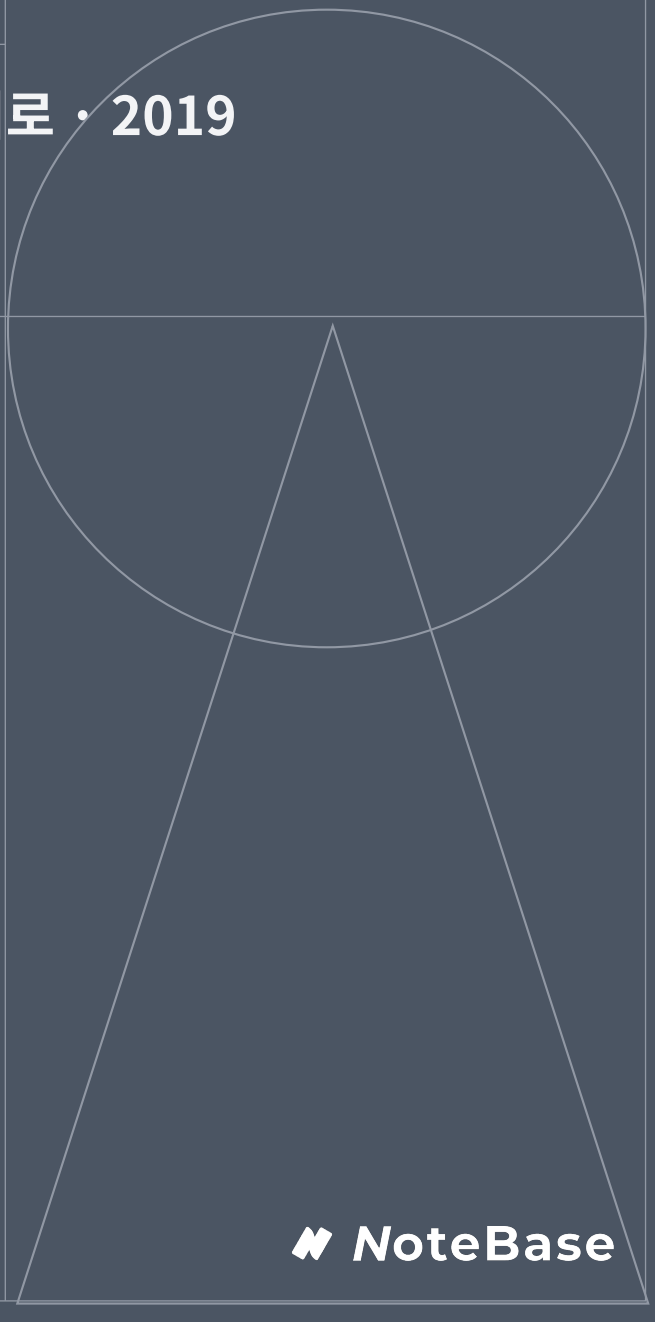
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전자회로 · 2019



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전자회로 · 2019

공무원/국가직/7급 · 전자회로 · 2019

문 1. 최고 주파수가 15[kHz]인 음성신호를 나이퀴스트 표본화 주파수로 표본화한 후, 256레벨로 양자화하고, 양자화 레벨을 중첩 없이 최소 비트 수로 이진 부호화하여 펄스부호변조(PCM) 신호를 생성할 때, 이 신호의 전송속도[kbps]는?

① 120

② 240

③ 360

④ 480

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 PCM 전송속도를 구할 때 나이퀴스트 표본화 주파수와 양자화 비트 수를 함께 적용할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 최고 주파수는 $15kHz$이다.
표본화 주파수: 나이퀴스트 조건에 따라 최소 $2 \times 15 = 30kHz$이다.
양자화 레벨 수: 256레벨이다.
비트 수: $256 = 2^8$이므로 표본 1개당 8비트이다.
구해야 할 값: PCM 신호의 전송속도이다.

사용할 공식

PCM 전송속도는 표본화 주파수 × 표본당 비트 수이다.
이 공식을 쓰는 이유는 PCM이 각 표본값을 일정 비트 수의 이진수로 보내므로, 1초 동안 만드는 표본 개수와 표본 1개를 표현하는 비트 수를 곱하면 초당 전송 비트 수가 되기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 최고 주파수가 $15kHz$이므로 나이퀴스트 표본화 주파수는 $2 \times 15 = 30kHz$이다.
2. 256레벨을 중첩 없이 최소 비트 수로 부호화하면 $\log_2 256 = 8$비트이다.
3. 따라서 전송속도는 $30{,}000 \times 8 = 240{,}000bps$이다.
4. $240{,}000bps = 240kbps$이므로 정답값은 240이다.

선지 판단

1번 X: 120 kbps는 $15kHz \times 8$로 계산한 값이다. 나이퀴스트 조건의 2배 표본화를 빠뜨린 값이므로 틀리다. 틀린 값 120 → 올바르게는 240 kbps이다.
2번 O: 나이퀴스트 표본화 주파수 $30kHz$와 8비트를 곱하면 240 kbps가 되므로 옳다.
3번 X: 360 kbps는 문제 조건인 $30kHz$ 표본화와 8비트 부호화를 적용한 결과와 맞지 않는다. 표본화 주파수나 비트 수를 임의로 잘못 잡은 값이므로 틀리다. 틀린 값 360 → 올바르게는 240 kbps이다.
4번 X: 480 kbps는 240 kbps의 2배로, 표본당 비트 수를 16비트처럼 잘못 보거나 값을 한 번 더 곱한 경우에 나오는 오답이다. 256레벨은 8비트이므로 틀리다. 틀린 값 480 → 올바르게는 240 kbps이다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 최고 주파수 $15kHz$를 그대로 표본화 주파수로 쓰는 실수와, 256레벨을 8비트로 바로 바꾸지 못하는 실수이다. 이 두 단계를 하나라도 놓치면 120 kbps나 480 kbps 같은 오답으로 흐르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

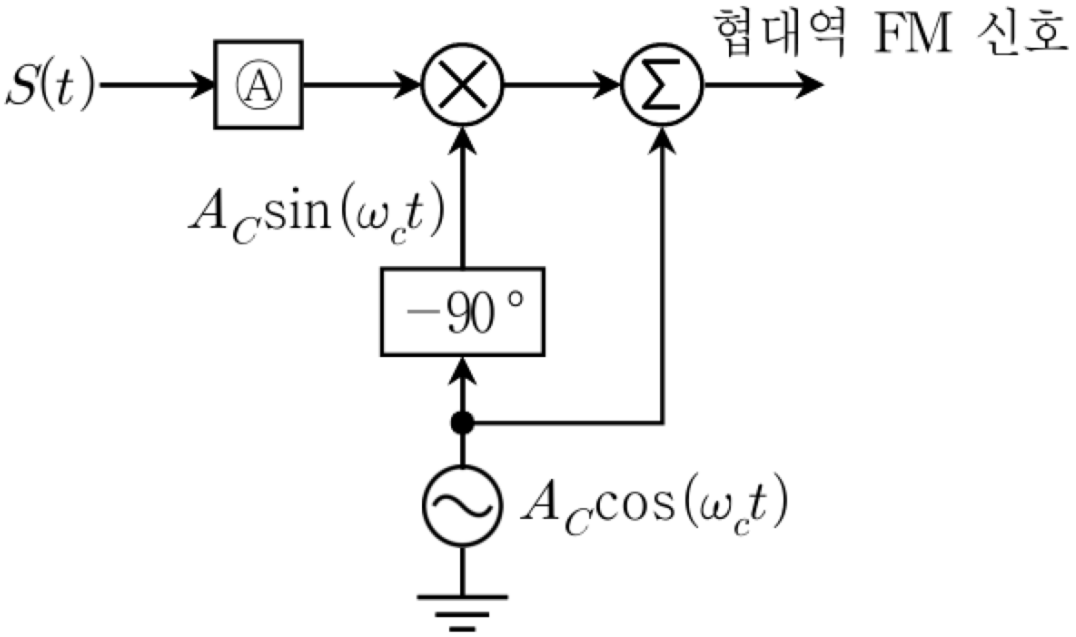
PCM 전송속도 문제는 최고 주파수에서 먼저 나이퀴스트 표본화 주파수 $2f_{max}$를 구하고, 다음에 양자화 레벨 수를 $\log_2 L$비트로 바꾼 뒤, 마지막에 두 값을 곱해 판단한다.

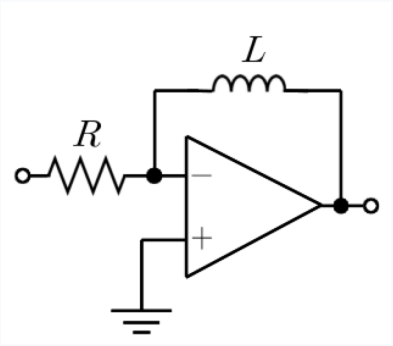
암기 포인트

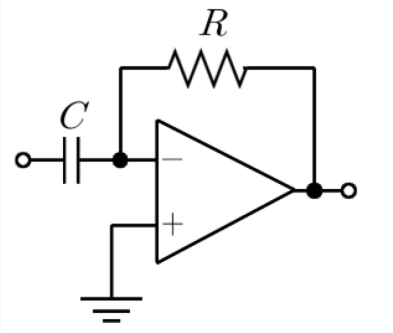
PCM 전송속도는 $2f_{max} \times \log_2 L$로 정리된다.

NoteBase

문 2. 다음 블록도는 신호 $S(t)$를 입력받아 협대역 FM 신호를 출력하는 시스템이다. 블록 Ⓐ의 회로도로 옳은 것은?

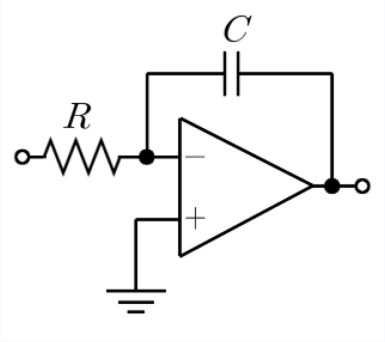


① 

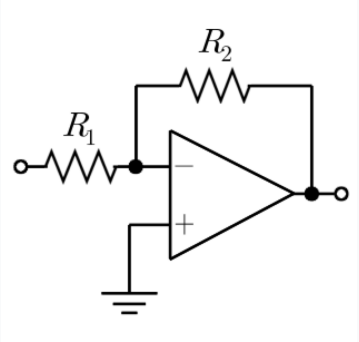
② 

NoteBase

③



④



정답 3번

출제 포인트

이 문제는 협대역 FM의 소각 근사식 $A_c\cos(\omega_c t + \phi(t)) \approx A_c\cos(\omega_c t) - A_c\phi(t)\sin(\omega_c t)$에서 $\phi(t) = k_f\int S(t)dt$가 되어야 함을 도식과 회로 형태에 대응시키는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

1번 회로는 입력 저항 R, 귀환 인덕터 L의 반전형 회로이므로 출력이 $v_o = -(L/R)dS(t)/dt$에 비례하는 미분기 성격을 가진다.

협대역 FM 블록 A에는 $S(t)$의 미분값이 아니라 적분값이 필요하다.

틀린 표현은 회로 기능이 FM용 적분기라는 점을 만족하지 못한다는 점이며, 올바르게는 입력 저항과 귀환 커패시터를 둔 적분기여야 한다.

② X

2번 회로는 입력에 커패시터, 귀환에 저항이 있으므로 연산증폭기 미분기이고 출력은 $v_o = -RCdS(t)/dt$가 된다.

이 회로를 쓰면 직교 성분에 $dS(t)/dt$가 실려 협대역 FM이 아니라 다른 형태의 변조 성분이 만들어진다.

틀린 표현은 A가 미분기라는 점이며, 올바르게는 A가 $\int S(t)dt$를 만드는 적분기여야 한다.

③ O

3번 회로는 입력 저항 R, 귀환 커패시터 C의 반전 적분기이므로 출력이 $v_o = -(1/RC)\int S(t)dt$가 된다.

이 출력을 $A_c\sin(\omega_c t)$와 곱해 더하면 $A_c\cos(\omega_c t) - K\int S(t)dt\sin(\omega_c t)$ 꼴이 되고, 이는 협대역 FM의 근사식과 일치한다.

반전 적분기라서 붙는 음의 부호도 도식의 가산 구조와 정확히 맞아떨어진다.

④ X

4번 회로는 단순 반전 증폭기로서 출력이 $v_o = -(R_2/R_1)S(t)$에 불과하다.

이 경우 직교 성분에 원신호 $S(t)$가 직접 실리므로 $\phi(t) \propto S(t)$인 협대역 PM 쪽에 가깝고, FM에 필요한 적분 관계가 없다.

틀린 표현은 이득 조정만으로 FM 블록을 만들 수 있다는 점이며, 올바르게는 FM에서는 원신호를 한 번 적분한 뒤 직교 반송파에 실어야 한다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 FM과 PM을 직교합성 블록에서 혼동하는 데 있다. $\sin(\omega_c t)$ 성분이 붙는다는 외형만 보면 ③과 ④가 모두 그럴듯해 보이지만, FM은 반드시 $S(t)$가 아니라 $\int S(t)dt$가 위상편이 항에 들어간다. 또한 연산증폭기 회로에서 입력 저항-귀환 커패시터는 적분기이고, 입력 커패시터-귀환 저항은 미분기라는 배치를 뒤바꾸기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

직교합성형 협대역 각변조 문제는 먼저 $\cos(\omega_c t + \phi(t)) \approx \cos(\omega_c t) - \phi(t)\sin(\omega_c t)$를 떠올린다. 그다음 PM이면 $\phi(t) \propto S(t)$, FM이면 $\phi(t) \propto \int S(t)dt$인지 확인한다. 마지막으로 회로가 입력 저항-귀환 커패시터 배치인지 확인해 적분기 여부를 판정하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

FM은 적분 후 직교곱이고 PM은 원신호 그대로 직교곱이다. 입력 R-귀환 C 반전 연산증폭기는 적분기이다.

NoteBase

문 3. 다음 논리식과 동일한 논리식은?

$Y = \overline{(A+B+C)} + A\overline{(B+C)} + \overline{(A+B)}C + A\overline{B}C$

① A

② B

③ $\overline{A}$

④ $\overline{B}$

정답 4번

출제 포인트

드모르간 법칙으로 각 항을 전개한 뒤 공통인수 $\overline{B}$를 묶어 원식을 간단한 논리식으로 바꾸는 문제이다.

조건 정리

주어진 식은 $Y = \overline{A+B+C} + A\overline{(B+C)} + \overline{(A+B)}C + A\overline{B}C$이다.
구해야 할 값은 이 식과 완전히 같은 논리식이다.
주의할 조건은 보수 막대가 어디까지 걸려 있는지를 정확히 읽는 점이다.

사용할 공식

드모르간 법칙은 $\overline{X+Y} = \overline{X}\,\overline{Y}$이다.
보수법칙은 $X + \overline{X} = 1$이다.
항등법칙은 $X \cdot 1 = X$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 각 항을 곱의 형태로 바꾸면 $\overline{B}$가 공통으로 드러나기 때문이다.

계산 과정

각 항을 전개하면 $\overline{A+B+C} = \overline{A}\,\overline{B}\,\overline{C}$, $A\overline{(B+C)} = A\overline{B}\,\overline{C}$, $\overline{(A+B)}C = \overline{A}\,\overline{B}C$, $A\overline{B}C = A\overline{B}C$이다.
따라서
$Y = \overline{A}\,\overline{B}\,\overline{C} + A\overline{B}\,\overline{C} + \overline{A}\,\overline{B}C + A\overline{B}C$
이다.
$\overline{B}$를 묶으면
$Y = \overline{B}(\overline{A}\,\overline{C} + A\overline{C} + \overline{A}C + AC)$
이다.
괄호 안은 $\overline{C}(\overline{A}+A) + C(\overline{A}+A) = \overline{C} + C = 1$이므로
$Y = \overline{B}$
가 된다.

