가 위에서 아래로 흐르므로 $V_o(s) = Z_C I_C(s)$이다. 따라서 $H(s) = \frac{2}{s} \cdot \frac{s}{s+2} = \frac{2}{s+2}$가 된다.

4. 라플라스 역변환: 인과적인 지수함수의 변환 관계 $\mathcal{L}\{e^{-at}u(t)\} = \frac{1}{s+a}$를 적용한다. 여기서는 분모가 $s + 2$이고 분자가 2이므로 $h(t) = 2e^{-2t}u(t)$이다. 이 식은 ④와 일치한다.

NoteBase

문 12. 그림의 평형 3상 교류 결선에서 단자 a, b, c 간에 선간전압 120 [V]가 인가될 경우 선전류 I의 크기[A]는? (단, 선로 임피던스는 $Z_l = 2 + j2$ [Ω]이고, 부하 임피던스는 $Z = 18 + j12$ [Ω]이다)



① 4

② $4\sqrt{3}$

③ 12

④ $12\sqrt{3}$

정답 2번

간단한 해설

Δ결선 부하를 **Y결선으로 등가 변환**하면 한 상의 전체 임피던스 크기는 10 Ω이다. 전원 측 상전압은 $120/\sqrt{3}$ V이므로 선전류의 크기는 $4\sqrt{3}$ A이다.

NoteBase

계산 과정

1. 부하의 등가 변환: 그림에서 임피던스 Z 세 개는 삼각형의 각 변을 이루는 Δ결선이다. 세 임피던스가 같은 평형 부하이므로 Y결선으로 바꿀 때 각 상의 임피던스는 **원래 값의 1/3**이 된다. 따라서 $Z_Y = \frac{Z}{3} = 6 + j4\ \Omega$이다. 이 변환은 부하 단자에서 본 전압과 선전류의 관계를 보존한다.

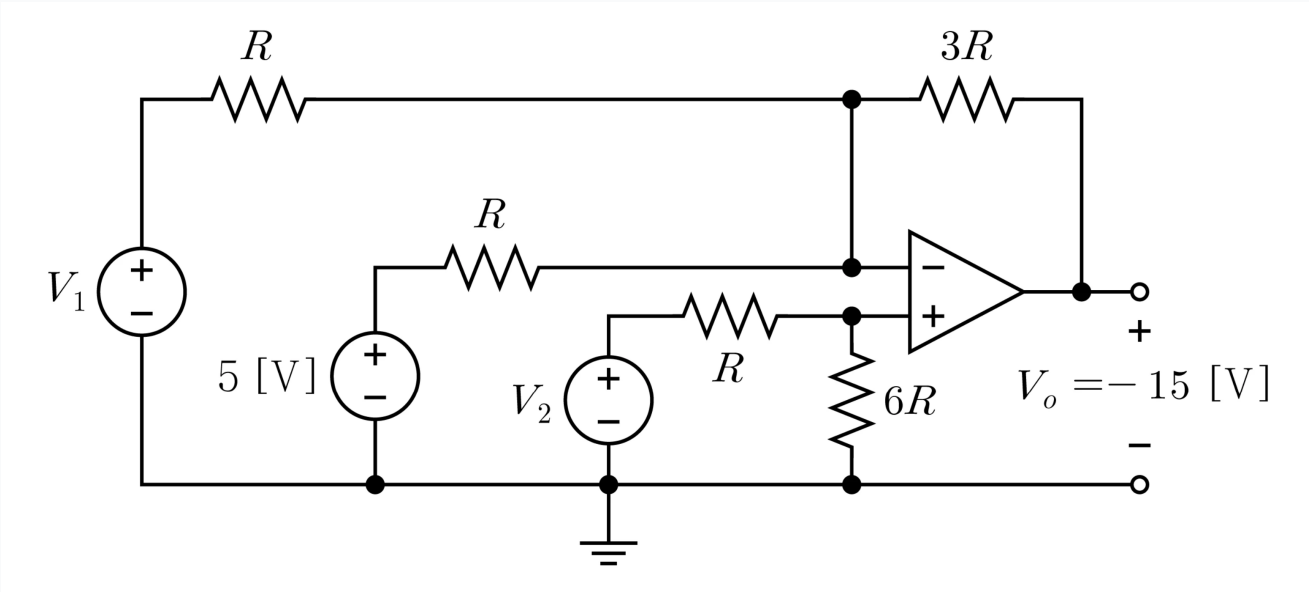
2. 한 상의 전체 임피던스: Y결선으로 변환한 부하 임피던스와 해당 상의 선로 임피던스는 직렬이다. 따라서 $Z_{eq} = Z_l + Z_Y = 8 + j6\ \Omega$이다. 저항 성분과 리액턴스 성분은 복소평면에서 직교하므로 그 크기는 $|Z_{eq}| = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10\ \Omega$이다.

3. 전원 측 상전압: 주어진 120 V는 **선로 임피던스 앞의 단자 a, b, c 사이 선간전압**이다. 평형 3상에서는 각 상전압의 위상이 120°씩 다르므로 선간전압의 크기가 상전압 크기의 $\sqrt{3}$배이다. 따라서 등가 중성점을 기준으로 한 전원 측 상전압 크기는 $V_{ph} = \frac{120}{\sqrt{3}}$ V이다.

4. 선전류 계산: 변환한 Y결선에서는 선전류가 각 상의 직렬 회로에 그대로 흐른다. 교류 옴의 법칙에 따라 전류의 크기는 상전압 크기를 전체 임피던스 크기로 나눈 값이다. 따라서 $I = \frac{120/\sqrt{3}}{10} = 4\sqrt{3}$ A이며, 이는 ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 13. 다음 회로에서 $\frac{V_2}{V_1}$는? (단, 연산증폭기는 이상적이다)



① 2

② $\frac{1}{2}$

③ 3

④ $\frac{1}{3}$

정답 2번

간단한 해설

음귀환 상태에서 **두 입력 전압이 같다**는 조건을 적용한다. 비반전 입력의 분압식과 반전 입력의 전류식을 결합하면 $6V_2 = 3V_1$이므로 전압비는 $\frac{1}{2}$이다.

NoteBase

계산 과정

입력 조건: 출력에서 반전 입력으로 3R의 저항이 연결되어 음귀환이 걸려 있다. 이상적 연산증폭기는 **입력 전류가 0**이고, 음귀환으로 선형 동작할 때 두 입력 전압이 같다. 접지를 기준으로 두 입력의 공통 전압을 V_a라 두고, 각 전압의 수치는 V 단위로 쓴다.

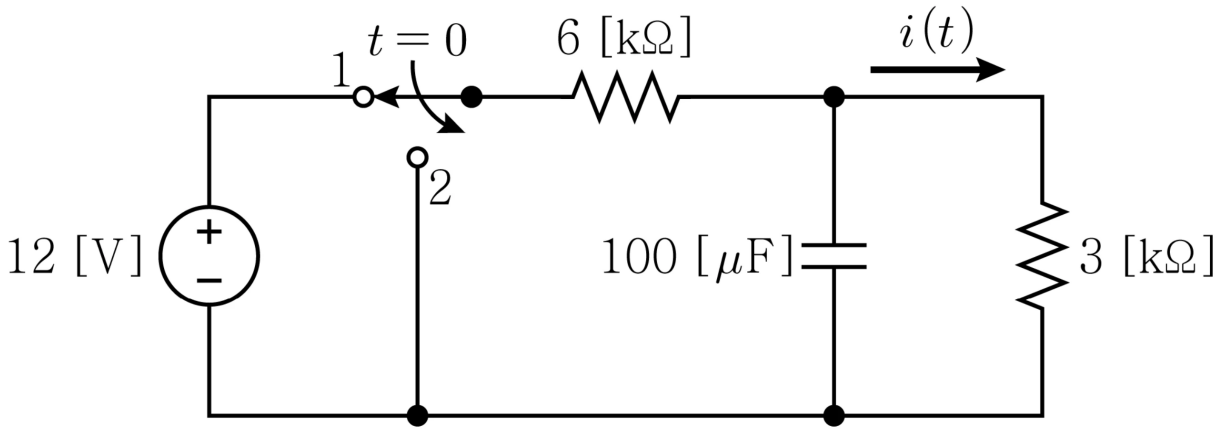
비반전 입력의 전압: V_2에서 비반전 입력까지의 저항 R과 그 입력에서 접지까지의 저항 6R은, 입력으로 전류가 흐르지 않으므로 직렬 분압을 이룬다. 따라서 $V_a = \frac{6R}{R+6R} V_2 = \frac{6}{7} V_2$이다. 이는 비반전 입력에 걸리는 전압이 V_2의 6/7임을 뜻한다.

