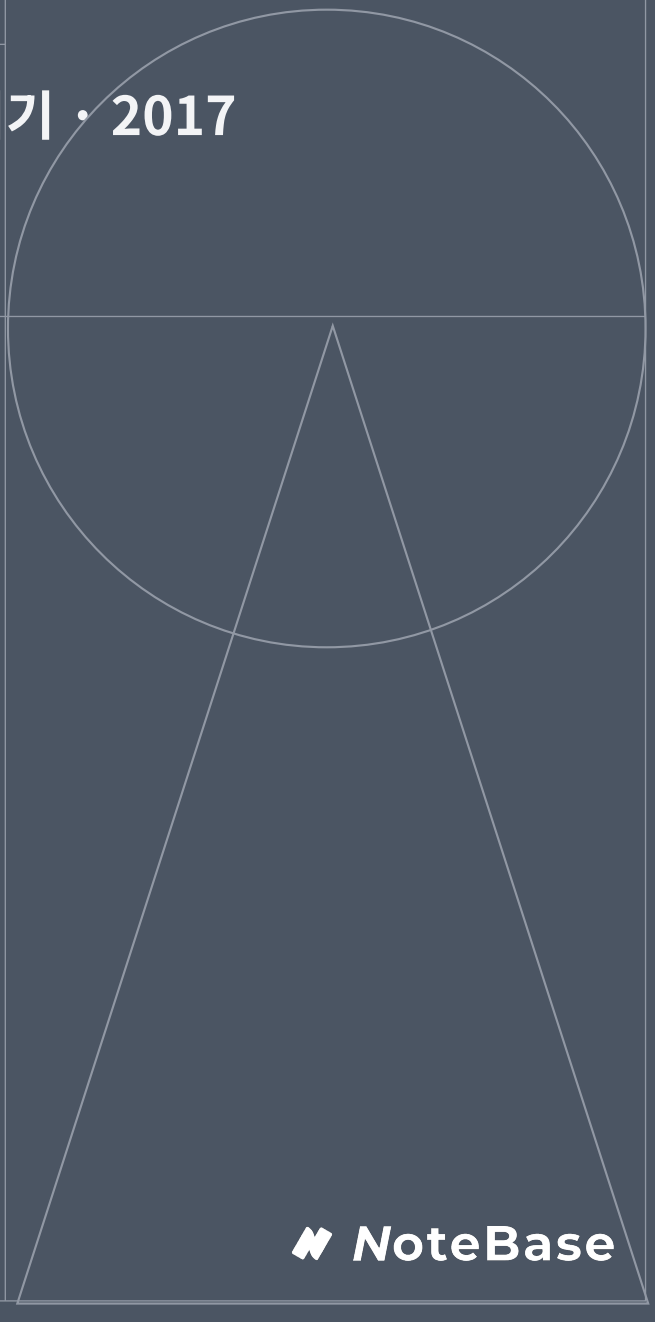
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전기기기 · 2017



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전기기기 · 2017

공무원/국가직/7급 · 전기기기 · 2017

문 1. 8극, 전기자 도체수 500개, 단중 중권인 직류 분권 발전기가 600[rpm]으로 회전할 때, 유기 기전력이 100[V]이다. 1극당 자속[Wb]은?

① 0.01

② 0.015

③ 0.02

④ 0.025

정답 3번

출제 포인트

직류기 유기 기전력 공식 $E = \frac{pZ\Phi n}{60a}$을 이용해 1극당 자속을 역산하는 문제이다. 이 식에서 극수 p, 전기자 도체수 Z, 회전속도 n[rpm], 병렬 회로수 a의 관계를 정확히 세우는 것이 핵심이며, 특히 권선법에 따라 병렬 회로수 a가 어떻게 정해지는지가 관건이다.

조건 정리

극수 $p = 8$, 전기자 도체수 $Z = 500$, 회전속도 $n = 600$[rpm], 유기 기전력 $E = 100$[V]이다. 권선법은 단중 중권(simplex lap winding)이므로 병렬 회로수는 극수와 같다: $a = p = 8$.

사용할 공식

직류기의 유기 기전력 공식은 $E = \frac{pZ\Phi n}{60a}$이다. 단중 중권에서는 $a = p$이므로 극수가 분자와 분모에서 서로 약분되어 식이 $E = \frac{Z\Phi n}{60}$으로 단순화된다.

계산 과정

단중 중권이므로 $a = p = 8$이 되어 $E = \frac{pZ\Phi n}{60a} = \frac{Z\Phi n}{60}$이다. 주어진 값을 대입하면 $100 = \frac{500 \times \Phi \times 600}{60}$이다. 우변을 정리하면 $100 = 500 \times \Phi \times 10 = 5000\Phi$이므로 $\Phi = \frac{100}{5000} = 0.02$[Wb]이다.