NoteBase

선지별 해설

1번 A: X. $A=0, B=0, C=0$이면 원식은 1이지만 A는 0이다. 틀린 표현은 "원식이 A와 같다"는 부분이고, 올바르게는 "원식은 $\overline{B}$와 같다"이다.
2번 B: X. $A=0, B=1, C=0$이면 원식은 0이지만 B는 1이다. 틀린 표현은 "원식이 B와 같다"는 부분이고, 올바르게는 "원식은 $\overline{B}$와 같다"이다.
3번 $\overline{A}$: X. $A=1, B=0, C=0$이면 원식은 1이지만 $\overline{A}$는 0이다. 틀린 표현은 "원식이 $\overline{A}$와 같다"는 부분이고, 올바르게는 "원식은 $\overline{B}$와 같다"이다.
4번 $\overline{B}$: O. 전개 결과가 $\overline{B}(\overline{AC}+A\overline{C}+\overline{A}C+AC)=\overline{B}$로 정리되므로 원식과 동치이다.

오답 포인트

첫 두 항만 보고 $\overline{A}$나 A가 남는다고 착각하기 쉽다. 실제로는 뒤의 두 항 $\overline{AB}C$, $A\overline{BC}$가 $C=1$인 경우를 채워서 $\overline{B}$의 나머지 경우까지 모두 완성한다.

다시 나오면 이렇게 판단

논리식 간소화 문제는 보수된 합을 먼저 곱 형태로 전개한 뒤 공통 변수를 묶어 판단한다. 어떤 변수의 보수 하나만 남는지 보려면 그 변수 조건에서 가능한 나머지 경우가 모두 채워졌는지를 본다.

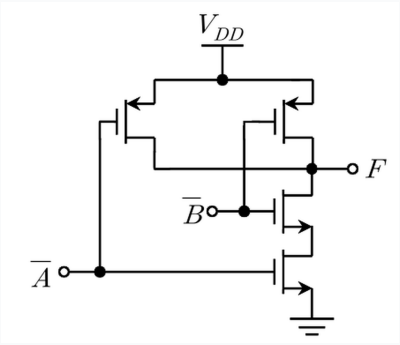
암기 포인트

$\overline{A+B+C}$, $A\overline{(B+C)}$, $\overline{(A+B)}C$, $A\overline{BC}$를 전개하면 네 항이 모두 $\overline{B}$를 공통으로 가지므로 결과는 $\overline{B}$이다.

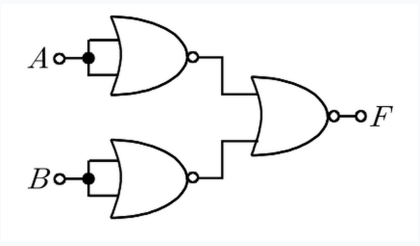
NoteBase

문 4. 다음 디지털 논리회로에서 입력이 A, B이고 출력이 F일 경우, 입출력 사이의 논리식이 다른 것은?

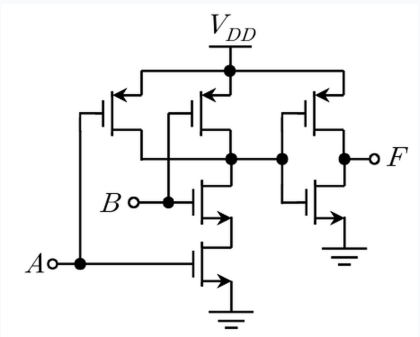
①



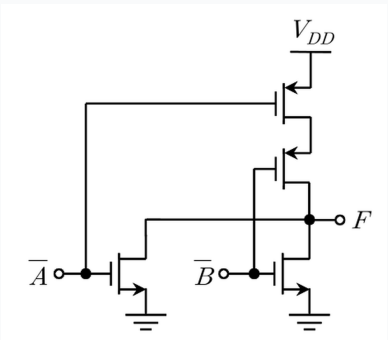
②



③



④



정답 1번

출제 포인트

각 회로를 NAND, NOR, 인버터의 조합으로 환산하고 입력의 보수 표시까지 반영하여 같은 논리식인지 비교하는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

1번: O. PMOS가 병렬이고 NMOS가 직렬이므로 기본 구조는 NAND이다. 여기에 입력이 $\bar{A}, \bar{B}$로 들어가므로 $F = \overline{\bar{A}\bar{B}} = A + B$가 된다. 따라서 2, 3, 4번과 다른 식이다.
2번: X. 앞의 두 NOR 게이트는 각각 입력을 묶은 인버터이므로 출력이 $\bar{A}, \bar{B}$가 된다. 마지막 NOR 게이트에서 $F = \overline{\bar{A} + \bar{B}} = AB$가 된다. 틀린 판단은 '다른 식이다'이고, 올바르게는 3, 4번과 같은 AB이다.
3번: X. 왼쪽 CMOS 블록은 PMOS 병렬, NMOS 직렬 구조이므로 $\overline{AB}$를 만든다. 오른쪽 인버터가 이를 한 번 더 반전하므로 최종 출력은 $F = AB$이다. 틀린 판단은 '다른 식이다'이고, 올바르게는 2, 4번과 같은 AB이다.
4번: X. PMOS가 직렬이고 NMOS가 병렬인 NOR 구조에 $\bar{A}, \bar{B}$가 입력되므로 $F = \overline{\bar{A} + \bar{B}} = AB$가 된다. 틀린 판단은 '다른 식이다'이고, 올바르게는 2, 3번과 같은 AB이다.

오답 포인트

1번과 4번은 모두 $\bar{A}, \bar{B}$가 입력되지만 구조가 다르다. 1번은 NAND형이라 드모르간을 적용하면 $A + B$가 되고, 4번은 NOR형이라 AB가 된다. 3번은 끝단 인버터를 빠뜨리면 $\overline{AB}$로 오판하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

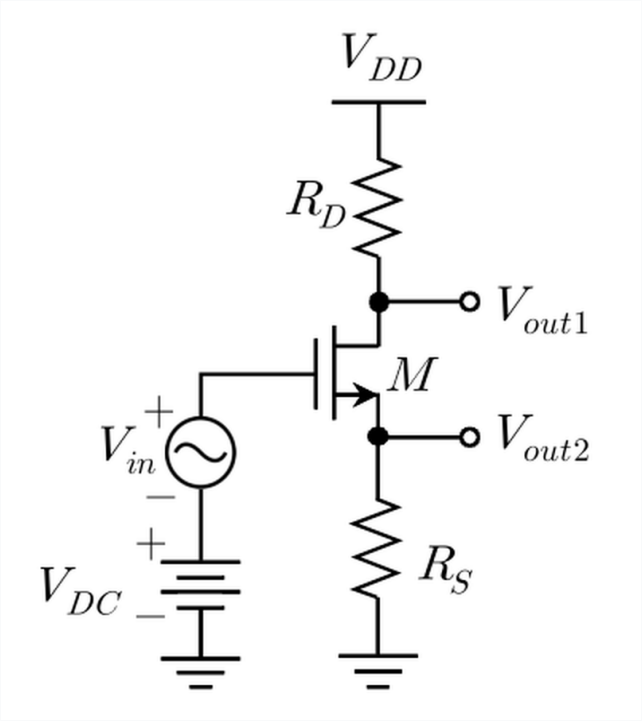
먼저 각 CMOS 블록이 NAND형인지 NOR형인지 본다. 다음으로 입력에 보수 표시가 있는지와 뒤에 인버터가 한 번 더 붙는지를 반영해 단계별로 식을 적는다. 이렇게 정리하면 2, 3, 4번은 모두 AB이고 1번만 $A + B$이다.

암기 포인트

보수 입력에 드모르간을 적용하면 $\overline{\bar{A}\bar{B}} = A + B$, $\overline{\bar{A} + \bar{B}} = AB$이다.

NoteBase

문 5. 다음 증폭회로에서 $V_{out1} = -V_{out2}$를 만족하기 위해서 옳은 것은? (단, MOSFET M은 포화 영역에서 동작하고 g_m은 MOSFET M의 전달컨덕턴스이며, 채널길이 변조(channel length modulation)와 몸체효과(body effect)는 무시한다)



① $R_S = \frac{R_D}{2}$

② $g_m R_S = 1$

③ $g_m R_D = 1$

④ $R_S = R_D$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 채널길이 변조와 몸체효과를 무시한 MOSFET의 소신호 등가회로에서 드레인 출력과 소스 출력의 전압이 서로 크기는 같고 부호는 반대가 되는 조건을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건은 MOSFET M 이 포화영역에서 동작하고, 소신호 파라미터는 g_m 만 고려한다는 점이다.
구해야 할 조건은 $V_{out1} = -V_{out2}$ 이다.
V_{out1} 는 드레인 전압, V_{out2} 는 소스 전압의 소신호 성분으로 본다.

NoteBase

사용할 공식

소신호에서 $i_d = g_m v_{gs} = g_m(v_{in} - v_s)$ 이다.
소스 저항 때문에 $v_s = i_d R_S$ 이므로
$v_s = g_m(v_{in} - v_s)R_S$
이다.
이 식을 정리하면
$v_s = \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} v_{in}$
이고, 드레인 출력은
$v_{out1} = v_d = -i_d R_D = -\frac{g_m R_D}{1 + g_m R_S} v_{in}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 이 회로가 드레인 저항이 달린 공통소스와 소스 저항에 의한 소스 팔로어 효과가 함께 나타나는 중폭회로이기 때문이다.

계산 과정

1. 소스 노드 전압을 $v_s = v_{out2}$ 라 두면 $v_s = i_d R_S = g_m(v_{in} - v_s)R_S$ 이다.
2. 이를 풀면 $v_{out2} = \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} v_{in}$ 이다.
3. 같은 전류가 드레인 저항 R_D 를 지나므로 $v_{out1} = -i_d R_D = -\frac{g_m R_D}{1 + g_m R_S} v_{in}$ 이다.
4. 조건 $v_{out1} = -v_{out2}$ 를 대입하면
$-\frac{g_m R_D}{1 + g_m R_S} v_{in} = -\frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} v_{in}$
이므로 $R_D = R_S$ 가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① X
$R_S = \frac{R_D}{2}$ 이면 두 출력의 크기가 같아지지 않는다. 조건식에서 필요한 것은 비율 2가 아니라 $R_D = R_S$ 이다. 틀린 표현은 "$R_S = R_D/2$" 이고, 올바르게는 "$R_S = R_D$" 이다.

② X
$g_m R_S = 1$ 은 소스 출력 v_{out2} 의 이득이 $\frac{1}{2} v_{in}$ 가 되는 한 가지 경우일 뿐이다. 드레인 출력도 함께 같아지려면 결국 $R_D = R_S$ 여야 한다. 틀린 표현은 "$g_m R_S = 1$ 이면 조건을 만족한다" 이고, 올바르게는 "g_m 값과 무관하게 $R_D = R_S$ 일 때 조건을 만족한다" 이다.

③ X
$g_m R_D = 1$ 역시 드레인 쪽 이득 크기 하나만 제한하는 조건일 뿐 두 출력의 크기 일치 조건이 아니다. 틀린 표현은 "$g_m R_D = 1$" 이고, 올바르게는 "$R_D = R_S$" 이다.

④ O
$v_{out1} = -\frac{g_m R_D}{1 + g_m R_S} v_{in}$, $v_{out2} = \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} v_{in}$ 이므로 $V_{out1} = -V_{out2}$ 가 되려면 분자의 저항이 같아야 한다. 따라서 $R_S = R_D$ 가 옳다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 $g_m R_S$, $g_m R_D$ 같은 무차원 곱이 보이면 곧바로 이득 1 또는 1/2 조건으로 오해하는 점이다. 그러나 이 문제는 특정 이득값을 묻는 것이 아니라 두 출력의 크기와 부호 관계를 묻기 때문에 v_{out1} 과 v_{out2} 를 각각 식으로 써서 직접 비교해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

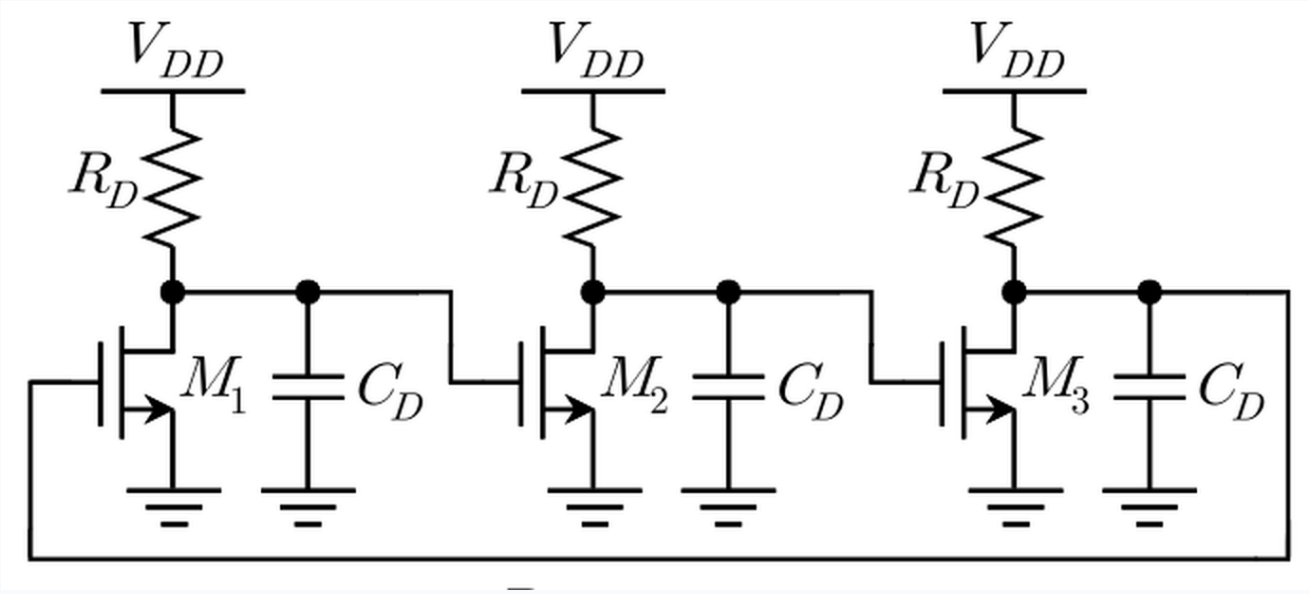
소신호 MOS 회로에서 출력이 두 군데 나오면 각 출력 노드 전압을 먼저 v_{in} 에 대한 식으로 만든 뒤 조건식을 바로 대입해 비교한다. 드레인 출력은 보통 부호가 반전되고, 소스 출력은 보통 부호가 유지된다는 점을 함께 본다.

암기 포인트

이 회로에서 $v_{out2} = \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} v_{in}$, $v_{out1} = -\frac{g_m R_D}{1 + g_m R_S} v_{in}$ 이며, 두 출력의 크기가 같으려면 결국 $R_D = R_S$ 이다.

NoteBase

문 6. 3단의 공통 소스(common-source) 증폭기로 이루어진 다음의 링 발진기(ring oscillator) 회로에서 발진이 일어나기 위한 발진 각주파수 w_o [rad/s]와 R_D의 최솟값 [Ω]은? (단, M_1, M_2, M_3는 동일한 MOSFET이고, g_m은 MOSFET M_1, M_2, M_3의 전달컨덕턴스이며, 채널길이변조(channel length modulation)와 몸체효과(body effect)는 무시한다)



① w_o: $\frac{\sqrt{3}}{R_DC_D}$, R_D: $\frac{1}{g_m}$
② w_o: $\frac{3}{R_DC_D}$, R_D: $\frac{1}{g_m}$
③ w_o: $\frac{\sqrt{3}}{R_DC_D}$, R_D: $\frac{2}{g_m}$
④ w_o: $\frac{3}{R_DC_D}$, R_D: $\frac{2}{g_m}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 3단 공통 소스 링 발진기에서 바르크하우젠 조건을 적용해 발진각주파수와 최소 저항값을 구하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

주어진 조건:
- 각 단은 동일한 공통 소스 증폭기이다.
- 부하는 R_D와 C_D가 병렬인 1차 저역통과 형태이다.
- 채널길이변조와 body effect는 무시한다.