반전 입력의 전류식: 반전 입력 노드에는 V_1 쪽의 R, 5 V 쪽의 R, 출력 쪽의 3R이 연결되어 있다. **연산증폭기 입력으로 빠지는 전류가 없으므로** 이 노드에서 키르히호프 전류법칙을 적용하면 $\frac{V_a - V_1}{R} + \frac{V_a - 5}{R} + \frac{V_a - V_o}{3R} = 0$이다. 양변에 3R을 곱하여 정리하면 $7V_a = 3V_1 + 15 + V_o$이다. 주어진 출력 $V_o = -15$를 대입하면 5 V 전원에 따른 항과 출력 전압 항이 상쇄되어 $7V_a = 3V_1$이 된다.

전압비 계산: 분압식 $V_a = \frac{6}{7} V_2$를 $7V_a = 3V_1$에 대입하면 $6V_2 = 3V_1$이다. 따라서 $\frac{V_2}{V_1} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2}$이며, 같은 단위의 전압끼리 나눈 비이므로 단위는 없다. 이 값은 ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 14. 다음 회로에서 $t = 0$ [sec]인 순간에 스위치가 위치 1에서 위치 2로 이동한다. $t > 0$ [sec]일 때, $i(t)$ [mA]는? (단, $t < 0$ [sec]에서 회로는 정상상태이다)



① $\frac{4}{3}e^{-t/0.2}$

② $\frac{4}{3}e^{-0.2t}$

③ $\frac{4}{3}e^{-t/0.05}$

④ $\frac{4}{3}e^{-0.05t}$

정답 1번

간단한 해설

스위치 이동 후 커패시터가 보는 저항은 6 kΩ과 3 kΩ의 병렬값인 2 kΩ이므로 **시정수는 0.2 s**이다. 커패시터의 초기 전압 4 V가 지수적으로 감소하므로, 3 kΩ 저항에 흐르는 전류는 $i(t) = \frac{4}{3}e^{-t/0.2}$mA이다.

NoteBase

계산 과정

스위치 이동 전: 직류 정상상태에서 **커패시터에는 전류가 흐르지 않으므로** 커패시터를 개방으로 취급한다. 6 kΩ과 3 kΩ 저항이 직렬로 연결되어 있고 커패시터는 3 kΩ 저항과 병렬이므로, 커패시터의 위쪽 단자를 양으로 잡은 전압은 전압분배에 따라 $v_C(0^-) = 12 \cdot \frac{3}{6+3} = 4\text{V}$이다. 커패시터 전압은 순간적으로 변하지 않으므로 $v_C(0^+) = 4\text{V}$이다.

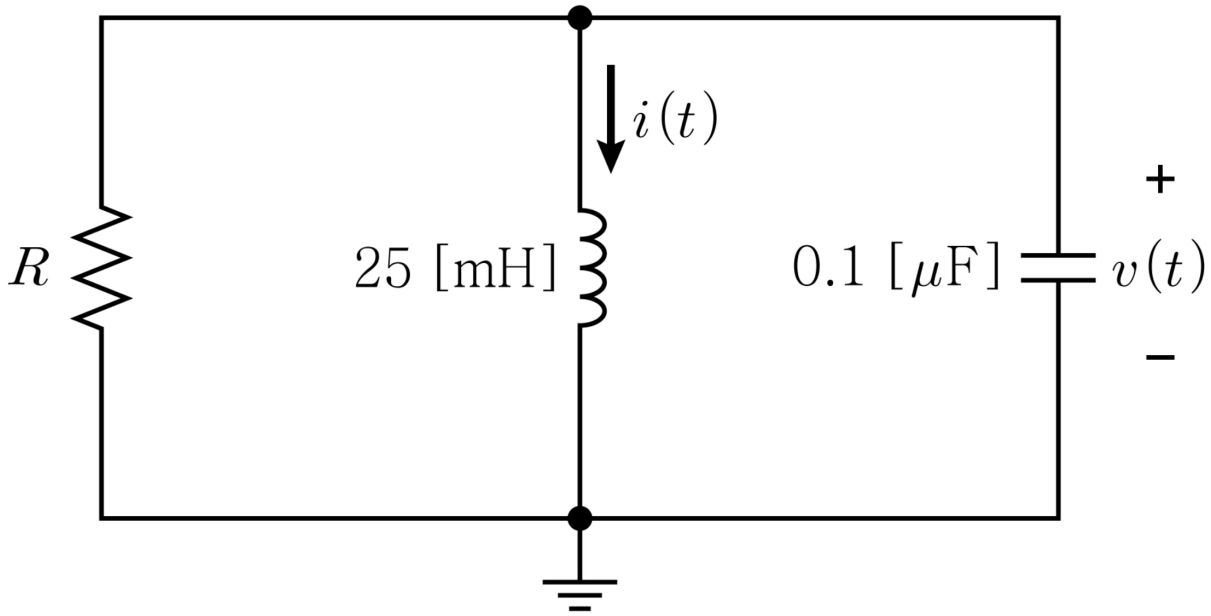
스위치 이동 후의 저항: 위치 2에서는 12 V 전원이 방전 회로에서 분리되고 6 kΩ 저항의 왼쪽 끝이 아래쪽 공통선에 연결된다. 따라서 커패시터 양단에 **6 kΩ과 3 kΩ이 병렬**로 연결되며, 등가저항은 $R_{\text{eq}} = \frac{6 \cdot 3}{6+3} = 2\text{k}\Omega$이다.

커패시터 전압의 변화: 외부 전원 없이 저장된 에너지를 방출하는 RC 회로이므로 전압은 $v_C(t) = v_C(0^+)e^{-t/\tau}$로 감소한다. 여기서 **시정수는 커패시터가 보는 등가저항과 정전용량의 곱**인 $\tau = R_{\text{eq}}C$이다. 따라서 2 kΩ × 100 μF = 0.2 s이고, $v_C(t) = 4e^{-t/0.2}\text{V}$이다. 시간이 충분히 지나면 저장된 에너지가 소모되어 전압은 0 V로 수렴한다.

요구 전류: 그림의 화살표는 **오른쪽 3 kΩ 저항으로 흐르는 전류**를 나타낸다. 이 저항의 전압은 커패시터 전압과 같으므로 옴의 법칙에 따라 $i(t) = \frac{v_C(t)}{3\text{k}\Omega}$이다. 따라서 $t > 0$에서 $i(t) = \frac{4}{3}e^{-t/0.2}\text{mA}$이며, ①의 식과 일치한다. 위쪽 단자의 전압이 양이므로 전류의 부호도 그림의 화살표 방향을 기준으로 양이다.

NoteBase

문 15. 다음 회로에서 커패시터의 초기 전압은 V_0 [V]이고, 인덕터를 통하여 흐르는 초기 전류는 I_0 [A]이다. 주어진 회로가 임계감쇠(critical damping) 조건으로 동작하기 위한 저항 R [Ω]은?



① 125

② 250

③ 500

④ 1000

정답 2번

간단한 해설

병렬 RLC 회로의 임계감쇠 조건은 **감쇠계수와 비감쇠 고유각주파수가 같은 것**이다. 이 조건에서 $R = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{L}{C}}$ 이므로, 주어진 소자값을 대입하면 250 Ω이다.

NoteBase

계산 과정

회로 조건: 저항, 인덕터, 커패시터가 같은 두 노드에 연결된 **병렬 RLC 회로**이다. 인덕턴스는 $L = 25 \times 10^{-3}$H, 정전용량은 $C = 0.1 \times 10^{-6}$F이다. 초기 전압 V_0와 초기 전류 I_0는 응답의 계수를 정하지만, 회로의 감쇠 종류를 결정하는 특성방정식은 바꾸지 않는다.