구해야 할 값:
- 발진각주파수 ω_0
- 발진이 막 시작되는 최소 R_D

사용할 공식

한 단의 전달함수는 $A(j\omega) = -g_m\left(R_D \parallel \frac{1}{j\omega C_D}\right) = \frac{-g_m R_D}{1 + j\omega R_D C_D}$이다.
위상조건은 $3(180^\circ - \tan^{-1}(\omega R_D C_D)) = 360^\circ$이고, 이득조건은 $|A(j\omega_0)|^3 = 1$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 3단 링 발진기에서는 각 단의 위상지연과 이득의 곱이 동시에 발진조건을 만족해야 하기 때문이다.

계산 과정

1. 한 단의 위상은 $180^\circ - \tan^{-1}(\omega R_D C_D)$이다.
2. 전체 위상이 360°가 되어야 하므로 $3(180^\circ - \tan^{-1}(\omega_0 R_D C_D)) = 360^\circ$이다.
3. 따라서 $\tan^{-1}(\omega_0 R_D C_D) = 60^\circ$이고, $\omega_0 R_D C_D = \sqrt{3}$이므로 $\omega_0 = \frac{\sqrt{3}}{R_D C_D}$이다.
4. 이 주파수에서 한 단의 크기는 $|A(j\omega_0)| = \frac{g_m R_D}{\sqrt{1 + (\omega_0 R_D C_D)^2}} = \frac{g_m R_D}{2}$이다.
5. 발진이 막 시작되는 최소 조건은 $\left(\frac{g_m R_D}{2}\right)^3 = 1$이므로 $g_m R_D = 2$이다.
6. 따라서 최소 저항은 $R_D = \frac{2}{g_m}$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- $\omega_0 = \frac{\sqrt{3}}{R_D C_D}$는 맞지만 최소 R_D가 틀리다.
- 틀린 표현은 $R_D = \frac{1}{g_m}$이고, 올바르게는 $R_D = \frac{2}{g_m}$이다.

② X
- 위상조건에서 $\omega_0 R_D C_D = \sqrt{3}$가 나와야 하므로 $\omega_0 = \frac{3}{R_D C_D}$는 틀리다.
- 또한 이득조건으로 최소 R_D는 $\frac{2}{g_m}$이어야 하므로 $\frac{1}{g_m}$도 틀리다.
- 틀린 표현은 $\omega_0 = \frac{3}{R_D C_D}$, $R_D = \frac{1}{g_m}$이고, 올바르게는 $\omega_0 = \frac{\sqrt{3}}{R_D C_D}$, $R_D = \frac{2}{g_m}$이다.

③ O
- 위상조건으로 $\omega_0 = \frac{\sqrt{3}}{R_D C_D}$가 나오고, 이득조건으로 최소 $R_D = \frac{2}{g_m}$가 나온다.
- 따라서 두 값이 모두 맞는 선지는 ③이다.

④ X
- 최소 $R_D = \frac{2}{g_m}$는 맞지만 발진각주파수가 틀리다.
- 틀린 표현은 $\omega_0 = \frac{3}{R_D C_D}$이고, 올바르게는 $\omega_0 = \frac{\sqrt{3}}{R_D C_D}$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 위상조건과 이득조건을 한 번에 섞어 보는 데 있다. 3은 3단이라는 개수일 뿐 $\omega_0 R_D C_D$의 값이 아니며, $\tan^{-1}(x) = 60^\circ$에서 $x = \sqrt{3}$이 나온다는 점을 놓치면 ②와 ④로 흔들리기 쉽다. 또 발진 시작 조건에서 한 단의 크기가 $g_m R_D$가 아니라 $\frac{g_m R_D}{2}$라는 점을 빼먹으면 $R_D = \frac{1}{g_m}$로 잘못 간다.

다시 나오면 이렇게 판단

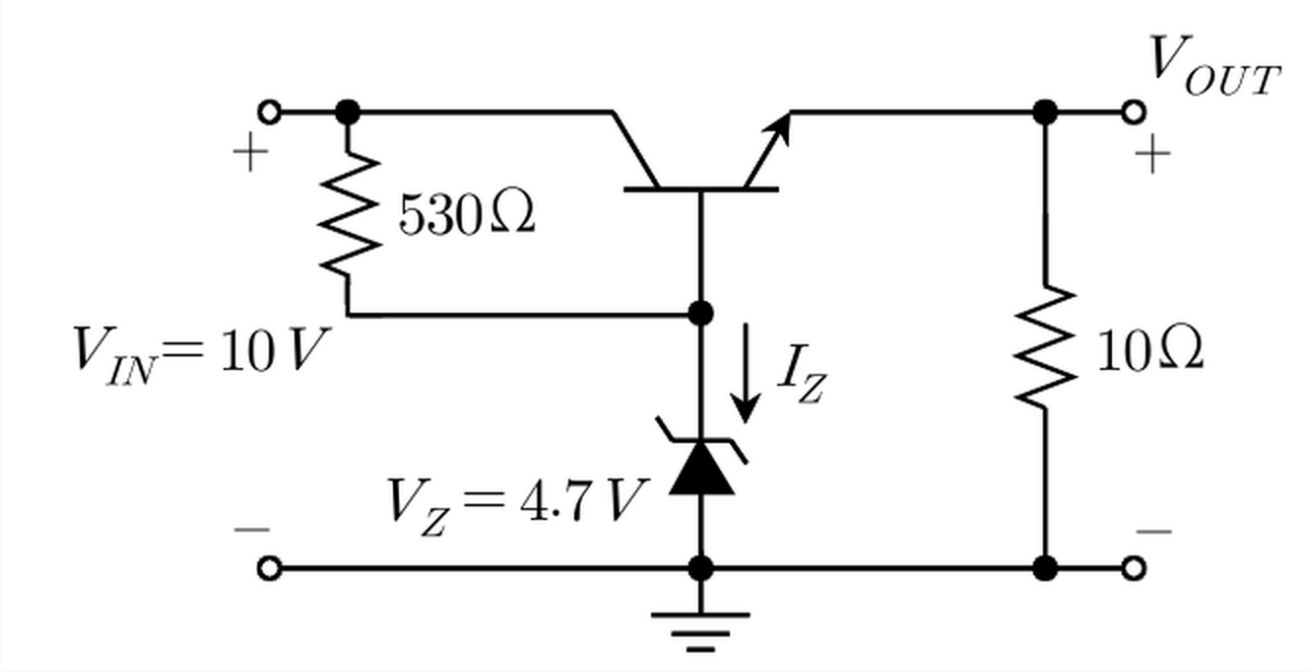
3단 링 발진기는 먼저 한 단 전달함수를 잡고, 위상조건으로 ω_0를 구한 다음, 그 주파수에서의 한 단 크기를 넣어 이득조건으로 최소 저항을 구하면 된다. 순서는 위상조건 먼저, 이득조건 나중이다.

암기 포인트

3단 1차 링 발진기는 $\omega_0 R_D C_D = \sqrt{3}$, 발진 시작 조건은 $g_m R_D = 2$이다.

NoteBase

문 7. 다음 회로에서 BJT의 전류이득(β)이 99일 때, 출력전압 V_{OUT}[V]과 제너전류 I_Z[mA]는? (단, BJT의 $V_{BE} = 0.7[V]$이고 제너 다이오드의 제너전압 $V_Z = 4.7[V]$이다)



① V_{OUT}: 4, I_Z: 4

② V_{OUT}: 4, I_Z: 6

③ V_{OUT}: 5.4, I_Z: 4

④ V_{OUT}: 5.4, I_Z: 6

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 제너 다이오드로 베이스 전압을 고정한 에미터 팔로어 회로에서 V_{OUT}과 I_Z를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $V_{IN} = 10V$, 제너전압 $V_Z = 4.7V$, $V_{BE} = 0.7V$, $\beta = 99$, 바이어스 저항 530Ω, 부하 저항 10Ω 이다.
구해야 할 값은 출력전압 V_{OUT}과 제너전류 I_Z이다.
트랜지스터는 컬렉터가 입력에, 이미터가 출력에 연결된 직렬 레귤레이터 구조이므로 이미터 전압은 베이스 전압보다 0.7V 낮다.

NoteBase

사용할 공식

사용할 관계식은 $V_{OUT} = V_B - V_{BE}$, $I_L = V_{OUT}/R_L$, $I_B = I_E/(\beta + 1)$, $I_R = (V_{IN} - V_Z)/530$, $I_Z = I_R - I_B$이다. 이 공식을 쓰는 이유는 제너 다이오드가 베이스 전압을 $4.7V$로 고정하고, 출력단은 에미터 팔로어이므로 부하전류와 베이스전류를 차례로 구하면 제너전류를 바로 계산할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 베이스 전압은 제너 다이오드에 의해 $V_B = 4.7V$이다.
2. 따라서 출력전압은 $V_{OUT} = 4.7 - 0.7 = 4.0V$이다.
3. 부하전류는 $I_L = V_{OUT}/10 = 4.0/10 = 0.4A = 400mA$이다.
4. 에미터전류를 $I_E \approx 400mA$로 보면 $I_B = I_E/(\beta + 1) = 400/100 = 4mA$이다.
5. 530Ω 저항 전류는 $I_R = (10 - 4.7)/530 = 5.3/530 = 0.01A = 10mA$이다.
6. 따라서 제너전류는 $I_Z = I_R - I_B = 10 - 4 = 6mA$이다.

선지별 해설

① X: $V_{OUT} = 4V$는 맞지만 I_Z는 $4mA$가 아니라 $6mA$이다. 틀린 표현은 '제너전류가 $4mA$이다'이고, 올바르게는 '베이스전류가 $4mA$, 제너전류가 $6mA$이다'이다.
② O: $V_{OUT} = 4.0V$, $I_Z = 6mA$로 계산되므로 맞는 선지이다.
③ X: 틀린 표현은 '출력전압이 $5.4V$이다'이다. 올바르게는 '출력전압은 베이스 전압보다 $0.7V$ 낮은 $4.0V$이다'이다. $5.4V$는 V_Z와 V_{BE}의 부호 관계를 반대로 잡은 값이다. 제너전류 $4mA$도 틀리고 올바른 값은 $6mA$이다.
④ X: 틀린 표현은 '출력전압이 $5.4V$이다'이다. 올바르게는 '출력전압은 $4.0V$이다'이다. 제너전류 $6mA$는 맞지만 출력전압이 틀리므로 오답이다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 제너전압을 곧바로 출력전압으로 보거나, 에미터 팔로어에서 $V_{OUT} = V_B - 0.7V$ 관계를 $V_B + 0.7V$로 뒤집는 실수이다. 또 530Ω 저항 전류 $10mA$ 전체가 제너전류라고 착각하고 베이스전류 $4mA$를 빼지 않으면 ①로 흐르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

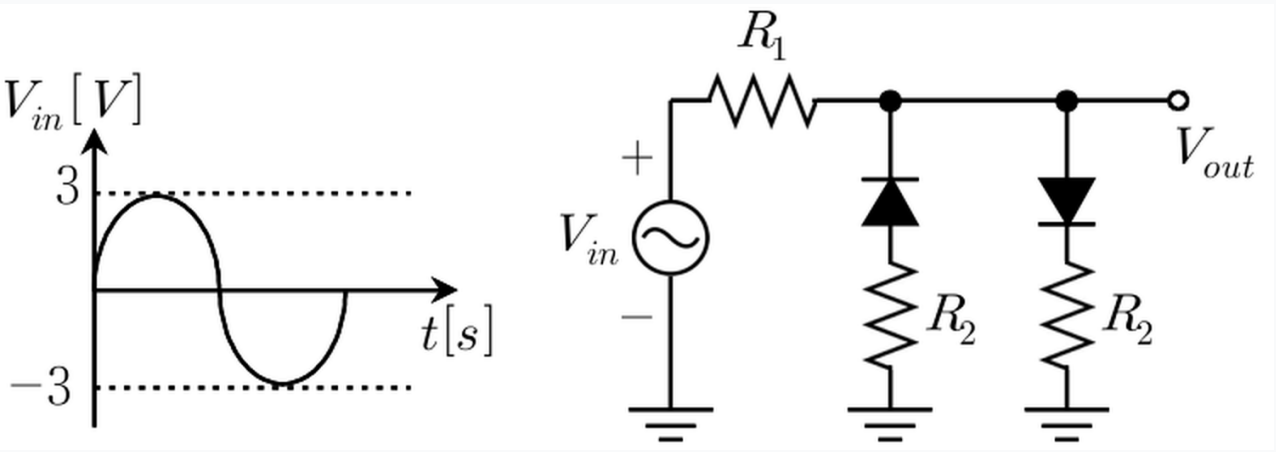
제너와 BJT가 함께 나온 계산형 회로는 먼저 제너가 고정하는 베이스 전압을 잡고, 다음에 $V_{OUT} = V_B - V_{BE}$로 출력전압을 구한 뒤, 부하전류와 베이스전류를 계산하여 마지막에 저항 전류에서 빼는 순서로 판단한다.

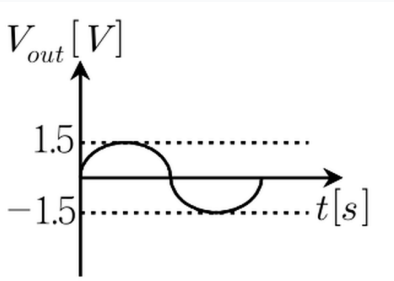
암기 포인트

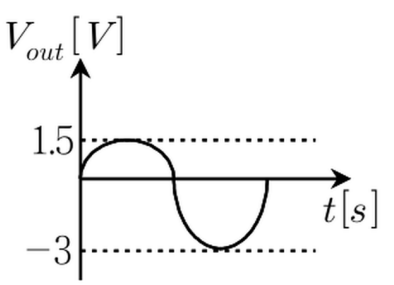
제너 기준 직렬 레귤레이터는 '베이스는 V_Z, 출력은 $V_Z - 0.7V$, 제너전류는 바이어스 저항 전류에서 베이스전류를 뺀 값'으로 정리된다.

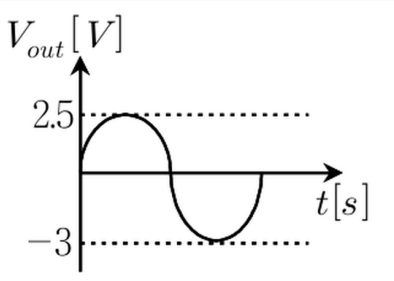
NoteBase

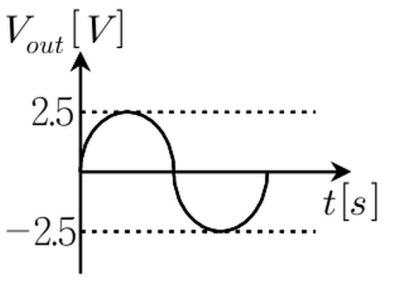
문 8. 다음 회로에서 정현파인 입력파형(V_{in})이 가해진 경우, 정상상태에서 출력파형(V_{out})은? (단, 각 다이오드 양단의 순방향 전압은 $1[V]$, $R_1 = 1[k\Omega]$, $R_2 = 3[k\Omega]$이다)



① 

② 

③ 

④ 

NoteBase

정답 4번

출제 포인트

다이오드의 도통 방향을 반주기별로 나누어 보고, 도통 시에는 R_1-R_2 분압과 다이오드 순방향 전압 $1V$를 함께 반영해 V_{out}의 피크값을 구하는 문제이다.

조건 정리

- 입력은 피크값이 $\pm 3V$인 정현파이다.
- $R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 3k\Omega$이다.
- 각 다이오드의 순방향 전압강하는 $1V$이다.
- 회로도에서 두 다이오드는 방향이 서로 반대이다. 왼쪽 다이오드는 애노드가 아래(R_2·접지 쪽), 캐소드가 위(출력 노드 쪽)이고, 오른쪽 다이오드는 애노드가 위(출력 노드 쪽), 캐소드가 아래(R_2 쪽)이다.
- 출력 V_{out}은 R_1 다음 노드, 즉 두 다이오드 분기가 만나는 지점에서 취한다.
- 따라서 양의 반주기에는 노드 전위가 높아져 오른쪽 다이오드가 순방향(도통), 왼쪽 다이오드는 역방향(차단)이 되고, 음의 반주기에는 노드 전위가 낮아져 반대로 왼쪽 다이오드가 도통하고 오른쪽 다이오드가 차단된다.
도통한 분기의 반대쪽 다이오드는 역바이어스되어 그 분기로는 전류가 흐르지 않는다.

사용할 공식

두 다이오드가 모두 꺼져 있으면(입력이 작을 때) 출력이 개방이므로 전류가 거의 흐르지 않아 $V_{out} = V_{in}$이다.
한쪽 다이오드가 켜지면 도통한 분기 하나에만 전류가 흐르므로 R_1과 그 분기의 R_2에 같은 전류가 흐른다. 이때 노드에서 KCL(들어오는 전류=나가는 전류)을 세우면 된다.
양의 반주기에는 오른쪽 다이오드가 도통하여

$$\frac{V_{in} - V_{out}}{R_1} = \frac{V_{out} - 1}{R_2}$$

가 된다. 여기서 $V_{out} - 1$은 다이오드의 순방향 강하 $1V$를 뺀 뒤 R_2에 걸리는 전압이다.
음의 반주기에는 왼쪽 다이오드가 도통하는데, 이때 R_2 위쪽 노드가 $V_{out} + 1$이 되므로

$$\frac{V_{in} - V_{out}}{R_1} = \frac{V_{out} + 1}{R_2}$$

로 부호만 바뀐 대칭식이 된다.
이 식을 쓰는 이유는 도통 순간 회로가 '입력원-R_1-다이오드-R_2-접지'의 직렬 경로로 바뀌고, 반대쪽 분기의 다이오드는 역바이어스되어 전류가 흐르지 않기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 양의 반주기에서 오른쪽 다이오드가 도통하면
$\frac{V_{in}-V_{out}}{1k\Omega}=\frac{V_{out}-1}{3k\Omega}$
이므로 $3V_{in}-3V_{out}=V_{out}-1$, 따라서 $V_{out}=\frac{3}{4}V_{in}+\frac{1}{4}$이다.
2. $V_{in}=3V$일 때 $V_{out}=\frac{3}{4}\cdot 3+\frac{1}{4}=2.5V$이다.
3. 음의 반주기에서 왼쪽 다이오드가 도통하면
$\frac{V_{in}-V_{out}}{1k\Omega}=\frac{V_{out}+1}{3k\Omega}$
이므로 $3V_{in}-3V_{out}=V_{out}+1$, 따라서 $V_{out}=\frac{3}{4}V_{in}-\frac{1}{4}$가 된다. $V_{in}=-3V$일 때
$V_{out}=\frac{3}{4}\cdot(-3)-\frac{1}{4}=-2.5V$이다.
4. 따라서 출력은 양의 피크가 $+2.5V$, 음의 피크가 $-2.5V$인 파형이다.

선지별 해설

① X
- 잘못된 부분은 양의 피크와 음의 피크를 모두 $\pm 1.5V$로 본 점이다.
- 올바르게는 두 반주기 모두 각 다이오드가 도통하면서 분압이 걸려 피크가 $\pm 2.5V$가 된다.

② X
- 잘못된 부분은 양의 반주기만 과도하게 줄어들고 음의 반주기는 그대로 $-3V$까지 내려간다고 본 점이다.
- 올바르게는 음의 반주기에도 왼쪽 다이오드가 도통하므로 음의 피크도 $-2.5V$까지만 나타난다.

③ X
- 잘못된 부분은 양의 피크 $+2.5V$는 맞게 보았지만 음의 피크를 $-3V$로 남겨 둔 점이다.
- 올바르게는 왼쪽 다이오드도 음의 반주기에서 동작하므로 음의 피크 역시 $-2.5V$로 제한된다.

④ O
- 양의 반주기에는 오른쪽 다이오드, 음의 반주기에는 왼쪽 다이오드가 각각 도통한다.
- 그 결과 출력은 정현파 모양을 유지하면서 피크만 $+2.5V$, $-2.5V$로 줄어든다.

오답 포인트

한쪽 다이오드만 동작한다고 보면 ②나 ③처럼 판단하게 된다. 또 다이오드 전압강하 $1V$만 빼거나 단순 분압만 적용하면 $\pm 2.5V$를 놓치게 된다. 이 문제의 함정은 '도통 방향 확인'과 '분압 + 다이오드 강하 동시 반영'을 분리해서 생각하는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

클리퍼 회로 파형 문제는 먼저 입력 극성별로 어느 다이오드가 켜지는지 정한다. 그다음 켜진 반주기마다 등가회로를 다시 그려 R_1, 다이오드 전압강하, R_2를 포함한 식을 세운 뒤 피크값을 계산하면 된다.

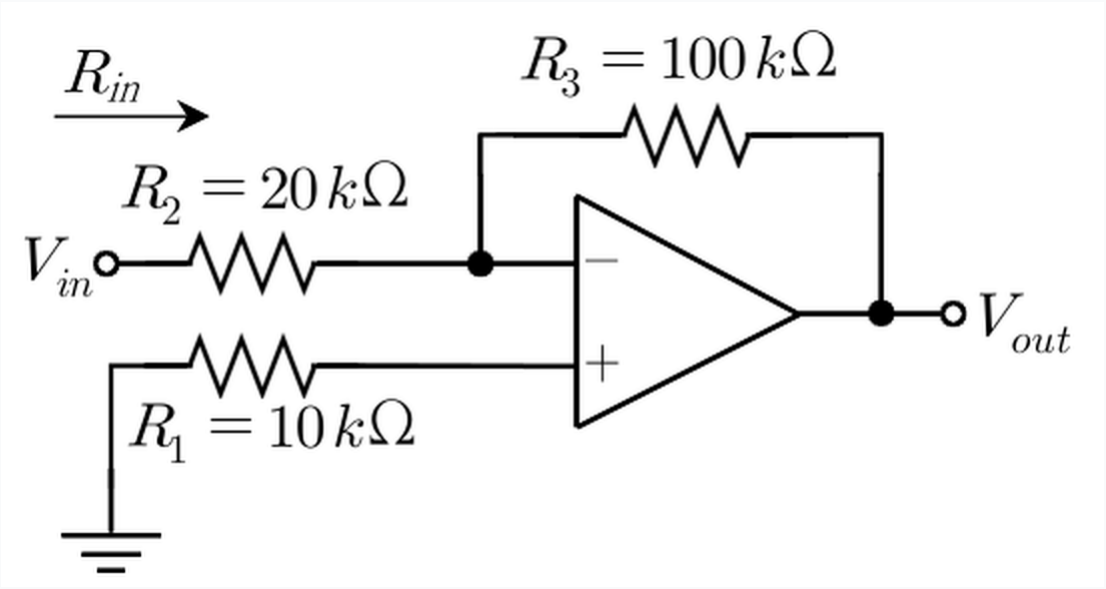
NoteBase

암기 포인트

대칭 다이오드 클리퍼는 양반주기와 음반주기를 따로 본다. 이 문항에서는 $V_{out,\,peak} = \pm 2.5V$이므로 ④가 된다.

NoteBase

문 9. 다음 회로에서 전압이득 $\left(\frac{V_{out}}{V_{in}}\right)$과 입력저항 $R_{in}[k\Omega]$은? (단, 연산증폭기는 이상적이다)



① $\frac{V_{out}}{V_{in}}$: -5, R_{in}: 20
② $\frac{V_{out}}{V_{in}}$: -5, R_{in}: 30
③ $\frac{V_{out}}{V_{in}}$: 5, R_{in}: 20
④ $\frac{V_{out}}{V_{in}}$: 5, R_{in}: 30

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 이상적인 연산증폭기에서 가상접지와 반전증폭기 공식을 이용해 전압이득과 입력저항을 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값: $R_1 = 10k\Omega$, $R_2 = 20k\Omega$, $R_3 = 100k\Omega$이다.
구해야 할 값: V_{out}/V_{in}과 R_{in}이다.
주의할 조건: 연산증폭기는 이상적이므로 입력전류가 0이고, 음귀환이 걸리면 $V_- = V_+ = 0$인 가상접지가 성립한다.

사용할 공식

전압이득은 $A_v = V_{out}/V_{in} = -R_3/R_2$이다. 입력저항은 $R_{in} = V_{in}/I_{in}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: +단자가 접지되어 있고 R_3가 출력에서 −단자로 되먹임되므로 회로 전체가 반전증폭기 구조이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 이상적 연산증폭기이므로 +단자 입력전류가 0이어서 R_1에는 전류가 흐르지 않고 $V_+ = 0$이다.
2. 음귀환에 의해 $V_- = V_+ = 0$이므로 입력전류는 $I_{in} = V_{in}/R_2 = V_{in}/20k\Omega$이다.
3. 따라서 입력저항은 $R_{in} = V_{in}/I_{in} = 20k\Omega$이다.
4. 반전증폭기 전압이득은 $A_v = -R_3/R_2 = -100k\Omega/20k\Omega = -5$이다.

선지 판단

1번: O. 계산 결과 전압이득은 -5, 입력저항은 $20k\Omega$이므로 맞다.
2번: X. 전압이득 -5는 맞지만 입력저항 $30k\Omega$는 틀리다. 이는 R_1과 R_2를 단순 합산한 값인데, R_1은 +단자 쪽 접지저항일 뿐 입력단에서 직렬로 보이지 않는다. 올바르게는 $R_{in} = 20k\Omega$이다.
3번: X. 입력저항 $20k\Omega$는 맞지만 전압이득 5는 틀리다. 이 회로는 반전증폭기이므로 출력은 입력과 위상이 반대여서 부호가 음수이다. 올바르게는 전압이득이 -5이다.
4번: X. 전압이득과 입력저항이 모두 틀리다. 5는 반전부호를 놓친 값이고, $30k\Omega$는 R_1까지 더한 오답이다. 올바르게는 전압이득이 -5, 입력저항이 $20k\Omega$이다.

오답 포인트

R_1이 보인다는 이유로 $R_1 + R_2$를 입력저항으로 착각하기 쉽다. 그러나 이상적 연산증폭기 입력전류는 0이므로 +단자 쪽 R_1은 입력전류 경로를 만들지 않는다. 또한 반전증폭기라는 사실을 놓치면 전압이득 부호를 양수로 잘못 적게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

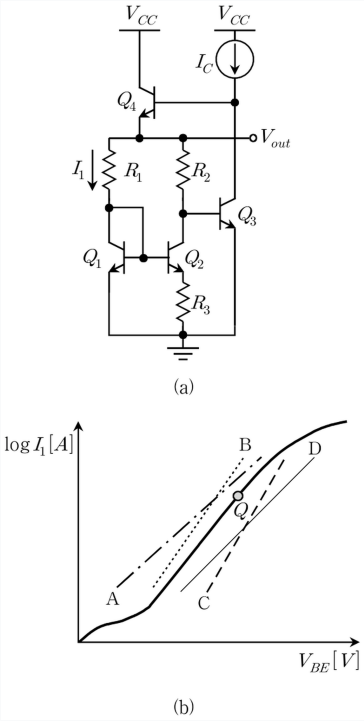
이상적 연산증폭기 회로는 먼저 +단자 기준전압을 잡고, 음귀환이 있으면 가상접지 여부를 확인한 뒤, 입력전류가 실제로 흐르는 저항만으로 R_{in}을 구하고 마지막에 반전인지 비반전인지에 따라 전압이득 부호를 정한다.

암기 포인트

이상적인 반전증폭기는 $A_v = -R_f/R_{in}$이고, 입력저항은 입력단에 직접 연결된 저항값으로 정해진다.

NoteBase

문 10. 다음 그림 (a)의 밴드갭 레퍼런스 회로에서 BJT Q_1의 전류-전압 곡선은 그림 (b)에 굵은 실선으로 그려져 있으며, 이 Q_1은 점 Q에 바이어스 되어 있다. 회로의 온도가 변화하면 Q_1의 일정한 지수 기울기를 갖는 전류-전압 곡선의 구간이 이동한다. 회로의 온도가 상승할 때, Q_1의 일정한 지수 기울기를 갖는 구간에서의 전류-전압 곡선으로 옳은 것은?



① A

② B

③ C

④ D

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 반로그 $\log I_1$-V_{BE} 특성에서 온도 상승 시 I_S 증가와 V_T 증가 때문에 직선 구간이 어느 방향으로 이동하고 기울기가 어떻게 변하는지를 묻는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: BJT의 전류는 $I_C = I_S e^{V_{BE}/V_T}$로 주어지고, 온도가 오르면 I_S가 크게 증가하여 같은 V_{BE}에서 전류가 커진다. 또 같은 전류를 만들기 위한 V_{BE}는 작아지므로 직선 구간은 좌측으로 이동한다. 동시에 V_T가 커져 $\log I$-V_{BE} 직선의 기울기 $1/(V_T \ln 10)$는 감소하므로 원래 곡선보다 완만한 A가 맞다.
② X: B는 좌측 이동은 반영하지만 기울기가 더 가파르다. 온도 상승 시에는 V_T 증가 때문에 기울기가 작아져야 하므로 B 방향이 아니라 좌측으로 이동하면서 더 완만해지는 A 방향이 옳다.
③ X: C는 우측 이동을 뜻한다. 그러나 온도가 오르면 같은 전류에서 필요한 V_{BE}가 감소하므로 우측 이동이 아니라 좌측 이동이 맞다. C가 아니라 A이다.
④ X: D는 우측으로 이동하면서 완만해진 경우에 가깝다. 기울기 감소만 반영하고 V_{BE}의 음의 온도계수를 반영하지 못하므로 D가 아니라 A이다.