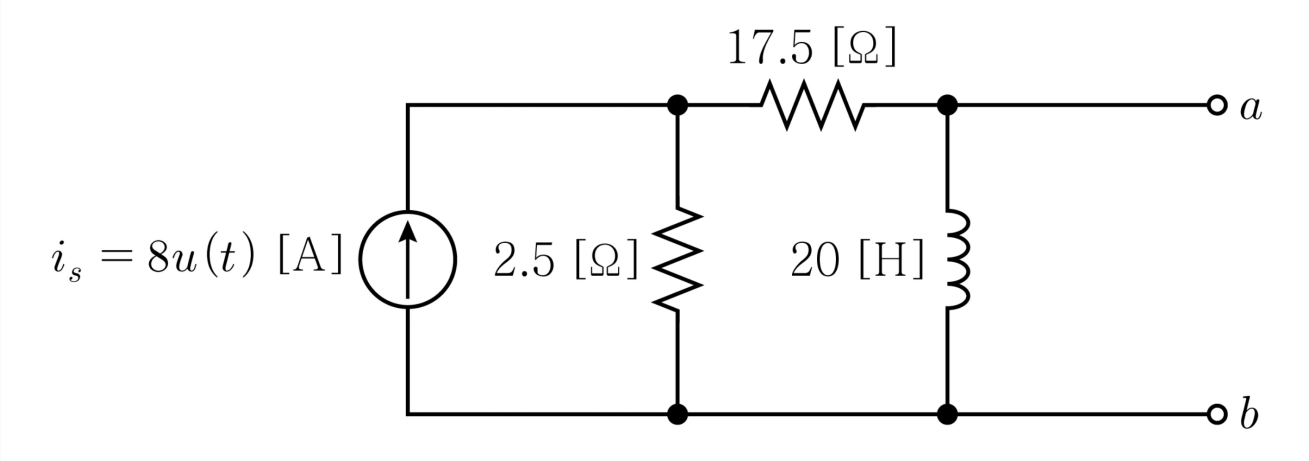
특성방정식: 위쪽 노드에서 아래쪽으로 흐르는 전류를 양으로 잡으면 키르히호프 전류법칙에 따라 $\frac{v}{R} + i + C\frac{dv}{dt} = 0$이다. 이를 시간에 대해 미분하고 인덕터 관계식 $\frac{di}{dt} = \frac{v}{L}$을 대입하면, 자연응답의 특성방정식은 $s^2 + \frac{1}{RC}s + \frac{1}{LC} = 0$이 된다. 여기서 s는 자연응답의 지수항을 결정하는 특성근이다.

임계감쇠 조건: 특성방정식을 $s^2 + 2\alpha s + \omega_0^2 = 0$과 비교하면 감쇠계수는 $\alpha = \frac{1}{2RC}$, 비감쇠 고유각주파수는 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$이다. 임계감쇠는 **두 특성근이 같은 실근이 되는 경계**이므로 $\alpha = \omega_0$이다. 따라서 $\frac{1}{2RC} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$를 R에 대해 풀면 $R = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{L}{C}}$이다.

수치 대입: 단위를 H와 F로 맞추면 $\frac{L}{C} = \frac{25 \times 10^{-3}}{0.1 \times 10^{-6}} = 250000\Omega^2$이다. 따라서 $\sqrt{\frac{L}{C}} = 500\Omega$이고, $R = \frac{500}{2} = 250\Omega$이다. 이는 ②의 250 Ω과 일치한다.

NoteBase

문 16. 다음 회로의 a, b 단에서 좌측으로 본 테브난 전압의 라플라스 변환 $V_{TH}(s)$는? (단, $u(t)$는 단위계단함수이다)



① $\frac{5}{s+1}$
② $\frac{10}{s+1}$
③ $\frac{15}{s+1}$
④ $\frac{20}{s+1}$

정답 4번

간단한 해설

테브난 전압은 **단자 a, b의 개방전압**이며, 회로 안의 20 H 인덕터 양단전압과 같다. 전류원과 2.5 Ω 저항을 전압원으로 변환하면 20 V 계단전압이 총저항 20 Ω과 인덕터에 걸리므로, 전압분배로 $V_{TH}(s) = \frac{20}{s+1}$을 얻는다.

NoteBase

계산 과정

1. 구할 전압과 초기조건: 테브난 전압은 외부 부하를 연결하지 않은 상태에서 b를 기준으로 측정한 a의 전압이다. 그림의 **20 H 인덕터는 단자 왼쪽 회로에 포함**되므로 그대로 두며, 구할 전압은 인덕터 양단전압이다. 별도의 초기전류가 주어지지 않았으므로 인덕터의 초기전류는 0으로 두고 풀이한다.

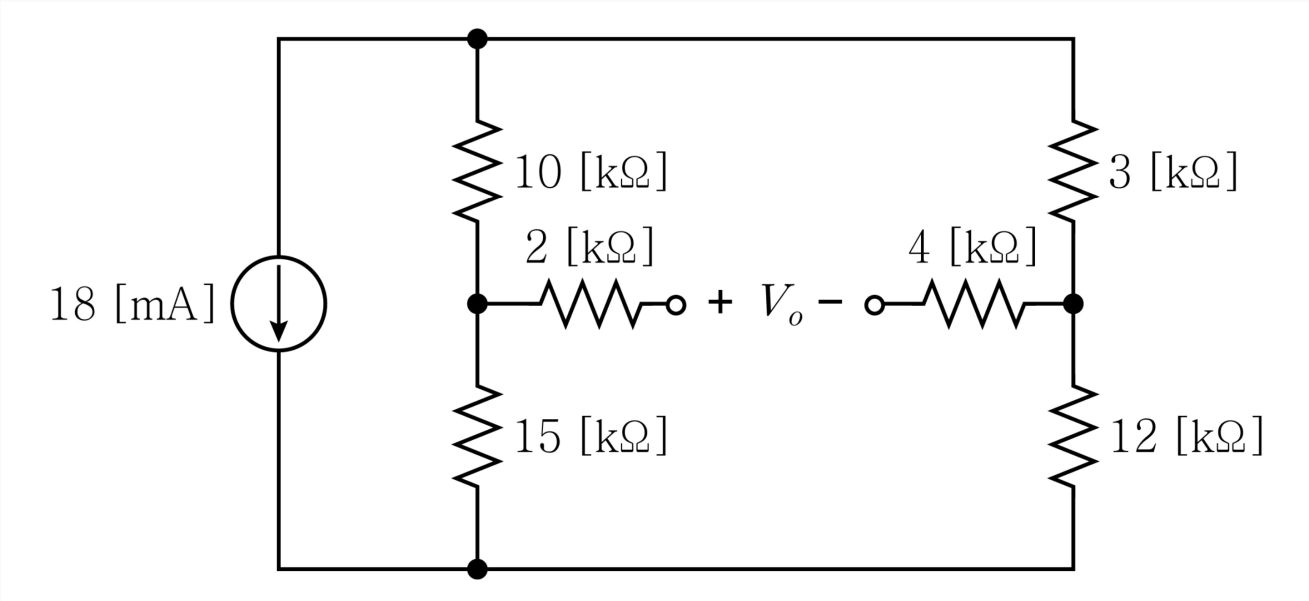
2. 전원 변환: 위쪽으로 흐르는 $8u(t)$ A 전류원과 병렬인 2.5 Ω 저항을, 위쪽이 양극인 $20u(t)$ V 전압원과 직렬인 2.5 Ω 저항으로 바꾼다. 전압원의 크기는 $8 \times 2.5 = 20$ V이다. 변환한 저항은 17.5 Ω 저항과 직렬이므로, 인덕터에 연결된 총저항은 $2.5 + 17.5 = 20$ Ω이다.

3. 라플라스 영역의 회로: 단위계단함수의 라플라스 변환은 $\frac{1}{s}$이므로 전압원은 $V_s(s) = \frac{20}{s}$이다. **초기전류가 0인 인덕터**는 임피던스 $Z_L(s) = sL = 20s$로 나타낼 수 있다. 따라서 20 Ω 저항과 이 임피던스에 전압분배 법칙을 적용한다.

4. 전압분배와 결과: 인덕터에 걸리는 전압은 $V_{TH}(s) = V_s(s)\frac{Z_L(s)}{20 + Z_L(s)}$이다. 값을 대입하면 $V_{TH}(s) = \frac{20}{s} \cdot \frac{20s}{20 + 20s}$이고, 공통인자를 약분하여 $V_{TH}(s) = \frac{20}{s+1}$을 얻는다. 이는 ④의 식과 일치한다.

NoteBase

문 17. 다음 회로에서 V_o [V]는?



① −101.25

② 15.5

③ 24.5

④ 33.75

정답 4번

간단한 해설

출력 단자가 **개방**되어 2 kΩ과 4 kΩ 저항의 전압강하는 0이다. 두 저항 가지의 전압분배를 적용하면 왼쪽 출력 단자가 오른쪽보다 **33.75 V 높다**.