오답 포인트

온도 상승 효과를 한 가지만 기억하면 오답이 된다. V_{BE} 감소만 보면 좌측 이동은 잡을 수 있지만, $V_T = kT/q$ 증가까지 보아야 반로그 직선의 기울기가 완만해진다는 점을 함께 판단할 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

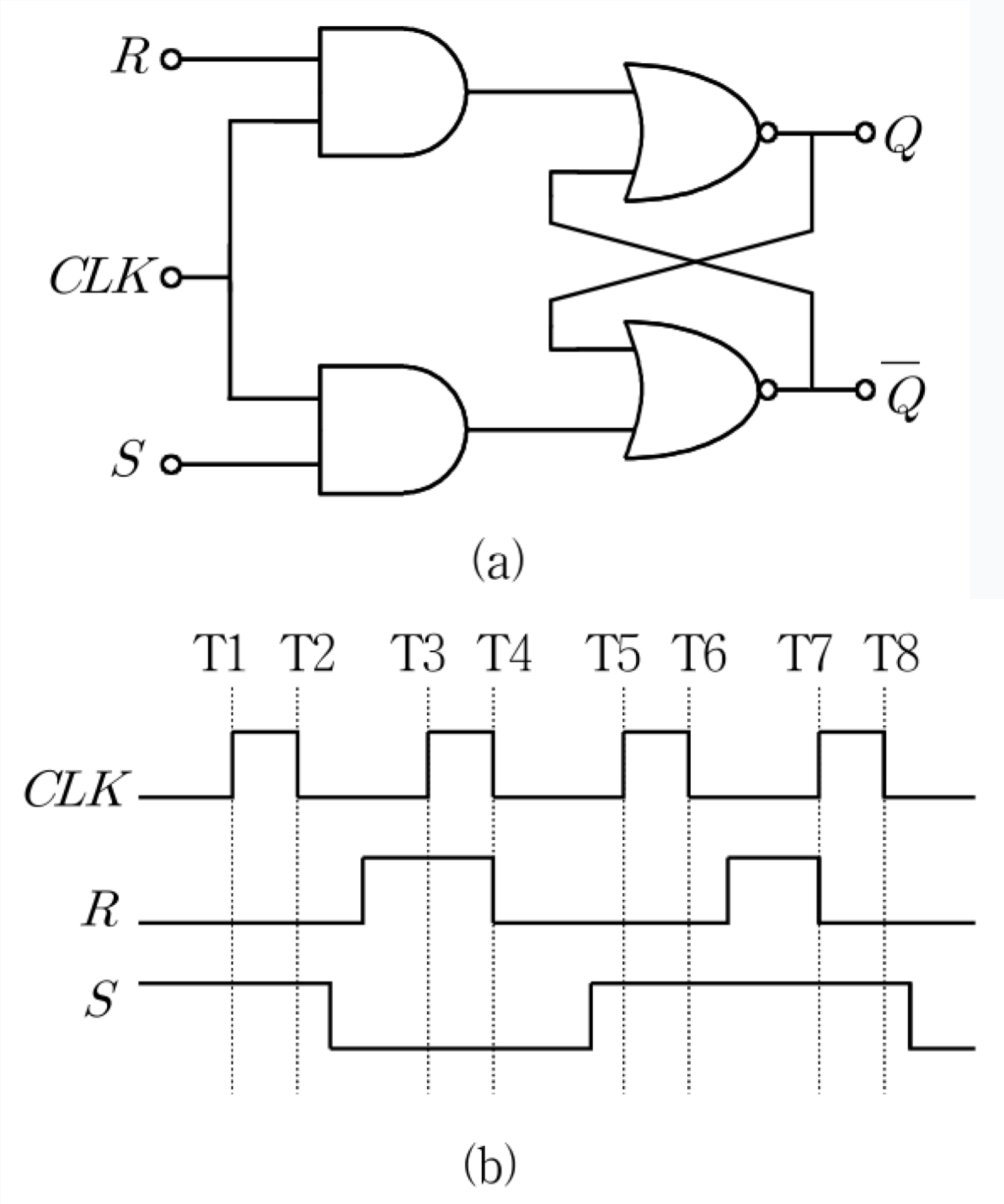
반로그 BJT 특성은 먼저 $I_C = I_S e^{V_{BE}/V_T}$를 떠올리면 된다. 온도 상승이면 I_S ↑로 곡선이 좌측·상측으로 가고, V_T ↑로 기울기는 감소하므로 최종적으로 좌측으로 이동하면서 더 완만한 선을 고르면 된다.

암기 포인트

온도 상승 시 BJT의 반로그 직선은 V_{BE} ↓, I_S ↑, 기울기 감소가 함께 나타나므로 좌측으로 가면서 완만해진다.

NoteBase

문 11. 다음 그림 (a)의 회로에서 Q 값은 초기에 '0'인 논리 값에서 시작한다. 그림 (b)와 같이 클럭 CLK와 두 개의 입력 R 및 S가 주어질 때, 구간 T3 - T4와 구간 T6 - T7에서 Q의 논리 값은? (단, 각 논리 게이트에서 지연은 없다)



① T3 - T4 구간: 0, T6 - T7 구간: 0

② T3 - T4 구간: 0, T6 - T7 구간: 1

NoteBase

③ T3 - T4 구간: 1, T6 - T7 구간: 0

④ T3 - T4 구간: 1, T6 - T7 구간: 1

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 CLK가 1일 때만 게이티드 SR 래치가 입력 R, S를 반영하고, CLK가 0일 때는 직전 상태를 유지한다는 점을 회로도와 파형에서 읽는 문제이다.

핵심 정리

오른쪽은 NOR형 SR 래치이고 왼쪽의 두 AND 게이트가 CLK로 입력을 게이팅한다. 따라서 $CLK = 1$이면 R, S가 래치에 그대로 들어가고, $CLK = 0$이면 두 AND 출력이 모두 0이 되어 래치는 직전 값을 유지한다.
초기 $Q = 0$이다. $T3 - T4$에서는 $CLK = 1, R = 1, S = 0$이므로 reset 상태가 되어 $Q = 0$이다. $T5 - T6$에서는 $CLK = 1, R = 0, S = 1$이므로 set되어 $Q = 1$이 되고, $T6 - T7$에서는 $CLK = 0$이므로 그 값 1을 그대로 유지한다.

선지별 해설

① X
$T3 - T4$의 $Q = 0$은 맞지만 $T6 - T7$의 $Q = 0$은 틀리다. $T5 - T6$에서 set된 $Q = 1$이 $T6 - T7$에서 유지된다.
틀린 표현은 'T6-T7 구간 $Q = 0$'이다. 올바르게는 'T6-T7 구간 $Q = 1$'이다.

② O
$T3 - T4$에서는 $CLK = 1, R = 1, S = 0$이므로 reset되어 $Q = 0$이다. $T5 - T6$에서 $S = 1, R = 0$으로 set된 뒤 $T6 - T7$에서는 $CLK = 0$이라 직전 값 $Q = 1$을 유지하므로 옳다.

③ X
두 구간 값이 모두 틀리다. $T3 - T4$에서 Q는 1이 아니라 reset된 0이고, $T6 - T7$에서 Q는 0이 아니라 직전 set 상태인 1이다.
틀린 표현은 'T3-T4 구간 $Q = 1$'과 'T6-T7 구간 $Q = 0$'이다. 올바르게는 'T3-T4 구간 $Q = 0$, T6-T7 구간 $Q = 1$'이다.

④ X
$T6 - T7$의 $Q = 1$은 맞지만 $T3 - T4$의 $Q = 1$이 틀리다. $T3 - T4$는 $R = 1, S = 0, CLK = 1$인 reset 구간이므로 $Q = 0$이어야 한다.
틀린 표현은 'T3-T4 구간 $Q = 1$'이다. 올바르게는 'T3-T4 구간 $Q = 0$'이다.

NoteBase

오답 포인트

가장 흔한 오답은 $T6 - T7$에서 $CLK = 0$이라는 사실을 놓치고 R, S 파형만 보고 새로 값을 정하려는 경우이다. 이 회로는 $CLK = 0$이면 두 AND 출력이 모두 0이므로 새로운 set/reset이 일어나지 않고 직전 래치 상태만 유지된다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 오른쪽이 NOR형 SR 래치인지 확인하고, 각 시간 구간에서 CLK가 1인지 0인지부터 구분한다. $CLK = 1$이면 S, R로 set/reset을 판단하고, $CLK = 0$이면 직전 Q를 그대로 유지하면 된다.

암기 포인트

게이티드 SR 래치는 $CLK = 1$에서만 입력 반영, $CLK = 0$에서는 직전 Q 유지이다.

NoteBase

문 12. N형 MOSFET에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 게이트 산화막 두께가 얇아질수록 트랜지스터의 전류는 증가한다.

② 드레인-소스 전압에 따라 전류의 크기가 변하는 현상을 몸체효과(body effect)라고 한다.

③ 채널 길이가 짧아짐에 따라 채널길이변조(channel length modulation) 현상은 줄어든다.

④ 게이트-소스 전압이 문턱 전압보다 크고 게이트-드레인 전압이 문턱 전압보다 작을 때 트랜지스터는 선형(linear) 영역에서 동작한다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 N형 MOSFET의 게이트 산화막, 몸체효과, 채널길이변조, 선형영역과 포화영역의 조건을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

게이트 산화막이 얇아지면 산화막 커패시턴스 C_{ox}가 커져 같은 V_{GS}에서 채널 전하가 늘고 전류도 증가한다.
몸체효과는 드레인 전압이 아니라 소스-바디 전압 변화 때문에 문턱전압이 달라지는 현상이다.
채널길이변조는 포화영역에서 V_{DS}가 증가할수록 유효 채널 길이가 줄어 전류가 더 증가하는 현상이며, 짧은 채널일수록 보통 더 두드러진다.
N형 MOSFET은 $V_{GS} > V_T$이고 $V_{DS} < V_{GS} - V_T$이면 선형영역, $V_{DS} \geq V_{GS} - V_T$이면 포화영역이다. 이는 $V_{GD} < V_T$이면 포화영역이라는 말과 같다.

선지별 해설

① O: 게이트 산화막 두께 t_{ox}가 얇아지면 $C_{ox} = \varepsilon_{ox}/t_{ox}$가 커진다. 그러면 같은 게이트 전압에서 채널 전하가 더 많이 유도되어 드레인 전류가 증가한다.
② X: 틀린 부분은 "드레인-소스 전압에 따라 전류의 크기가 변하는 현상"을 몸체효과라고 한 표현이다. 이는 채널길이변조에 해당한다. 몸체효과는 소스-바디 전압 변화로 문턱전압이 변하는 현상이다.
③ X: 틀린 부분은 "채널 길이가 짧아짐에 따라 채널길이변조 현상은 줄어든다"는 표현이다. 실제로는 채널이 짧을수록 드레인 전계 영향이 커져 채널길이변조가 더 커지는 경향이 있다.
④ X: 틀린 부분은 "게이트-소스 전압이 문턱 전압보다 크고 게이트-드레인 전압이 문턱 전압보다 작을 때 선형영역"이라는 표현이다. $V_{GD} < V_T$이면 드레인 쪽 채널이 pinch-off 되어 포화영역이다. 선형영역이 되려면 $V_{DS} < V_{GS} - V_T$이어야 한다.

NoteBase

오답 포인트

②는 드레인 전압 변화에 따른 전류 증가를 몸체효과와 혼동하게 만든 선지이다. ③은 채널이 짧아지면 모든 기생 효과가 줄어든다고 오해하면 틀리기 쉽다. ④는 선형영역 조건 $V_{DS} < V_{GS} - V_T$와 포화영역 조건 $V_{GD} < V_T$를 서로 뒤바꾸는 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

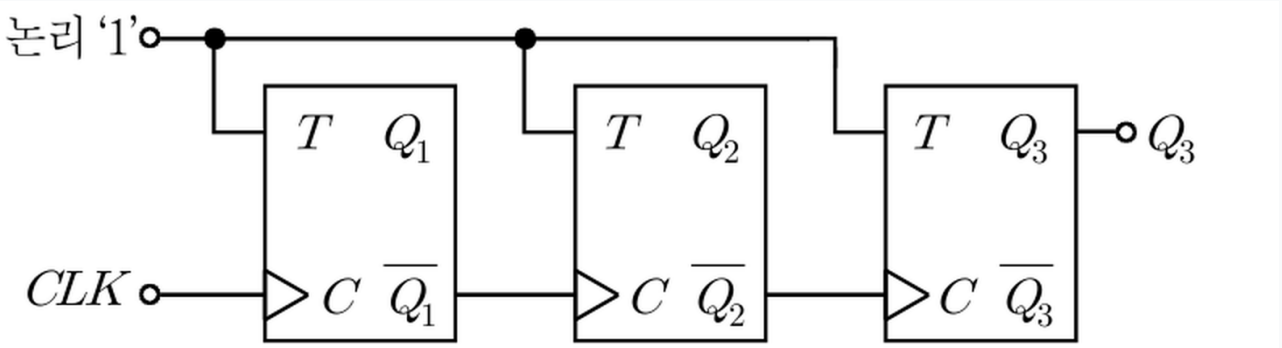
MOSFET 선지는 먼저 무엇이 변하는지를 본다. 산화막 두께가 변하면 C_{ox}, 바디 전압이 변하면 몸체효과, V_{DS} 증가에 따른 포화영역 전류 변화는 채널길이변조로 판단한다. 영역 판정은 V_{DS}와 $V_{GS} - V_T$를 비교하면 된다.

암기 포인트

얇은 산화막은 전류 증가, 바디효과는 문턱전압 변화, $V_{GD} < V_T$는 포화영역이다.

NoteBase

문 13. 다음 3단 T 플립플롭으로 이루어진 논리 회로에서 입력 클럭 CLK의 주파수가 800 [MHz]일 때, 출력 신호 Q_3의 주파수[MHz]는?



① 6,400

② 800

③ 400

④ 100

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 3단 T 플립플롭 회로에서 각 단의 T 입력이 논리 1일 때 출력이 단계마다 2분주된다는 점을 이용해 최종 출력 Q_3의 주파수를 구할 수 있는지를 묻는다.

핵심 정리

T 플립플롭은 T가 논리 1이면 유효 클럭 에지마다 출력이 반전된다. 따라서 한 단을 지날 때마다 출력 주파수는 입력의 절반이 된다. 입력 클럭이 $800MHz$이면 $Q_1 = 400MHz$, $Q_2 = 200MHz$, $Q_3 = 100MHz$이다.

선지별 해설

1번 X: $6{,}400MHz$는 분주 회로를 증주 회로처럼 거꾸로 계산한 값이어서 틀리다. 이 회로는 주파수를 키우지 않고 단계마다 절반으로 줄인다. 올바른 값은 $100MHz$이다.

2번 X: $800MHz$는 입력 CLK의 주파수일 뿐 Q_3의 주파수가 아니다. 3단을 거치면 $800MHz$가 그대로 유지되지 않는다. 올바른 값은 $100MHz$이다.

3번 X: $400MHz$는 첫 번째 플립플롭 출력 Q_1에 해당하는 값이다. 문제는 세 번째 출력 Q_3를 묻고 있으므로 두 단을 더 거쳐 $100MHz$가 된다.

4번 O: 각 T 플립플롭이 2분주기로 동작하므로 전체 3단의 분주비는 $2^3 = 8$이다. 따라서 Q_3의 주파수는 $800/8 = 100MHz$가 된다.

NoteBase

오답 포인트

단 수를 하나만 반영해 $400MHz$로 멈추거나, $\overline{Q}$가 다음 단의 클럭으로 들어간다는 이유로 분주가 아닌 다른 동작으로 오해하면 틀리기 쉽다. 이 회로의 핵심은 각 단이 이전 단 주파수를 다시 절반으로 만든다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

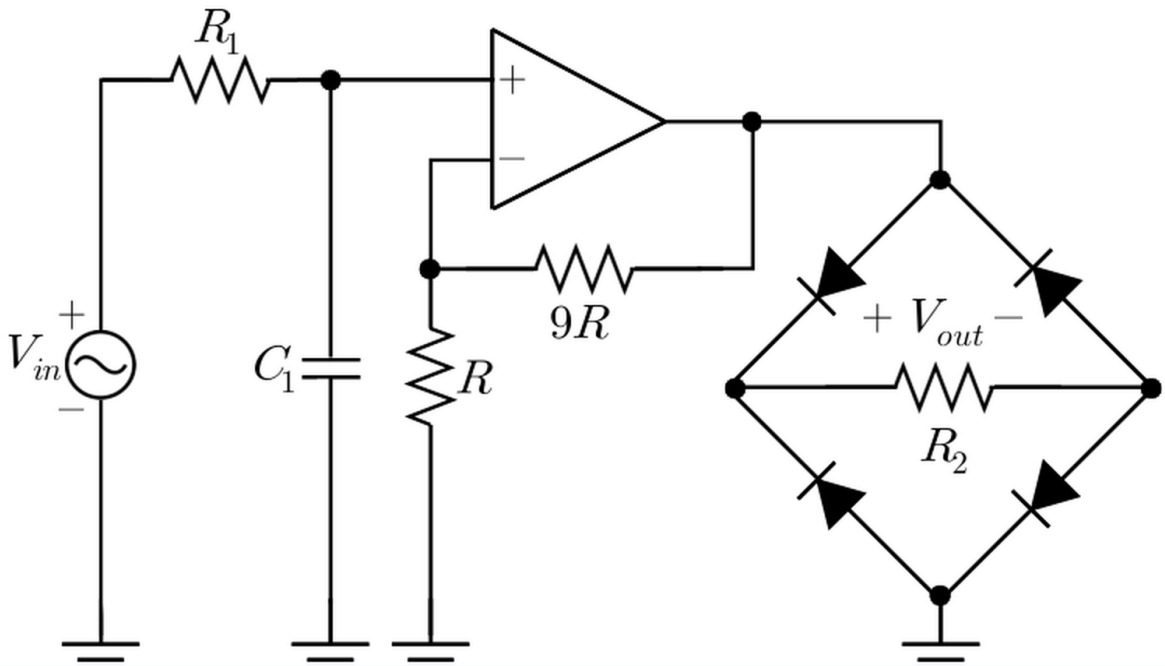
T 입력이 논리 1인지 먼저 확인한 뒤, T 플립플롭 한 단마다 주파수가 2분주된다고 본다. 그다음 최종 출력까지의 단 수를 세어 입력 주파수를 2^n으로 나누면 된다.

암기 포인트

T=1인 T 플립플롭은 한 단마다 2분주이고, 3단이면 전체 주파수는 입력의 1/8이 된다.

NoteBase

문 14. 다음 회로에서 입력전압 $V_{in} = 10\sin(2\pi \times 10^5 t)[V]$이고 $2\pi R_1 C_1 = 10^{-4}[s]$일 때, 출력전압 V_{out}의 첨두간(peak-to-peak) 전압 값$[V]$으로 가장 가까운 것은? (단, 연산증폭기는 이상적이며, 각 다이오드의 순방향 전압은 $0.7[V]$이다)



① 98.6

② 18.6

③ 8.6

④ 3.6

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 RC 저역통과회로의 감쇠, 비반전 증폭기의 이득, 브리지 정류기의 다이오드 전압강하를 순서대로 적용해 V_{out}의 첨두간 전압을 구하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

주어진 값:
- 입력전압은 $V_{in} = 10\sin(2\pi \times 10^5 t)[V]$이다.
- $2\pi R_1 C_1 = 10^{-4}[s]$이다.
- 연산증폭기는 이상적이다.
- 각 다이오드의 순방향 전압은 $0.7[V]$이다.

구해야 할 값:
- V_{out}의 첨두간 전압이다.

주의할 조건:
- R_1-C_1 노드는 저역통과 출력이다.
- 연산증폭기는 비반전 증폭기로 이득이 10이다.
- 브리지 정류기에서는 한 번 도통할 때 다이오드 2개가 직렬로 걸려 총 $1.4[V]$가 빠진다.

사용할 공식

저역통과회로의 진폭비는 $|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega R_1 C_1)^2}}$이다.
비반전 증폭기의 전압이득은 $A_v = 1 + \frac{9R}{R} = 10$이다.
브리지 정류 후 부하 양단 최대전압은 입력 첨두값에서 두 다이오드 강하를 뺀 $V_{out,\,peak} = V_{amp,\,peak} - 1.4$이다.
이 공식을 쓰는 이유:
- R_1 직렬, C_1 접지 구조이므로 C_1 양단은 1차 저역통과 출력이다.
- 피드백 저항이 $9R$, 접지 저항이 R이므로 비반전 증폭기 이득은 10이다.
- 브리지 정류기는 매 반주기마다 다이오드 2개를 통해 부하에 전압을 전달한다.

NoteBase

계산 과정

1. 각주파수는 $\omega = 2\pi \times 10^5$이므로
$\omega R_1 C_1 = (2\pi \times 10^5) \times \frac{10^{-4}}{2\pi} = 10$
이다.
2. RC 저역통과 출력의 첨두값은
$V_{RC,peak} = 10 \times \frac{1}{\sqrt{1+10^2}} = \frac{10}{\sqrt{101}} \approx 0.995[V]$
이다.
3. 비반전 증폭기 출력 첨두값은
$V_{amp,peak} = 10 \times 0.995 \approx 9.95[V]$
이다.
4. 브리지 정류기에서 두 다이오드 강하 $1.4[V]$를 빼면 부하 최대전압은
$V_{out,max} = 9.95 - 1.4 = 8.55[V]$
이다.
5. 정류된 V_{out}은 항상 같은 극성으로 나타나므로 최솟값은 0에 가깝다. 따라서 첨두간 전압은
$V_{out,pp} = 8.55 - 0 \approx 8.55[V]$
이므로 약 $8.6[V]$이다.

선지별 해설

① X
- $98.6[V]$는 RC 감쇠를 무시하고 입력 $10[V]$를 바로 10배 증폭한 뒤 다이오드 강하만 뺀 값에 가깝다. 이 회로에서는 먼저 RC 회로에서 진폭이 약 $0.995[V]$로 줄어들므로 첨두간 전압은 $98.6[V]$가 아니라 약 $8.6[V]$이다.

② X
- $18.6[V]$는 증폭기 출력 첨두값을 구한 뒤 다이오드 강하를 하나만 빼거나, 정류 후 파형의 첨두간 전압을 다시 2배로 본 경우에 나오는 오답이다. 브리지 정류 출력은 음수로 내려가지 않으므로 첨두간 전압은 2×8.55가 아니라 약 $8.6[V]$이다.

③ O
- RC 회로 출력 첨두값이 약 $0.995[V]$, 증폭기 출력 첨두값이 약 $9.95[V]$이다. 여기서 브리지 정류기의 두 다이오드 강하 $1.4[V]$를 빼면 최대 V_{out}이 약 $8.55[V]$가 되고 최솟값은 0이므로 첨두간 전압은 약 $8.6[V]$이다.

④ X
- $3.6[V]$는 다이오드 강하를 과도하게 중복 반영하거나 정류 후 첨두간 전압의 의미를 잘못 잡았을 때의 값이다. 올바르게는 증폭기 출력 첨두값 약 $9.95[V]$에서 브리지 경로의 총 강하 $1.4[V]$만 빼서 약 $8.6[V]$로 본다.

NoteBase

오답 포인트

이 문항의 핵심 함정은 세 가지이다.
- $2\pi R_1 C_1 = 10^{-4}$를 그대로 $R_1 C_1$로 착각하면 $\omega R_1 C_1$ 계산이 틀어진다.
- 비반전 증폭기 이득 10은 맞더라도 그 전에 RC 감쇠가 있다는 점을 놓치기 쉽다.
- 브리지 정류 출력의 첨두간 전압은 정류된 파형의 최대값과 거의 같으며, 부호가 바뀌는 사인파처럼 다시 2배로 잡지 않는다.

다시 나오면 이렇게 판단

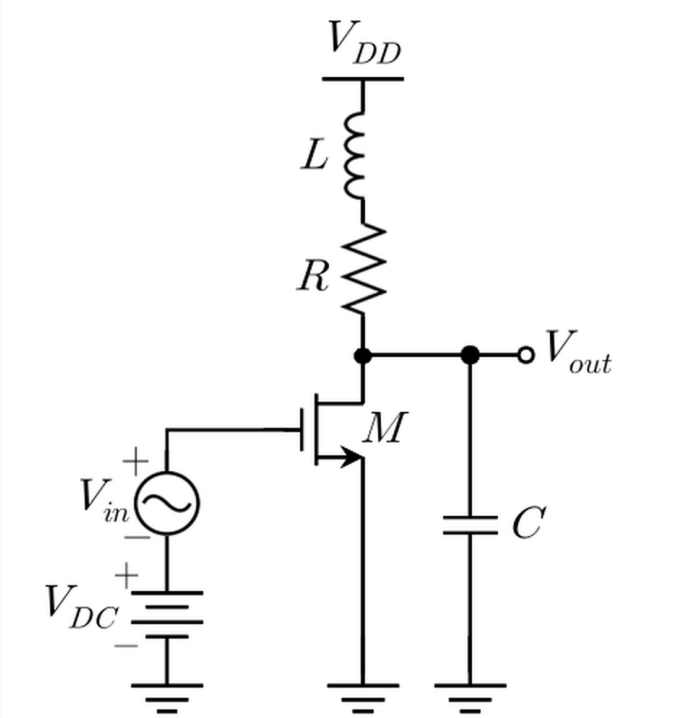
계산형 회로 문제는 입력 파형의 첨두값을 먼저 잡고, 각 블록을 RC 감쇠 → 증폭기 이득 → 다이오드 강하 순서로 통과시켜 최종 최대값을 구한 뒤, 마지막에 그 파형의 최소값과 최대값으로 첨두간 전압을 정한다.

암기 포인트

브리지 정류기 부하전압은 한 번 도통할 때 다이오드 2개를 지나며, 정류된 파형의 첨두간 전압은 음수 구간이 없으면 최대값과 같아진다.

NoteBase

문 15. 다음 증폭기 회로의 전달함수 $\left(\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)}\right)$은? (단, g_m은 MOSFET M의 전달컨덕턴스이며, 채널길이변조(channel length modulation)와 몸체효과(body effect)는 무시한다)



① $-\frac{g_mR}{1+sR/C+s^2LC}$
② $-\frac{g_mR[1+s(L/R)]}{1+sR/C+s^2LC}$
③ $-\frac{g_mR[1+s(L/R)]}{1+sRC+s^2LC}$
④ $-\frac{g_mR}{1+sRC+s^2LC}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 MOSFET 공통소스 소신호 등가회로에서 출력 노드의 부하 임피던스를 구한 뒤 $\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = -g_mZ_D$를 적용하는 문제이다.

조건 정리

채널길이변조와 몸체효과를 무시하므로 소신호 모델에는 g_mv_{gs} 전류원만 남는다.
V_{DD}와 V_{DC}는 교류적으로 접지이므로 출력 노드에서 보면 R과 L은 직렬 부하 $R+sL$로 보인다.
커패시터는 출력 노드에서 접지로 연결된 $\frac{1}{sC}$ 임피던스이며, 이 직렬 RL과 병렬을 이룬다.
게이트 입력은 v_{in}이고 소스가 접지이므로 $v_{gs}=v_{in}$이다.

NoteBase

사용할 공식

$+Z_D = (R + sL) \parallel \frac{1}{sC} + = \frac{(R+sL)\frac{1}{sC}}{R+sL+\frac{1}{sC}} + = \frac{R+sL}{1+sC(R+sL)} +$
$++\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = -g_m Z_D +$
+이 공식을 쓰는 이유는 공통소스 증폭기에서 전압이득이 소신호 드레인 전류 $g_m v_{gs}$와 출력 노드의 등가 임피던스의 곱으로 결정되기 때문이다.

계산 과정

1. 출력 노드의 부하 임피던스는 $(R + sL) \parallel \frac{1}{sC}$이다.
2. 이를 정리하면 $Z_D = \frac{R+sL}{1+sC(R+sL)} = \frac{R+sL}{1+sRC+s^2LC}$이다.
3. $v_{gs} = v_{in}$이므로 $\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = -g_m Z_D = -g_m \frac{R+sL}{1+sRC+s^2LC}$이다.
4. 분자를 R로 묶으면 $R + sL = R\left[1 + s\left(\frac{L}{R}\right)\right]$이므로
$+\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = -\frac{g_m R\left[1+s\left(\frac{L}{R}\right)\right]}{1+sRC+s^2LC} +$
+가 된다.

선지별 해설

① X: 분모의 1차항은 병렬 임피던스를 정리하면 $1 + sC(R + sL) = 1 + sRC + s^2LC$가 되어야 하므로 sR/C는 차원부터 맞지 않는다. 또한 분자에는 $R + sL$가 남아야 하므로 $-g_m R$만 둔 것도 틀리다. 틀린 표현 → 올바르게는 $-\frac{g_m R\left[1+s\left(\frac{L}{R}\right)\right]}{1+sRC+s^2LC}$이다.
② X: 분자 $-g_m R\left[1 + s\left(\frac{L}{R}\right)\right]$는 맞지만 분모의 s 1차항을 sR/C로 쓴 것이 틀리다. 커패시터 항은 병렬 정리 과정에서 C가 곱해져 sRC가 된다. 틀린 표현 → 올바르게는 분모가 $1 + sRC + s^2LC$이다.
③ O: $Z_D = (R + sL) \parallel \frac{1}{sC} = \frac{R+sL}{1+sRC+s^2LC}$이므로 $\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = -\frac{g_m R\left[1+s\left(\frac{L}{R}\right)\right]}{1+sRC+s^2LC}$가 된다. 따라서 ③이 맞다.
④ X: 분모 $1 + sRC + s^2LC$는 맞지만 분자를 $-g_m R$로만 두어 인덕터가 만드는 영점 항 $1 + s\left(\frac{L}{R}\right)$을 빠뜨렸다. 틀린 표현 → 올바르게는 분자에 $R + sL$, 즉 $R\left[1 + s\left(\frac{L}{R}\right)\right]$가 포함된다.

오답 포인트

V_{DD}를 교류 접지로 보지 못하면 RL 직렬 부하를 놓치기 쉽다. 또 병렬 임피던스를 정리한 뒤 분모를 $1 + sR/C$처럼 뒤집어 쓰거나, 분자에 남아야 할 $R + sL$를 R만으로 줄여 인덕터 효과를 누락하기 쉽다.

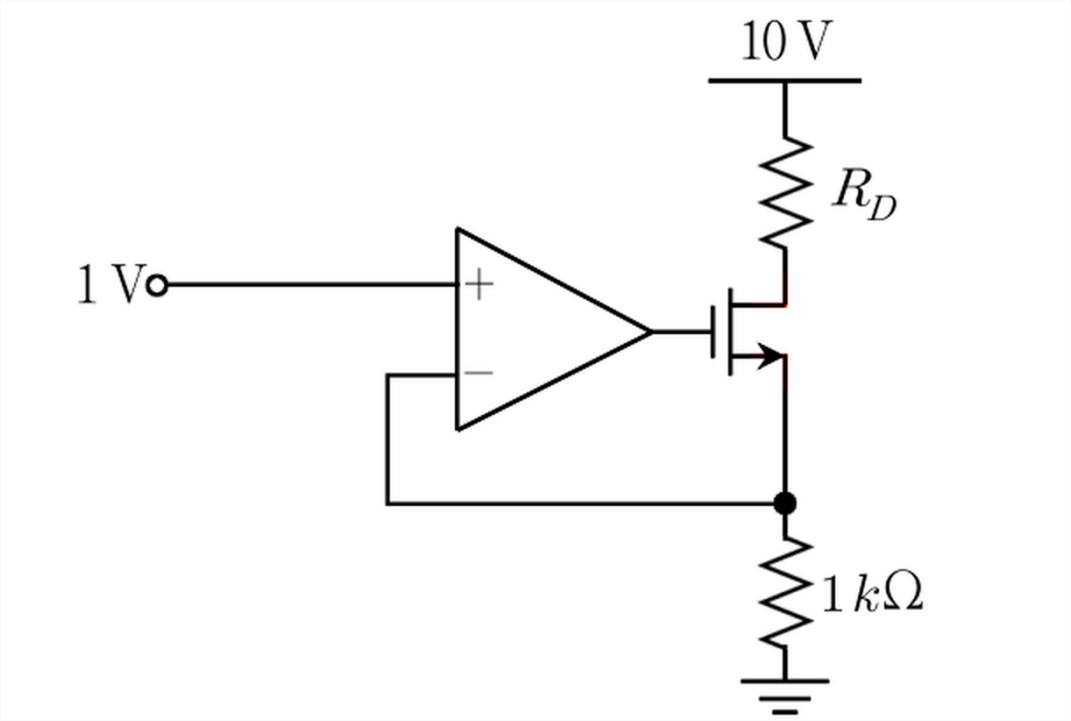
다시 나오면 이렇게 판단

회로 전달함수 문제는 먼저 직류 전원을 교류 접지로 치환하고, 출력 노드에서 본 등가 임피던스를 구한 뒤, 공통소스이면 $A_v(s) = -g_m Z_D$를 대입하는 순서로 판단한다. 마지막에는 분모의 s 1차항이 RC 꼴인지 차원까지 확인하면 오답을 걸러낼 수 있다.