NoteBase

계산 과정

1. 개방된 출력 단자: 출력의 두 단자 사이에는 전류 경로가 없으므로 2 kΩ과 4 kΩ 저항에 흐르는 전류는 0이다. 따라서 이 저항들의 전압강하도 0이며, 출력 단자 전압은 각각 10 kΩ · 15 kΩ의 접속점 전압과 3 kΩ · 12 kΩ의 접속점 전압에 같다. 아래쪽 공통 노드를 0 V로 두고 위쪽 공통 노드 전압을 V_T, 왼쪽과 오른쪽 접속점 전압을 각각 V_A, V_B라 한다.

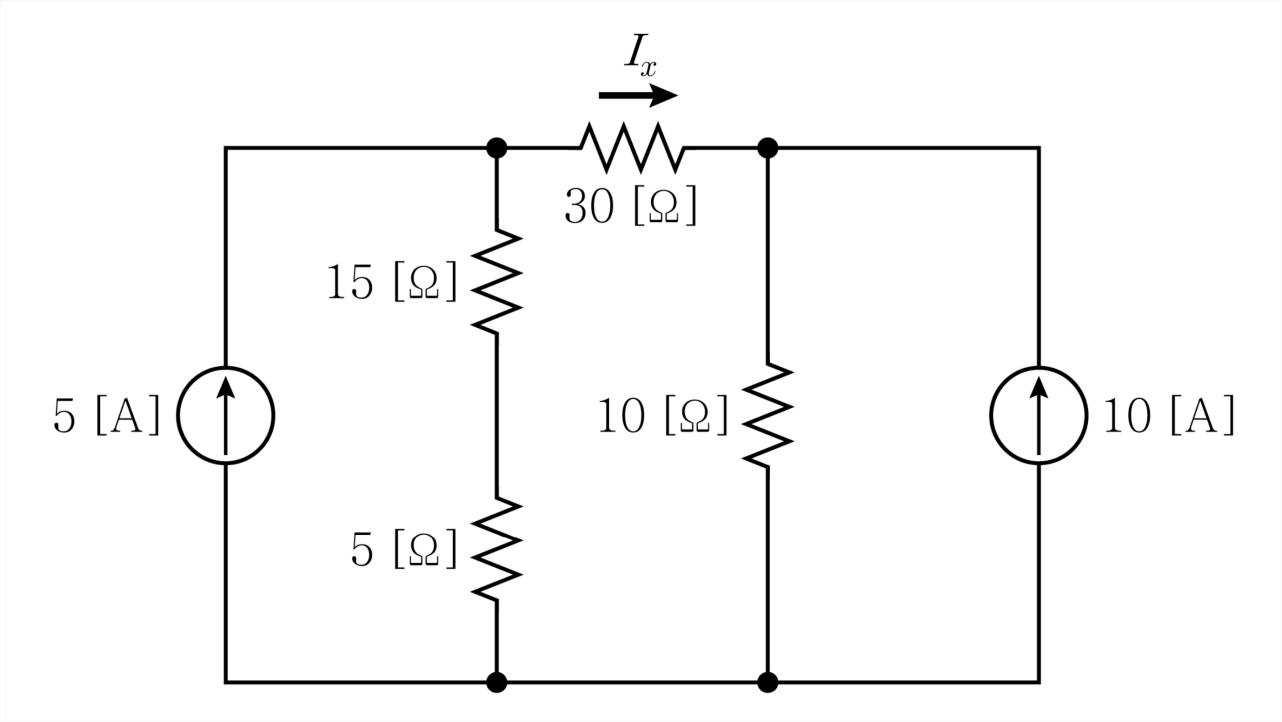
2. 두 저항 가지의 공통 전압: 가운데 가지는 10 + 15 = 25 kΩ, 오른쪽 가지는 3 + 12 = 15 kΩ이며, 두 가지는 병렬이다. 합성저항은 $R_{\text{eq}} = \frac{25 \cdot 15}{25 + 15} = 9.375\ \text{k}\Omega$이다. 전류원이 위에서 아래로 18 mA를 보내므로 저항 가지에는 합계 18 mA가 아래에서 위로 흘러야 한다. 따라서 **위쪽 노드의 전위가 아래쪽보다 낮고**, $V_T = -18 \cdot 9.375 = -168.75\ \text{V}$이다. 여기서 mA와 kΩ을 곱하면 V가 된다.

3. 두 접속점의 전압: 각 가지의 두 저항에는 같은 전류가 흐르므로 전압분배를 적용한다. 아래쪽 노드를 기준으로 한 접속점 전압에는 **접속점 아래의 저항 비율**을 곱한다. 왼쪽은 $V_A = V_T \cdot \frac{15}{10 + 15} = -101.25\ \text{V}$, 오른쪽은 $V_B = V_T \cdot \frac{12}{3 + 12} = -135\ \text{V}$이다.

4. 출력 전압: 표시된 극성은 왼쪽이 +, 오른쪽이 −이므로 $V_o = V_A - V_B$이다. 따라서 $V_o = -101.25 - (-135) = 33.75\ \text{V}$이며, 선택지 ④의 33.75 V와 일치한다. 두 접속점 전압이 모두 음수여도 왼쪽 전위가 더 높으므로 출력 전압은 양수이다.

NoteBase

문 18. 다음 회로에서 전류 I_x [A]는?



① 0

② 1

③ 2

④ 3

정답 1번

간단한 해설

두 위쪽 절점의 전위가 모두 100 V로 같으므로 **30 Ω 저항 양단의 전위차가 0 V**이다. 따라서 이 저항을 흐르는 전류는 0 A이다.

NoteBase

계산 과정

아래쪽 공통 도선을 기준 전위 0 V로 두고, 왼쪽과 오른쪽 위 절점의 전위를 각각 V_L, V_R라 한다. 왼쪽의 15 Ω과 5 Ω 저항 사이에는 분기점이 없으므로 **두 저항은 직렬**이며, 합성저항은 15 + 5 = 20 Ω이다.

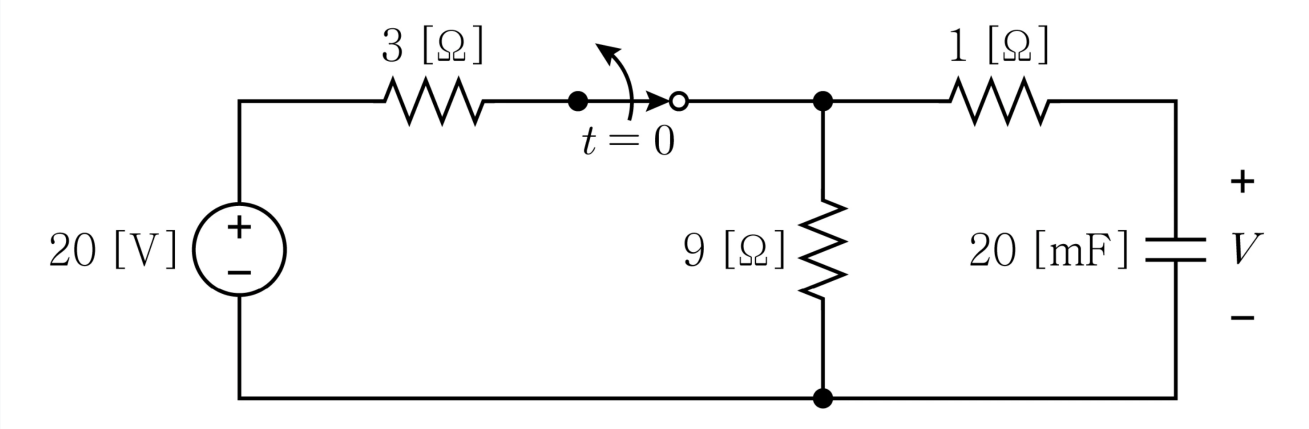
I_x의 양의 방향은 그림처럼 왼쪽에서 오른쪽이다. 각 절점에서 유입 전류와 유출 전류가 같다는 키르히호프 전류 법칙을 적용하면, 왼쪽 20 Ω 가지의 아래쪽 전류는 $5 - I_x$ A이고 오른쪽 10 Ω 가지의 아래쪽 전류는 $10 + I_x$ A이다. 따라서 옴의 법칙에 의해 $V_L = 20(5 - I_x)$, $V_R = 10(10 + I_x)$이다. 여기서 전류는 A, 전위는 V 단위로 나타낸다.

30 Ω 저항에서는 **전류 방향을 따라 왼쪽 전위에서 오른쪽 전위를 뺀 값**이 전압강하이므로 $30I_x = V_L - V_R$이다. 앞의 두 전위를 대입하면 $30I_x = 20(5 - I_x) - 10(10 + I_x)$이고, 이를 정리하면 $30I_x = -30I_x$, 즉 $60I_x = 0$이다.

따라서 $I_x = 0$ A로, ①의 0에 해당한다. 이때 $V_L = V_R = 100$ V이므로 30 Ω 저항 양단에 전위차가 없다는 것도 확인할 수 있다.

NoteBase

문 19. 다음 회로에서 $t = 0$ [sec]인 순간에 스위치가 열린다. 커패시터에 저장된 초기 에너지[J]는? (단, $t < 0$ [sec]에서 회로는 정상상태이다)



① 2.20

② 2.25

③ 2.30

④ 2.35

정답 2번

간단한 해설

스위치가 열리기 전 직류 정상상태에서는 **커패시터 전류가 0**이므로 1 Ω 저항의 전압강하도 0이다. 3 Ω과 9 Ω의 전압 분배로 커패시터의 초기 전압은 15 V이며, $W = \frac{1}{2}CV^2$에 따라 저장 에너지는 2.25 J이다.

계산 과정

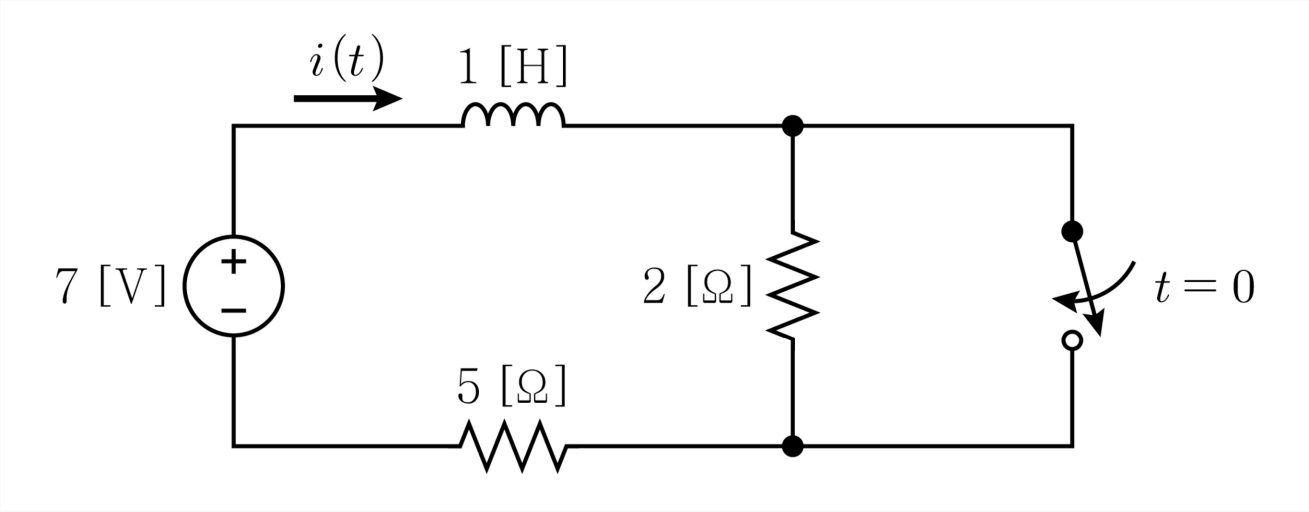
1. 스위치가 열리기 전의 회로: $t < 0$에서 스위치는 닫혀 있고 직류 정상상태이다. 커패시터 전류는 $i_C = C\frac{dv_C}{dt}$이므로 전압이 일정한 정상상태에서는 0이다. 따라서 커패시터 가지를 **개방회로로 취급**하며, 이 가지에 직렬로 연결된 1 Ω 저항에도 전류가 흐르지 않아 전압강하가 없다.

2. 커패시터 전압: 전원 전류는 3 Ω과 9 Ω 저항을 차례로 흐른다. 이때 $I = \frac{20}{3+9} = \frac{5}{3}$A이다. 1 Ω 저항의 전압강하가 0이므로 커패시터 전압은 9 Ω 저항 양단 전압과 같고, 그림의 위쪽 단자가 양극이다. 따라서 $v_C(0^-) = 20 \cdot \frac{9}{3+9} = 15$V이다.

3. 초기 에너지: 이 회로에서 스위치를 여는 순간 **커패시터 전압은 연속**이므로 $v_C(0^+) = v_C(0^-) = 15$V이다. 정전용량 C는 20 mF = 0.020 F이고, 커패시터의 저장 에너지는 $W = \frac{1}{2}Cv_C^2$이다. 이를 대입하면 $W(0) = \frac{1}{2} \cdot 0.020 \cdot 15^2 = 2.25$J이므로 ②의 2.25 J에 해당한다.

NoteBase

문 20. 다음 회로에서 스위치가 $t = 0$ [sec]에서 닫힌다. $t > 0$ [sec]에서 전류 $i(t)$ [A]의 라플라스 변환 $I(s)$는? (단, $t < 0$ [sec]에서 회로는 정상상태이다)



① $\frac{s+7}{s(s+5)}$
② $\frac{2s}{s(s+3)}$
③ $\frac{7}{s(s+7)}$
④ $\frac{s}{s(s+2)}$

정답 1번

간단한 해설

스위치가 닫혀도 **인덕터 전류는 연속**이므로 초기전류 1 A를 반영해야 한다. 닫힌 스위치가 2 Ω 저항을 단락하므로, 5 Ω 저항과 초기전류를 반영하면 $I(s) = \frac{s+7}{s(s+5)}$가 된다.

NoteBase

계산 과정

스위치가 닫히기 전: 직류 정상상태에서는 인덕터 전류가 일정하므로 인덕터 양단 전압이 0이고, 인덕터를 단락으로 취급한다. 스위치는 열려 있으므로 2 Ω과 5 Ω이 직렬로 연결된다. 따라서 그림의 화살표 방향 초기전류는 $i(0^-) = \frac{7}{2+5} = 1\text{A}$이다.

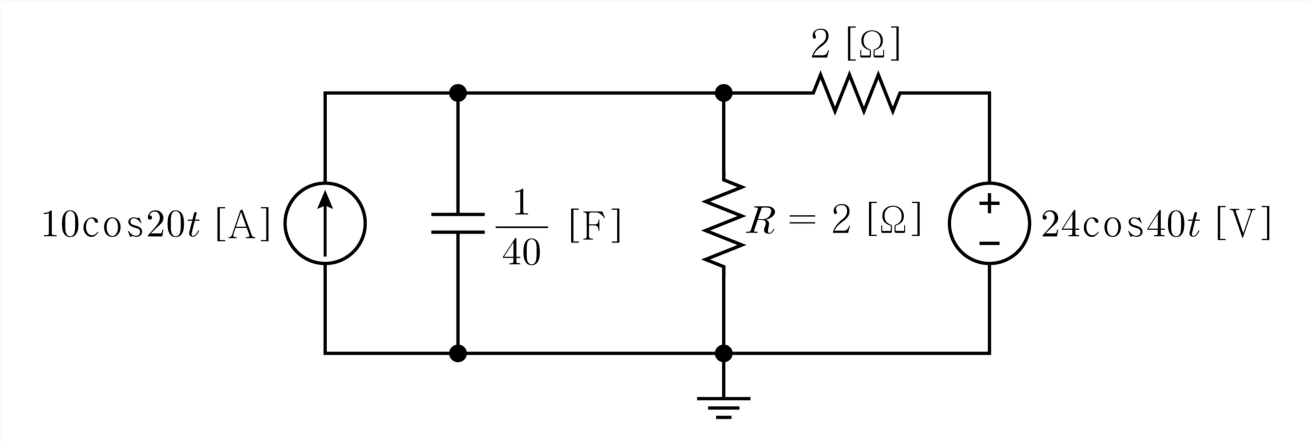
스위치가 닫힌 후: 스위치가 2 Ω 저항의 양단을 직접 연결하므로 이 저항은 **단락되어 전압이 0**이 된다. 남는 회로는 7 V 전원, 1 H 인덕터, 5 Ω 저항의 직렬회로이다. 인덕터 전류는 순간적으로 바뀌지 않으므로 $i(0^+) = i(0^-) = 1\text{A}$이다.

회로방정식과 변환: 인덕터 전압은 $L\frac{di(t)}{dt}$, 저항 전압은 $Ri(t)$이므로 키르히호프 전압법칙을 적용하면 $\frac{di(t)}{dt} + 5i(t) = 7$이다. 미분항의 라플라스 변환은 **초기전류를 포함한** $sI(s) - i(0^-)$이고, 7 V의 일정한 전압은 $\frac{7}{s}$로 변환된다. 따라서 $sI(s) - 1 + 5I(s) = \frac{7}{s}$이다.