암기 포인트

공통소스 증폭기의 전달함수는 $-g_m \times$ 출력 노드 임피던스이다. RL 직렬과 C 병렬이면 분자는 $R + sL$, 분모는 $1 + sRC + s^2LC$가 된다.

문 16. 다음 회로에서 MOSFET이 포화영역에서 동작하기 위한 R_D의 최대값[$k\Omega$]은? (단, MOSFET 문턱전압 $V_{th} = 0.8[V]$, 공정전달컨덕턴스 파라미터 $k_n = \mu_n C_{ox} = 200[\mu A/V^2]$, 채널폭과 채널길이 비 $W/L = 10$ 이며, 채널길이변조(channel length modulation)와 몸체효과(body effect)는 무시하고 연산증폭기는 이상적이다)



① 2

② 4

③ 6

④ 8

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 이상적인 연산증폭기의 음귀환으로 소스 전압을 $1V$로 고정한 뒤, MOSFET의 포화조건 $V_{DS} \geq V_{GS} - V_{th}$를 이용해 R_D의 최대값을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $V_{th} = 0.8V$, $k_n = 200\mu A/V^2$, $W/L = 10$, 소스 저항 $1k\Omega$, 전원 $10V$이다.
이상적 연산증폭기와 음귀환 때문에 $V_- = V_+ = 1V$이므로 소스 전압 $V_S = 1V$이다.
따라서 소스 저항 전류는 $1V/1k\Omega = 1mA$이고, 게이트 전류가 0이므로 $I_D \approx 1mA$이다.
구해야 할 값은 포화영역을 유지할 수 있는 R_D의 최대값이다.

NoteBase

사용할 공식

포화영역 전류식은 $I_D = \frac{1}{2}k_n\frac{W}{L}(V_{GS} - V_{th})^2$ 이다.
포화조건은 $V_{DS} \geq V_{GS} - V_{th}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 채널길이변조와 몸체효과를 무시한다고 했으므로 장채널 MOSFET의 기본 포화식과 포화조건을 그대로 적용할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 음귀환으로 $V_S = 1V$이므로 $I_D = 1mA$이다.
2. 전류식을 대입하면 $1mA = \frac{1}{2} \cdot 200\mu A/V^2 \cdot 10 \cdot (V_{GS} - 0.8)^2$ 이다.
3. $\frac{1}{2} \cdot 200 \cdot 10 = 1000\mu A/V^2 = 1mA/V^2$ 이므로 $(V_{GS} - 0.8)^2 = 1$ 이다.
4. 따라서 $V_{GS} - V_{th} = 1V$이고 $V_{GS} = 1.8V$이다.
5. 포화조건은 $V_{DS} \geq 1V$이므로 $V_D \geq V_S + 1V = 2V$이다.
6. 드레인 전압은 $V_D = 10V - I_D R_D = 10 - 0.001R_D$ 이다.
7. 최대 R_D는 경계조건 $V_D = 2V$에서 구하므로 $10 - 0.001R_D = 2$ 이고, $R_D = 8k\Omega$ 이다.

선지별 해설

① X: $2k\Omega$이면 $V_D = 10 - 1mA \cdot 2k\Omega = 8V$이어서 포화조건은 만족하지만 최대값이 아니다. 틀린 값은 $2k\Omega$이고, 올바르게는 최대 R_D가 $8k\Omega$이다.
② X: $4k\Omega$이면 $V_D = 6V$이어서 여전히 포화영역이지만 최대 허용값보다 작다. 틀린 값은 $4k\Omega$이고, 올바르게는 최대 R_D가 $8k\Omega$이다.
③ X: $6k\Omega$이면 $V_D = 4V$이어서 포화조건을 만족하지만 경계값은 아니다. 틀린 값은 $6k\Omega$이고, 올바르게는 최대 R_D가 $8k\Omega$이다.
④ O: $8k\Omega$이면 $V_D = 2V$, $V_S = 1V$이므로 $V_{DS} = 1V$가 되어 포화영역 경계에 정확히 놓인다. 최대값을 묻는 문제이므로 $8k\Omega$가 정답이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 먼저 $V_S = 1V$라는 음귀환 결과를 놓치거나, $V_{DS} \geq V_{GS} - V_{th}$ 대신 $V_D \geq V_{GS} - V_{th}$로 잘못 쓰는 데 있다. 또한 보기 중 포화조건을 만족하는 값이 여러 개이므로 단순히 만족 여부만 보면 2, 4, 6, $8k\Omega$가 모두 가능해 보이지만, 문제는 최대값을 묻기 때문에 경계조건 $V_D = 2V$를 잡아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

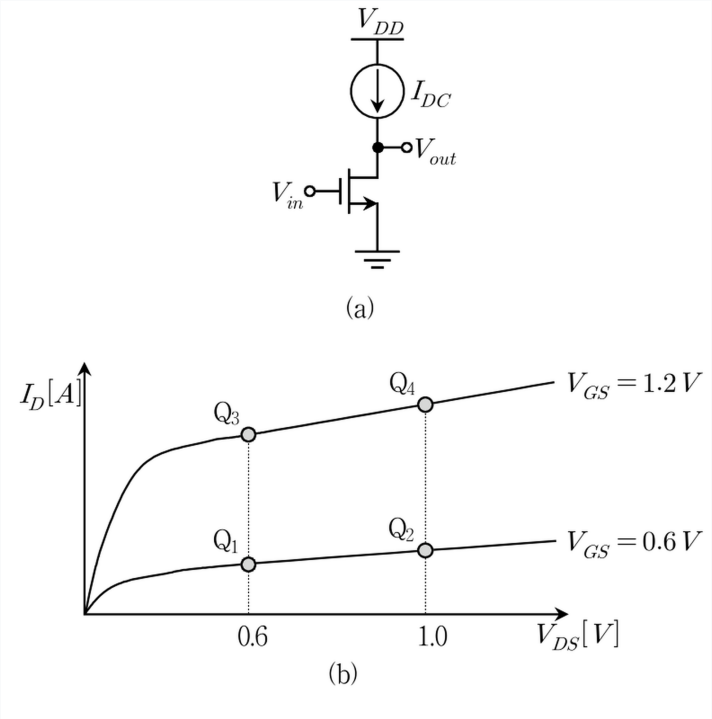
소스에 저항이 있고 연산증폭기 음귀환이 걸린 MOSFET 회로는 먼저 피드백이 고정하는 전압을 찾고, 그 전압으로 전류를 정한 뒤, 포화식으로 $V_{GS} - V_{th}$를 구하고, 마지막에 $V_{DS} \geq V_{GS} - V_{th}$ 경계에서 저항의 최대값을 계산하는 순서로 판단한다.

NoteBase

암기 포인트

음귀환이 소스 전압을 정하면 전류가 먼저 결정되고, 최대 R_D는 포화조건 경계 $V_{DS} = V_{OV}$에서 나온다.

문 17. 다음 그림 (a)의 회로는 $I_D \propto (V_{GS} - V_{th})$ 특성을 보이는 짧은 채널 N형 MOSFET를 포함한 공통 소스 증폭기이다. 다음 그림 (b)는 이 N형 MOSFET의 전류-전압 특성 곡선을 보인다. 이 공통 소스 증폭기가 Q_1 점에서 바이어스될 때, 이 증폭기의 전압이득 $\left|\frac{V_{out}}{V_{in}}\right|$은? (단, 각 Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 바이어스 점에서의 드레인 전류는 각각 $I_D(Q_1) = 2.0[mA]$, $I_D(Q_2) = 2.2[mA]$, $I_D(Q_3) = 7.4[mA]$, $I_D(Q_4) = 7.8[mA]$이다)



① 9

② 18

③ 27

④ 36

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 Q1 바이어스점에서의 소신호 트랜스컨덕턴스 g_m와 출력저항 r_o를 특성곡선에서 읽어 공통 소스 증폭기의 전압이득 $|A_v|$를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 Q1에서 $V_{GS} = 0.6V$, $V_{DS} = 0.6V$, $I_D = 2.0mA$이다.
같은 $V_{GS} = 0.6V$ 곡선에서 Q2는 $V_{DS} = 1.0V$, $I_D = 2.2mA$이다.
같은 $V_{DS} = 0.6V$에서 Q3는 $V_{GS} = 1.2V$, $I_D = 7.4mA$이다.
구해야 할 값은 Q1 바이어스에서의 $|V_{out}/V_{in}|$이다.

NoteBase

사용할 공식

공통 소스 증폭기에서 이상적인 전류원 부하의 소신호 저항은 매우 크므로 전압이득의 크기는 $|A_v| \approx g_m r_o$로 본다.
또한 문제에서 짧은 채널 N형 MOSFET이 $I_D \propto (V_{GS} - V_{th})$ 특성을 가진다고 했으므로, 같은 V_{DS}에서 $g_m = \partial I_D / \partial V_{GS}$를 두 점의 기울기로 읽을 수 있다.
출력저항은 같은 V_{GS} 곡선에서 $r_o \approx \Delta V_{DS} / \Delta I_D$로 읽는다.

계산 과정

1. Q1와 Q3는 같은 $V_{DS} = 0.6V$ 위의 점이므로
$g_m \approx \frac{7.4 - 2.0\,mA}{1.2 - 0.6\,V} = \frac{5.4mA}{0.6V} = 9mS$
2. Q1와 Q2는 같은 $V_{GS} = 0.6V$ 곡선 위의 점이므로
$r_o \approx \frac{1.0 - 0.6\ V}{2.2 - 2.0\,mA} = \frac{0.4V}{0.2mA} = 2k\Omega$
3. 따라서 전압이득의 크기는
$|A_v| \approx g_m r_o = (9mS)(2k\Omega) = 18$
따라서 정답값은 18이다.

선지 판단

1번 X: 9는 Q1 바이어스의 r_o를 반영하지 않거나, Q1이 아닌 다른 곡선의 기울기를 섞어 읽었을 때 나오는 값이다. 공통 소스 전압이득은 g_m만이 아니라 $g_m r_o$로 구해야 하므로 틀리다. 올바르게는 전압이득의 절댓값은 18이다.
2번 O: Q1 바이어스에서 $g_m = 9mS$, $r_o = 2k\Omega$이므로 $|A_v| = 18$이다. 따라서 맞다.
3번 X: 27은 Q1과 무관한 기울기나 전류 변화를 잘못 조합해 r_o를 크게 읽었을 때 나오는 값이다. 이 문제는 반드시 Q1을 기준으로 같은 V_{GS}, 같은 V_{DS} 방향의 국부 기울기를 읽어야 하므로 틀리다. 올바르게는 전압이득의 절댓값은 18이다.
4번 X: 36은 g_m와 r_o를 둘 다 과대평가하거나, Q1이 아닌 다른 구간의 기울기를 그대로 대입한 값이다. Q1 주변의 실제 소신호 기울기로 계산하면 18이므로 틀리다. 올바르게는 전압이득의 절댓값은 18이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 Q1에서 바이어스되었다는 조건을 놓치고 다른 곡선의 기울기나 먼 점의 값을 섞어 쓰는 데 있다. g_m는 같은 V_{DS}에서 V_{GS} 방향 기울기로, r_o는 같은 V_{GS}에서 V_{DS} 방향 기울기로 읽어야 한다는 점이 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

MOSFET 소신호 이득 문제는 먼저 바이어스점이 어느 점인지 정한 뒤, 같은 V_{DS}에서 g_m, 같은 V_{GS}에서 r_o를 읽고 마지막에 $|A_v| \approx g_m r_o$를 적용하는 순서로 판단한다.

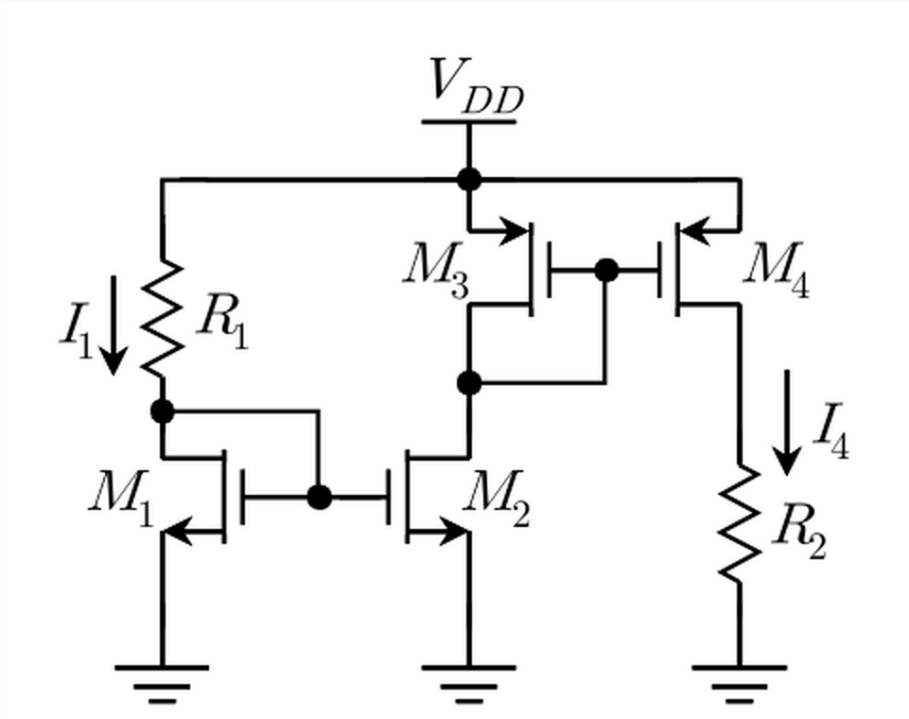
NoteBase

암기 포인트

공통 소스의 이득은 바이어스점에서 읽은 g_m와 r_o의 곱으로 정해진다.

NoteBase

문 18. 다음 전류미러(current-mirror) 회로에서 MOSFET M_1, M_2, M_3, M_4의 채널폭은 각각 W_1, W_2, W_3, W_4로 주어질 때, $I_4 = 2I_1$ 조건을 만족하지 않는 것은? (단, M_1, M_2, M_3, M_4는 채널폭을 제외하고 동일한 MOSFET이며, 모든 MOSFET은 포화영역에서 동작하고 채널길이변조(channel length modulation)는 무시한다)



① $W_2 = W_1,\ W_4 = 0.5W_3$

② $W_2 = 2W_1,\ W_4 = W_3$

③ $W_2 = 0.5W_1,\ W_4 = 4W_3$

④ $W_2 = 4W_1,\ W_4 = 0.5W_3$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 NMOS 전류미러와 PMOS 전류미러가 직렬로 연결된 회로에서 최종 전류비가 각 단계의 채널폭비의 곱으로 결정된다는 점을 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건: M_1, M_2, M_3, M_4는 채널폭을 제외하면 동일하고 모두 포화영역에서 동작한다.
구해야 할 조건: $I_4 = 2I_1$이 되려면 어떤 폭비가 필요한지 판단한다.
주의할 조건: M_1-M_2 미러와 M_3-M_4 미러를 따로 본 뒤 최종적으로 곱해야 하며, 발문은 `만족하지 않는 것`이다.

NoteBase

사용할 공식

포화영역에서 동일한 MOSFET의 전류미러는 같은 V_{GS}에서 전류가 채널폭 W에 비례한다.
$\frac{I_2}{I_1} = \frac{W_2}{W_1}, \quad \frac{I_4}{I_3} = \frac{W_4}{W_3}$
또한 가운데 노드에서 M_2와 다이오드 접속된 M_3의 전류가 같으므로 $I_3 = I_2$이다. 따라서
$\frac{I_4}{I_1} = \frac{I_4}{I_3} \cdot \frac{I_2}{I_1} = \frac{W_4}{W_3} \cdot \frac{W_2}{W_1}$
이 공식을 쓰는 이유는 이 회로가 전류미러 두 단이 연속으로 연결된 구조이기 때문이다.