변환식 정리: $(s+5)I(s) = 1 + \frac{7}{s}$를 풀면 $I(s) = \frac{s+7}{s(s+5)}$이다. 초기전류 1 A가 분자의 s항에 반영되며, 이 식은 ①의 표현과 일치한다.

NoteBase

문 21. 다음 회로의 저항 R에서 소비되는 평균전력[W]은?



① 18

② 28

③ 38

④ 48

정답 3번

간단한 해설

두 전원의 각주파수가 다르므로 **주파수별 전압을 따로 구한 뒤 평균전력을 합한다**. 저항 R의 20 rad/s 성분에 의한 평균전력은 20 W, 40 rad/s 성분에 의한 평균전력은 18 W이므로 총 38 W이다.

NoteBase

계산 과정

회로의 아래쪽 접지를 기준으로 저항 R의 위쪽 전압을 구한다. R은 2 Ω이고 커패시턴스는 $C = \frac{1}{40}$F이다. 선형 회로이므로 20 rad/s와 40 rad/s 성분에 중첩의 원리를 적용한다. 주어진 10 A와 24 V는 코사인파의 **최댓값**이므로 아래 페이저도 최댓값 기준으로 사용한다. 최댓값 전압 페이저가 V일 때 저항의 평균전력은 $P = \frac{|V|^2}{2R}$이다.

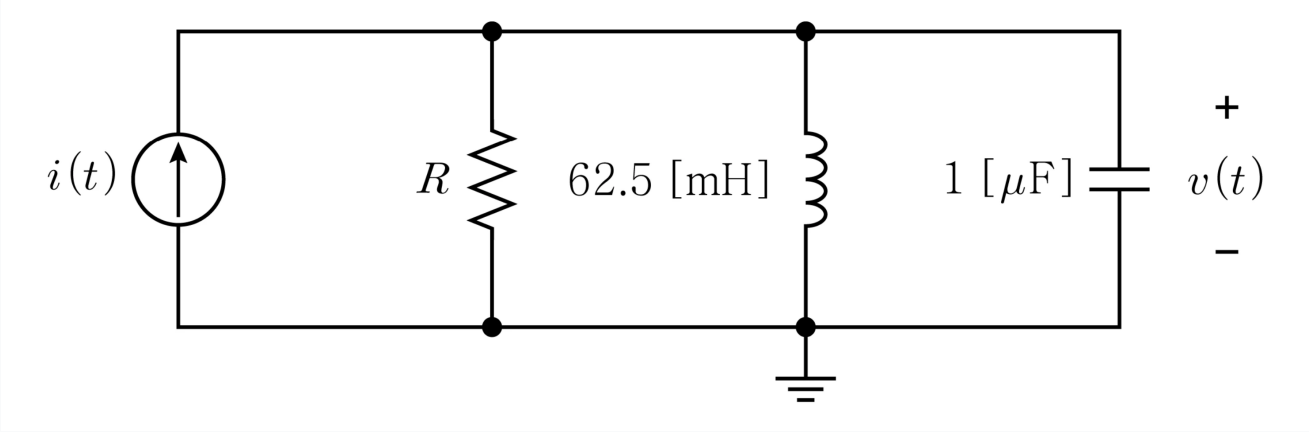
20 rad/s 성분: 전압원을 0으로 두어 **단락**하면 오른쪽 2 Ω 저항도 R과 병렬로 연결된다. 두 저항의 합성 컨덕턴스는 $\frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$S이고, 커패시터 어드미턴스는 $j\omega C = j\frac{20}{40} = j\frac{1}{2}$S이다. 따라서 저항 R 양단의 전압은 $V_{20} = \frac{10}{1 + j/2}$V이고, 그 크기의 제곱은 $|V_{20}|^2 = \frac{100}{1 + (1/2)^2} = 80\text{V}^2$이다. 이 성분이 R에서 소비하는 평균전력은 $P_{20} = \frac{80}{2 \cdot 2} = 20$W이다.

40 rad/s 성분: 전류원을 0으로 두어 **개방**한다. 커패시터 어드미턴스는 $j\omega C = j\frac{40}{40} = j1$S이고, 전압원 위쪽 노드의 전압은 24 V이다. 저항 R 위쪽 노드에 키르히호프 전류법칙을 적용하면 $\frac{V_{40}}{2} + jV_{40} + \frac{V_{40} - 24}{2} = 0$이다. 이를 정리하면 $(1 + j)V_{40} = 12$이므로 $V_{40} = \frac{12}{1 + j}$V이다. 따라서 $|V_{40}|^2 = \frac{144}{1 + 1^2} = 72\text{V}^2$이고, 이 성분의 평균전력은 $P_{40} = \frac{72}{2 \cdot 2} = 18$W이다.

평균전력 합산: 저항의 순간전력은 $p(t) = \frac{[v_{20}(t) + v_{40}(t)]^2}{R}$이다. 두 전압 성분의 주파수가 다르므로 공통 주기 동안 곱의 평균이 0이 되어 **교차항의 평균전력은 0**이다. 따라서 총 평균전력은 20 + 18 = 38 W이며, ③의 38 W에 해당한다.

NoteBase

문 22. 다음 병렬 공진회로의 양호도(quality factor)가 $Q = 10$일 때, 전달함수 $H(s) = \frac{V(s)}{I(s)}$는? (단, $V(s)$와 $I(s)$는 각각 $v(t)$와 $i(t)$의 라플라스 변환이다)



① $\frac{10^6 s}{s^2 + 200s + 4 \times 10^6}$
② $\frac{10^6 s}{s^2 + 400s + 16 \times 10^6}$
③ $\frac{10^6}{s^2 + 200s + 4 \times 10^6}$
④ $\frac{10^6}{s^2 + 400s + 16 \times 10^6}$

정답 2번

간단한 해설

병렬회로에서 전압과 입력 전류의 비는 **전체 어드미턴스의 역수**이다. 공진 각주파수는 4000 rad/s이고 Q = 10이므로 분모의 s항 계수는 400이며, 전달함수는 $H(s) = \frac{10^6 s}{s^2 + 400s + 16 \times 10^6}$ Ω이다.

NoteBase

계산 과정

1. 병렬회로의 전달함수: 그림에서 저항 R, 인덕터 L = 62.5 mH = 0.0625 H, 커패시터 C = 1 μF가 같은 두 노드에 연결되어 있다. 전달함수는 초기 에너지를 0으로 두고 구하므로, 각 가지 전류를 더하면 $I(s) = V(s)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{sL} + sC\right)$이다. 따라서 전압을 전류로 나눈 값은 **병렬 합성 임피던스**이며, 분자와 분모에 s/C를 곱해 정리하면 $H(s) = \frac{s/C}{s^2 + \frac{1}{RC}s + \frac{1}{LC}}$이다. 이 전달함수의 단위는 V/A, 즉 Ω이다.

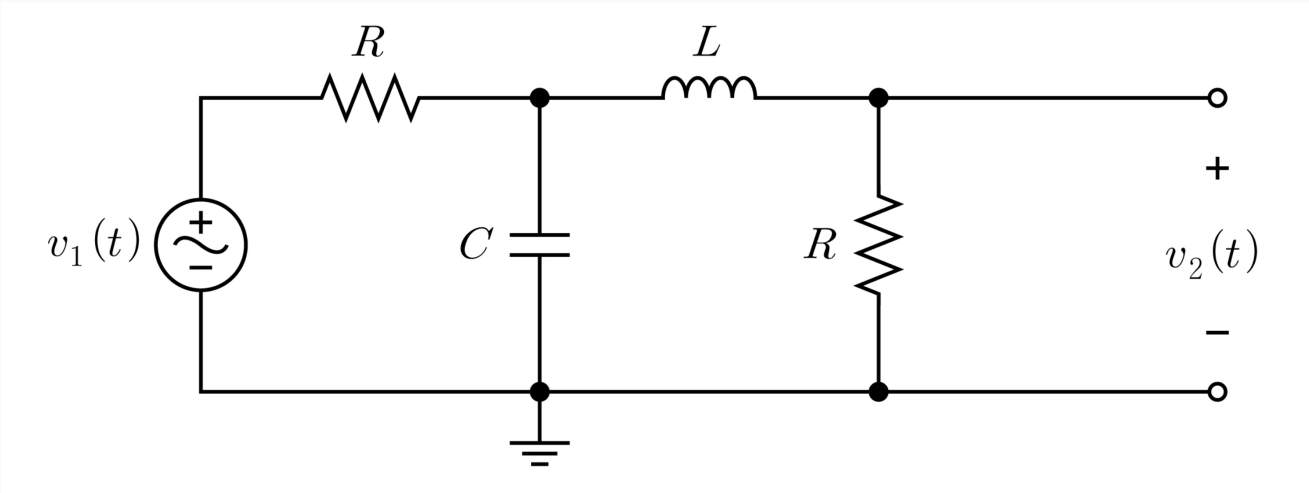
2. 공진 각주파수: 공진에서는 인덕터와 커패시터의 무효 어드미턴스가 상쇄되므로 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$이다. 주어진 값을 대입하면 $\frac{1}{LC} = \frac{1}{0.0625 \cdot 10^{-6}} = 16 \times 10^6$이고, $\omega_0 = 4000$ rad/s이다. 이때 구한 $1/(LC)$가 전달함수 분모의 상수항이다.

3. 양호도로 저항과 s항 계수 구하기: 병렬 RLC 회로의 양호도는 공진 때 커패시터 가지 전류의 크기를 저항 가지 전류의 크기로 나눈 값이므로 $Q = \omega_0 CR$이다. 따라서 $R = \frac{Q}{\omega_0 C} = \frac{10}{4000 \cdot 10^{-6}} = 2500\ \Omega$이다. 분모의 s항 계수는 $\frac{1}{RC} = \frac{\omega_0}{Q} = \frac{4000}{10} = 400$이며 단위는 s^{-1}이다. **병렬회로에서는 R이 커질수록 양호도가 커진다**는 관계에 유의한다.

4. 전달함수 완성: $1/C = 10^6$이므로 분자는 $10^6 s$이다. 위에서 구한 분모의 두 계수를 대입하면 $H(s) = \frac{10^6 s}{s^2 + 400s + 16 \times 10^6}\ \Omega$이며, 이는 ②의 식과 일치한다.

NoteBase

문 23. 다음 회로의 전달함수 $H(s)=\frac{V_2(s)}{V_1(s)}$는? (단, $V_1(s)$와 $V_2(s)$는 각각 $v_1(t)$와 $v_2(t)$의 라플라스 변환이다)



① $\frac{1}{2CR+(\frac{L}{R})s+LCs^2}$
② $\frac{1}{2+(RL+\frac{C}{R})s+LCs^2}$
③ $\frac{1}{2+(RL+CR)s+LCs^2}$
④ $\frac{1}{2+(\frac{L}{R}+CR)s+LCs^2}$

정답 4번

간단한 해설

커패시터 분기점에서 입력 저항의 전류는 **커패시터 전류와 출력 저항 전류로 나뉜다**. 이 전류 관계와 인덕터의 전압 강하를 함께 반영하면 $H(s)=\frac{1}{2+(\frac{L}{R}+CR)s+LCs^2}$이다.

NoteBase

계산 과정

1. 회로의 변수 설정: 아래쪽 공통선을 기준으로 커패시터 위쪽 접점의 전압을 $V_a(s)$라 하자. 출력 전압 $V_2(s)$는 오른쪽 저항 R에 걸리는 전압이다. 전달함수는 **초기 에너지가 0인 조건**에서 구하므로 인덕터의 임피던스는 sL, 커패시터의 어드미턴스는 sC로 놓는다.

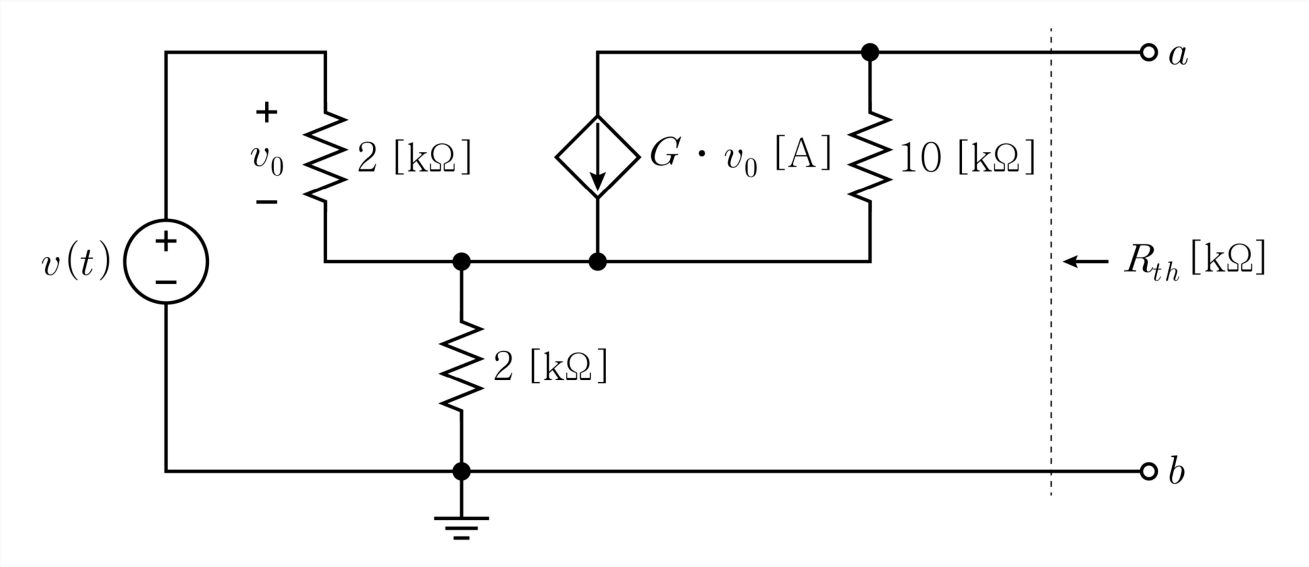
2. 출력 쪽 전압 관계: 인덕터와 오른쪽 저항 사이에는 외부로 전류가 흐르는 가지가 없으므로 두 소자에는 같은 전류 $I(s) = \frac{V_2(s)}{R}$가 흐른다. 따라서 인덕터 왼쪽 접점의 전압은 출력 전압에 인덕터의 전압 강하를 더한 값이다. 즉, $V_a(s) = V_2(s) + sLI(s)$이므로 $V_a(s) = \left(1 + \frac{sL}{R}\right)V_2(s)$이다.

3. 분기점의 전류 관계: 왼쪽 저항을 통과한 전류는 **커패시터와 인덕터 쪽으로 나뉜다**. 커패시터 전류는 $sCV_a(s)$이므로 키르히호프 전류법칙을 적용하면 $\frac{V_1(s) - V_a(s)}{R} = sCV_a(s) + \frac{V_2(s)}{R}$이다. 양변에 R을 곱하여 정리하면 $V_1(s) = (1 + sCR)V_a(s) + V_2(s)$를 얻는다.

4. 전달함수 도출: 앞에서 구한 $V_a(s)$를 대입하면 $V_1(s) = \left[(1 + sCR)\left(1 + \frac{sL}{R}\right) + 1\right]V_2(s)$이다. 괄호 안을 전개하면 상수항은 2, s의 계수는 $\frac{L}{R} + CR$, s^2의 계수는 LC이다. 따라서 무차원 전압비인 전달함수는 $H(s) = \frac{1}{2 + \left(\frac{L}{R} + CR\right)s + LCs^2}$이며, ④의 식과 일치한다.

NoteBase

문 24. 다음 회로의 a, b 단자에서 좌측으로 본 테브난 저항 R_{th} [kΩ]는? (단, $G = 10^{-3}$ [S]이다)



① 11

② 12

③ 21

④ 22

정답 3번

간단한 해설

독립 전압원을 단락해도 **종속 전류원은 유지**해야 한다. 단자에 1 mA를 흘려 넣으면 두 2 kΩ 저항의 공통 접점 전압은 1 V가 되고, 종속 전류원의 작용으로 10 kΩ 저항에는 2 mA가 흐르므로 단자 전압은 21 V, 테브난 저항은 **21 kΩ**이다.

NoteBase

계산 과정

1. 독립 전원 제거: 테브난 저항은 독립 전원을 0으로 만든 뒤 단자에 시험 전원을 연결하여 구한다. 독립 전압원 $v(t)$를 단락하되 **종속 전류원은 그대로 둔다**. 그러면 왼쪽 2 kΩ 저항의 위쪽 끝이 b와 연결되므로, 두 2 kΩ 저항은 가운데 접점과 b 사이에서 병렬이 된다. 두 저항의 합성저항은 1 kΩ이다.