계산 과정

1. M_1과 M_2에서 $\frac{I_2}{I_1} = \frac{W_2}{W_1}$이다.
2. M_3은 다이오드 접속 PMOS이므로 $I_3 = I_2$이고, M_3과 M_4에서 $\frac{I_4}{I_3} = \frac{W_4}{W_3}$이다.
3. 따라서 전체 전류비는 $\frac{I_4}{I_1} = \frac{W_2}{W_1}\frac{W_4}{W_3}$가 된다.
4. 이 값이 2가 되면 조건을 만족하고, 2가 아니면 조건을 만족하지 않는다.

선지별 해설

① O: $\frac{W_2}{W_1} = 1, \frac{W_4}{W_3} = 0.5$이므로 $\frac{I_4}{I_1} = 1 \times 0.5 = 0.5$이다. 즉 $I_4 = 0.5I_1$이므로 $I_4 = 2I_1$를 만족하지 않는다. 따라서 `만족하지 않는 것`을 고르는 정답 선지이다.
② X: $\frac{W_2}{W_1} = 2, \frac{W_4}{W_3} = 1$이므로 $\frac{I_4}{I_1} = 2 \times 1 = 2$이다. 조건을 정확히 만족한다. 틀린 판단은 `만족하지 않는 것`에 해당한다고 보는 점이며, 올바르게는 `이 조합은 조건을 만족한다`이다.
③ X: $\frac{W_2}{W_1} = 0.5, \frac{W_4}{W_3} = 4$이므로 $\frac{I_4}{I_1} = 0.5 \times 4 = 2$이다. 역시 조건을 만족한다. 틀린 판단은 `불만족 조합`으로 보는 점이며, 올바르게는 `이 조합은 조건을 만족하는 폭비 조합`이다.
④ X: $\frac{W_2}{W_1} = 4, \frac{W_4}{W_3} = 0.5$이므로 $\frac{I_4}{I_1} = 4 \times 0.5 = 2$이다. 이 선지도 조건을 만족한다. 틀린 판단은 `만족하지 않는 것`으로 분류하는 점이며, 올바르게는 `이 조합도 조건을 만족한다`이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 전류미러를 한 단계만 보고 $\frac{W_2}{W_1}$ 또는 $\frac{W_4}{W_3}$ 하나만 비교하는 실수와, 발문의 `만족하지 않는 것`을 놓치는 실수이다. 특히 ②, ③, ④는 모두 곱하면 2가 되므로, 마지막에 발문 polarity를 다시 대조하지 않으면 정답을 바꾸기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

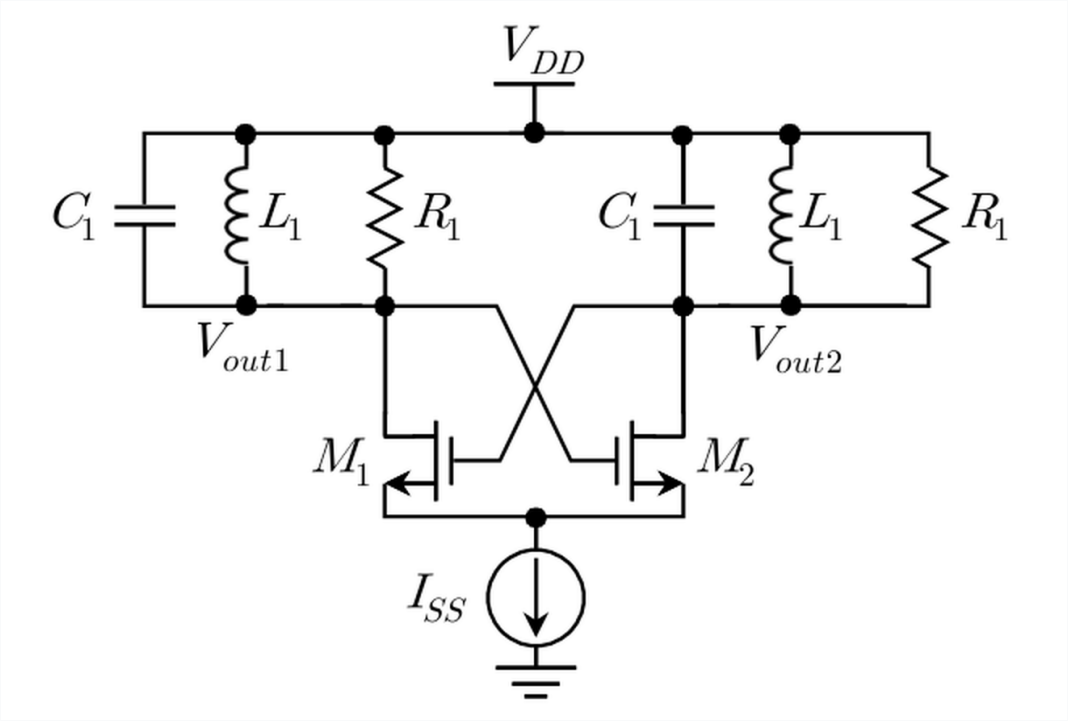
다단 전류미러 문제는 각 미러의 전류비를 먼저 구하고, 직렬로 이어진 단계는 비를 곱해 최종 전류비를 만든 뒤, 그 값이 목표 전류비와 같은지 비교한다. 마지막에는 발문이 `옳은 것`인지 `옳지 않은 것`인지 한 번 더 확인한다.

암기 포인트

직렬 전류미러의 최종 전류비는 각 단계의 폭비의 곱으로 정리된다.

NoteBase

문 19. 다음 회로에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, M_1과 M_2는 동일한 MOSFET이고, g_m는 MOSFET M_1과 M_2의 전달컨덕턴스이며, 채널길이변조(channel length modulation)와 몸체효과(body effect)는 무시한다)



① 발진하기 위한 저항 조건은 $R_1 < \frac{1}{g_m}$이다.

② 이 발진기의 발진 주파수는 $\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}}$이다.

③ 병렬 LC 탱크를 이용한 교차 결합 발진기이다.

④ LC 부하를 가진 증폭기 2개로 구성되며 발진하기 위한 하나의 증폭기에서의 위상변화는 180도이다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 병렬 LC 탱크와 교차 결합 MOSFET 쌍이 만드는 발진 구조, 공진 주파수, 시동 조건의 부등호 방향을 판단하는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- 교차 결합 MOSFET 쌍은 탱크의 손실저항을 보상할 음저항을 제공해야 발진이 시작된다. 시동 조건은 $g_m R_1 > 1$로 보는 것이 맞으므로 $R_1 > 1/g_m$이어야 한다.
- 틀린 표현은 "$R_1 < 1/g_m$"이고, 올바르게는 "$R_1 > 1/g_m$"이다.

② O
- 각 출력 노드의 부하는 L_1, C_1, R_1이 병렬인 LC 탱크이다. 문제에서 채널길이변조와 몸체효과를 무시하므로 이상적인 발진 주파수는 $f_0 = 1/(2\pi\sqrt{L_1 C_1})$가 된다.

③ O
- 두 출력 노드에 병렬 LC 탱크가 달려 있고, 각 MOSFET의 게이트가 반대편 출력에 연결되어 있다. 따라서 병렬 LC 탱크를 이용한 교차 결합 발진기라는 설명이 맞다.

④ O
- 각 MOSFET 단계는 LC 부하를 가진 공통 소스 증폭기처럼 동작하므로 한 단계의 전압 위상변화는 180도이다. 두 단계가 교차 결합되어 루프 전체 위상변화가 360도가 되어 발진 조건을 만족한다.

오답 포인트

교차 결합 LC 발진기에서는 180도 위상반전만 기억하고 시동 조건의 부등호를 거꾸로 쓰기 쉽다. 이 회로는 탱크 손실을 이길 만큼의 음저항이 필요하므로 $g_m R_1 > 1$인지 먼저 확인해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

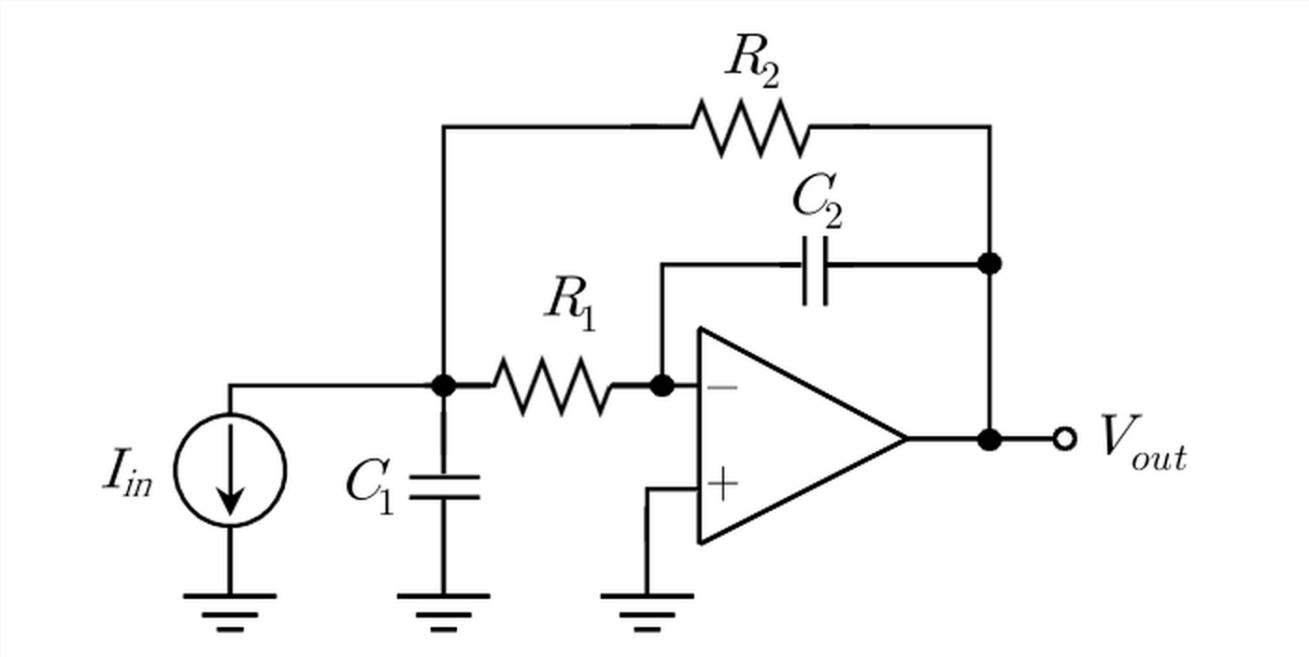
회로에서 병렬 LC 탱크와 교차 연결된 공통 소스 쌍이 보이면 먼저 교차 결합 LC 발진기로 분류한다. 그다음 공진식은 $1/(2\pi\sqrt{LC})$, 시동 조건은 탱크 손실보다 g_m 보상이 커야 한다는 순서로 판단하면 된다.

암기 포인트

교차 결합 LC 발진기는 병렬 LC가 주파수를 정하고, 교차 결합 g_m이 손실저항을 이기면 발진한다.

NoteBase

문 20. 다음 회로에서 전달 임피던스 $\frac{V_{out}(s)}{I_{in}(s)}$의 양호도(quality factor) Q는? (단, 연산증폭기는 이상적이다)



① $\frac{1}{\sqrt{R_1R_2C_1C_2}}$
② $\sqrt{\frac{R_1C_1}{R_2C_2}}$
③ $\sqrt{\frac{C_1R_1R_2}{C_2(R_1+R_2)^2}}$
④ $\sqrt{\frac{R_1+R_2}{C_1C_2R_1R_2}}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 이상적 연산증폭기의 가상접지 조건을 이용해 전달 임피던스의 분모를 2차 표준형에 맞추고 Q를 구하는 문제이다.

조건 정리

- $V_+ = 0$이므로 이상적 연산증폭기에서 $V_- = 0$이다.
- 연산증폭기 입력 전류는 0이다.
- Q는 전달 임피던스의 분모 $a_2s^2 + a_1s + 1$을 표준형과 비교해 구한다.
- I_{in}의 화살표 정의에 따라 $\frac{V_{out}}{I_{in}}$의 전체 부호는 달라질 수 있지만, 분모와 Q 값은 변하지 않는다.

NoteBase

사용할 공식

전달 임피던스의 분모를

$a_2 s^2 + a_1 s + 1$

로 두면 2차 표준형

$\frac{s^2}{\omega_0^2} + \frac{s}{Q\omega_0} + 1$

과 비교하여

$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{a_2}}, \qquad Q = \frac{\sqrt{a_2}}{a_1}$

가 된다.

이 공식을 쓰는 이유는 이 회로의 전달 임피던스 분모가 s^2, s, 상수항을 모두 갖는 2차식으로 정리되기 때문이다.

계산 과정

1. 반전 입력 노드는 가상접지이므로 그 전압을 0으로 둔다. 반전 입력 노드에서 KCL을 쓰면

$\frac{V_a}{R_1} + sC_2 V_{out} = 0$

이므로

$V_a = -R_1 sC_2 V_{out}$

이다.

2. 입력 노드 V_a에서 KCL을 쓰면 분모만 보면 충분하므로

$\frac{V_{out}}{I_{in}} = \pm \frac{R_2}{R_1 R_2 C_1 C_2 s^2 + C_2(R_1 + R_2)s + 1}$

로 정리된다.

3. 따라서

$a_2 = R_1 R_2 C_1 C_2, \qquad a_1 = C_2(R_1 + R_2)$

이다.

4. 표준형과 비교하면

$Q = \frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}{C_2(R_1 + R_2)} = \sqrt{\frac{C_1 R_1 R_2}{C_2 (R_1 + R_2)^2}}$

이므로 정답은 3번이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
$\frac{1}{\sqrt{R_1R_2C_1C_2}}$는 Q가 아니라 고유각주파수 ω_0이다. 틀린 표현은 품질계수로 제시한 점이고, 올바르게는 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1R_2C_1C_2}}$이다.

② X
$\sqrt{\frac{R_1C_1}{R_2C_2}}$는 분모의 1차항 계수 $C_2(R_1 + R_2)$를 반영하지 못한 값이다. 틀린 표현은 $R_1 + R_2$가 빠진 형태이고, 올바르게는 $Q = \sqrt{\frac{C_1R_1R_2}{C_2(R_1 + R_2)^2}}$이다.

③ O
분모가 $R_1R_2C_1C_2s^2 + C_2(R_1 + R_2)s + 1$이므로 $Q = \frac{\sqrt{a_2}}{a_1}$를 적용하면 $\sqrt{\frac{C_1R_1R_2}{C_2(R_1 + R_2)^2}}$가 된다. 식의 차원도 무차원이라 품질계수와 일치한다.

④ X
$\sqrt{\frac{R_1 + R_2}{C_1C_2R_1R_2}}$는 무차원이 아니므로 애초에 품질계수 Q가 될 수 없다. 틀린 표현은 품질계수를 주파수 차원이 남는 식으로 둔 점이고, 올바르게는 $Q = \sqrt{\frac{C_1R_1R_2}{C_2(R_1 + R_2)^2}}$이다.

오답 포인트

이 문항의 핵심 함정은 ω_0와 Q를 혼동하는 점과, 분모의 1차항 계수에 $R_1 + R_2$가 들어간다는 사실을 놓치는 점이다. 또한 Q는 무차원량이므로 식의 차원을 한 번만 점검해도 ①과 ④는 바로 걸러진다.

다시 나오면 이렇게 판단

능동 필터나 전달 임피던스 문제는 먼저 가상접지 조건으로 회로식을 세우고, 다음으로 분모를 $a_2s^2 + a_1s + 1$ 꼴로 정리한 뒤, 마지막에 $Q = \frac{\sqrt{a_2}}{a_1}$, $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{a_2}}$를 대입해 판단한다. Q가 무차원인지까지 확인하면 계산 실수를 줄일 수 있다.

암기 포인트

2차 분모가 $a_2s^2 + a_1s + 1$이면 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{a_2}}$, $Q = \frac{\sqrt{a_2}}{a_1}$이다. ω_0는 주파수 차원이고 Q는 무차원이다.

NoteBase