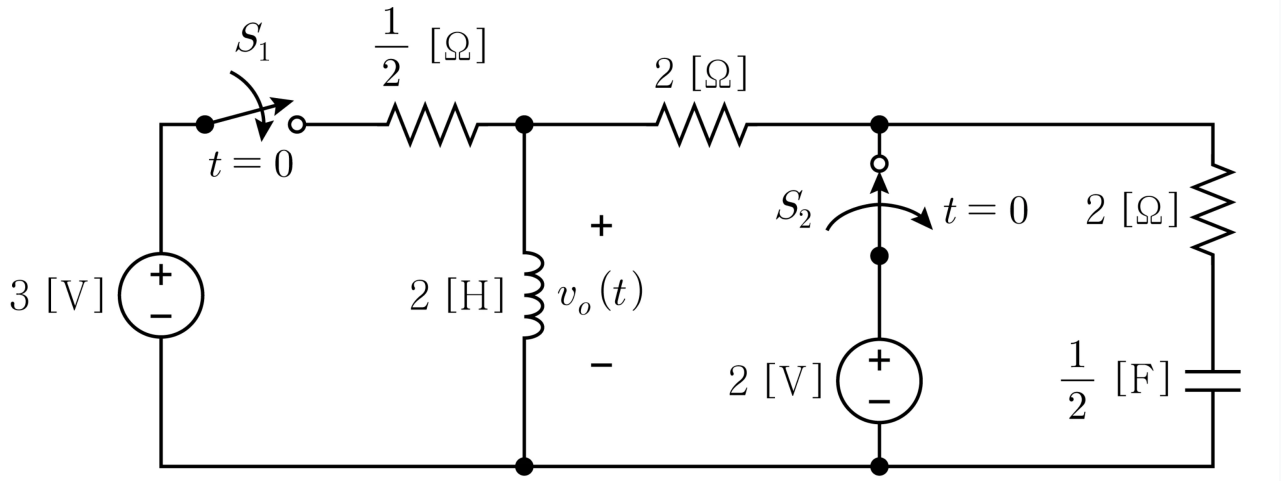
2. 제어전압 계산: b를 기준 전위로 잡고, a로 들어가 회로를 거쳐 b로 나오는 시험 전류를 $I_T = 1\text{mA}$로 둔다. 가운데 접점의 전압을 V_c라 하면, 이 시험 전류는 결국 합성저항 1 kΩ을 통해 b로 흐르므로 $V_c = 1\text{mA} \cdot 1\text{k}\Omega = 1\text{V}$이다. 제어전압은 왼쪽 2 kΩ 저항의 위쪽이 +, 가운데 접점 쪽이 −이므로 **그림의 극성을 적용**하면 $v_0 = 0 - V_c = -1\text{V}$이다.

3. 10 kΩ 저항의 전류: 종속 전류원의 아래쪽 화살표를 양의 방향으로 잡으면 $Gv_0 = 10^{-3} \cdot (-1)\text{A} = -1\text{mA}$이다. 즉 실제로는 **가운데 접점에서 a 쪽으로 1 mA**가 흐른다. 따라서 a에서 가운데 접점으로 흐르는 10 kΩ 저항의 전류는 시험 전류 1 mA에 이 전류를 더한 2 mA이다.

4. 단자 전압과 저항: 10 kΩ 저항의 전압강하는 $V_a - V_c = 2\text{mA} \cdot 10\text{k}\Omega = 20\text{V}$이다. 가운데 접점이 b보다 1 V 높으므로 단자 전압은 $V_{ab} = 20 + 1 = 21\text{V}$이다. 따라서 $R_{th} = \frac{V_{ab}}{I_T} = \frac{21\text{V}}{1\text{mA}} = 21\text{k}\Omega$로, ③의 21 kΩ에 해당한다.

NoteBase

문 25. 다음 회로에서 $t > 0$ [sec]인 순간에 스위치 S_1은 닫히고 스위치 S_2는 열린다. $t > 0$ [sec]에서 출력전압 $v_o(t)$ [V]는? (단, $t < 0$ [sec]에서 회로는 정상상태이고, $u(t)$는 단위계단함수이다)



① $\left(\frac{22}{9}te^{-\frac{1}{3}t} + \frac{8}{27}e^{-\frac{1}{3}t}\right)u(t)$

② $\left(\frac{8}{27}te^{-\frac{1}{3}t} + \frac{22}{9}e^{-\frac{1}{3}t}\right)u(t)$

③ $\left(\frac{8}{3}te^{-\frac{1}{3}t} + \frac{1}{3}e^{-\frac{1}{3}t}\right)u(t)$

④ $\left(\frac{1}{3}te^{-\frac{1}{3}t} + \frac{8}{3}e^{-\frac{1}{3}t}\right)u(t)$

정답 2번

간단한 해설

전환 후 출력은 특성방정식의 **중근** 때문에 $(A + Bt)e^{-t/3}$ 꼴이다. **인덕터 전류와 커패시터 전압의 연속 조건**을 적용하면 출력전압은 $v_o(t) = \left(\frac{22}{9} + \frac{8}{27}t\right)e^{-t/3}u(t)$V가 된다.

NoteBase

계산 과정

1. 전환 직전의 초기 상태: 회로도에 표시된 $t=0$을 스위치 전환 시점으로 삼는다. $t<0$에서는 S_1이 열리고 S_2가 닫혀 있다. 직류 정상상태에서 **인덕터는 단락, 커패시터는 개방**으로 취급한다. 인덕터 전류 i_L의 양의 방향을 위에서 아래로, 커패시터 전압 v_C의 양의 극성을 위쪽으로 잡으면, 2 V 전원에서 위쪽 2 Ω 저항을 거쳐 인덕터로 흐르는 전류는 $i_L(0^-)=\frac{2}{2}=1\text{A}$이다. 커패시터 가지에는 전류가 흐르지 않아 오른쪽 2 Ω 저항의 전압강하가 없으므로 $v_C(0^-)=2\text{V}$이다.

2. 전환 직후의 출력전압: $t>0$에서는 S_1이 닫히고 S_2가 열려 2 V 전원 가지가 분리된다. 오른쪽 두 저항은 직렬이므로 합성저항은 4 Ω이다. 인덕터 전류와 커패시터 전압이 연속이므로 $i_L(0^+)=1\text{A}$, $v_C(0^+)=2\text{V}$이다. 출력 노드에서 키르히호프 전류법칙을 적용하면 $\frac{3-v_o}{1/2}=i_L+\frac{v_o-v_C}{4}$이며, 정리하면 $9v_o=24-4i_L+v_C$이다. 따라서 $v_o(0^+)=\frac{24-4+2}{9}=\frac{22}{9}\text{V}$이다. 인덕터 양단의 **전압 자체는 순간적으로 변할 수 있다**.

3. 출력의 미분방정식: 인덕터 관계식은 $i_L'=\frac{v_o}{2}$이고, 오른쪽 가지 전류는 $\frac{v_o-v_C}{4}=\frac{1}{2}v_C'$이므로 $v_C'=\frac{v_o-v_C}{2}$이다. 여기서 프라임은 시간에 대한 미분을 뜻한다. $9v_o=24-4i_L+v_C$를 미분하고 두 관계식을 대입하면 $18v_o'=-3v_o-v_C$를 얻는다. 이를 다시 미분한 뒤 v_C'와 v_C를 소거하면 $18v_o''+12v_o'+2v_o=0$이다. 따라서 특성방정식은 $s^2+\frac{2}{3}s+\frac{1}{9}=0$이고, **중근** $s=-\frac{1}{3}$을 갖는다. 출력은 $v_o(t)=(A+Bt)e^{-t/3}$ 꼴이다.

4. 계수 결정: 초기 출력전압에서 $A=\frac{22}{9}\text{V}$이다. 또한 $18v_o'=-3v_o-v_C$에 전환 직후 값을 대입하면 $v_o'(0^+)=-\frac{14}{27}\text{V/s}$이다. 출력식을 미분하면 $v_o'(0^+)=B-\frac{A}{3}$이므로 $B=v_o'(0^+)+\frac{A}{3}=\frac{8}{27}\text{V/s}$이다. 이 계수는 초기 출력전압뿐 아니라 **초기 전압 변화율**도 만족시키도록 정해진다.

5. 출력식: $t>0$의 응답을 문제의 단위계단함수 표기로 나타내면 $v_o(t)=\left(\frac{8}{27}t+\frac{22}{9}\right)e^{-t/3}u(t)\text{V}$이며, ②의 식과 일치한다. 여기서 $u(t)$는 전환 이후 응답을 표시하며, 전환 이전의 실제 출력까지 이 식으로 나타낸다는 뜻은 아니다.

NoteBase