NoteBase

선지 판단

① 0.01 → 극수와 병렬 회로수가 약분된다는 점을 놓치고 a를 실제보다 크게 잡아 자속을 과소 계산한 값이다. 오답이다.
② 0.015 → 계산 과정에서 대입 오류가 있을 때 나오는 값으로 공식과 맞지 않는다. 오답이다.
③ 0.02 → $E = \frac{Z\Phi n}{60}$에 $Z = 500,\ n = 600,\ E = 100$을 대입해 정확히 도출되는 값이다. 정답이다.
④ 0.025 → 60이 아닌 다른 상수로 나누었을 때 나오는 값으로 공식 적용이 잘못된 경우이다. 오답이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 단중 중권에서 병렬 회로수 a를 극수 p와 같게 두지 않고 $a = 2$(파권 기준)로 착각하는 것이다. 중권은 병렬 회로수가 극수와 같고($a = p$), 파권은 병렬 회로수가 항상 2인 점($a = 2$)을 혼동하면 전혀 다른 답이 나온다. 또한 n의 단위가 [rpm]이므로 60으로 나누는 것을 빠뜨리지 않아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

직류기 문제에서 권선법이 언급되면 가장 먼저 병렬 회로수 a부터 정한다. 중권이면 $a = p$(극수와 동일), 파권이면 $a = 2$로 고정한다. 단중 중권처럼 $a = p$인 경우 기전력 공식에서 극수가 약분되어 $E = \frac{Z\Phi n}{60}$로 단순해진다는 점을 활용하면 계산이 빨라진다.

암기 포인트

직류기 유기 기전력 $E = \frac{pZ\Phi n}{60a}$; 중권은 $a = p$, 파권은 $a = 2$; 단중 중권에서는 극수가 약분되어 $E = \frac{Z\Phi n}{60}$로 간단해진다는 것을 기억해 둔다.

NoteBase

문 2. 극수 P인 3상 유도 전동기가 전원주파수 $f[Hz]$, 회전자 슬립 s, 회전자 출력 토크 $T[N \cdot m]$로 구동되고 있을 때, 회전자 저항 손실[W]은? (단, 회전자의 기계적 손실은 무시한다)

① $\frac{2\pi f}{P} \cdot (1-s) \cdot T$

② $\frac{4\pi f}{P} \cdot (1-s) \cdot T$

③ $\frac{2\pi f}{P} \cdot s \cdot T$

④ $\frac{4\pi f}{P} \cdot s \cdot T$

정답 4번

출제 포인트

3상 유도 전동기의 동기속도(각속도)와 슬립을 이용해 회전자(2차) 저항 손실을 구하는 공식을 알고 있는지 묻는 문항이다. 동기 각속도를 $\omega_s = \frac{4\pi f}{P}$로 변환하는 것과, 공극을 통해 전달되는 전체 동력(2차 입력) 중 슬립 비율만큼이 회전자 저항에서 열로 소비된다는 관계를 정확히 적용해야 한다.

조건 정리

극수 P, 전원주파수 f[Hz], 슬립 s, 회전자 출력 토크 T[N·m]가 주어진다. 회전자의 기계적 손실은 무시하므로, 회전자가 만들어내는 토크(발생 토크)와 문제에서 말하는 출력 토크 T는 같은 값으로 취급할 수 있다.

사용할 공식

동기속도(각속도): $\omega_s = \frac{2\pi n_s}{60}$, 여기서 동기속도 $n_s = \frac{120f}{P}$[rpm]이므로 $\omega_s = \frac{4\pi f}{P}$[rad/s]이다. 2차(공극) 입력: $P_2 = T \cdot \omega_s$. 회전자 저항 손실(2차 동손): $P_{c2} = s \cdot P_2$.

계산 과정

먼저 동기 각속도를 구하면 $\omega_s = \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{120f}{P} = \frac{4\pi f}{P}$이다. 회전자의 기계적 손실을 무시하므로 회전자에서 발생하는 토크 T는 곧 2차 입력을 만드는 토크와 같고, 이때 2차 입력(공극을 지나 회전자로 전달되는 전체 동력)은 $P_2 = T \cdot \omega_s = \frac{4\pi f}{P} \cdot T$이다. 유도 전동기에서 2차 입력은 슬립 s만큼이 회전자 저항에서 열로 소비되고 나머지 $(1-s)$만큼이 기계적 동력으로 변환되는 관계, 즉 $P_2 : P_{c2} : P_m = 1 : s : (1-s)$가 성립한다. 따라서 회전자 저항 손실은 $P_{c2} = s \cdot P_2 = \frac{4\pi f}{P} \cdot s \cdot T$이다.

NoteBase

선지 판단

① $\frac{2\pi f}{P} \cdot (1-s) \cdot T$: X, 동기 각속도를 $\frac{2\pi f}{P}$로 잘못 쓴 값이며 또한 $(1-s)$는 기계적 출력 쪽 비율이므로 저항 손실식이 아니다.
② $\frac{4\pi f}{P} \cdot (1-s) \cdot T$: X, 동기 각속도는 맞게 썼으나 $(1-s)$를 곱해 이는 회전자 저항 손실이 아니라 회전자의 기계적 출력(2차 출력)에 해당하는 식이다.
③ $\frac{2\pi f}{P} \cdot s \cdot T$: X, s를 곱한 것은 맞으나 동기 각속도를 $\frac{2\pi f}{P}$로 잘못 계산한 값이다.
④ $\frac{4\pi f}{P} \cdot s \cdot T$: O, 동기 각속도 $\frac{4\pi f}{P}$에 슬립 s와 토크 T를 곱한 값으로 회전자 저항 손실 공식과 정확히 일치한다.

오답 포인트

가장 흔한 실수 두 가지이다. 첫째, 동기속도를 rpm에서 각속도(rad/s)로 바꿀 때 $n_s = \frac{120f}{P}$에 $\frac{2\pi}{60}$을 곱해야 $\frac{4\pi f}{P}$가 되는데, 이를 생략하고 $\frac{2\pi f}{P}$로 잘못 암기하는 경우이다(①·③이 여기 해당). 둘째, 슬립 비율 s와 $(1-s)$를 혼동하는 경우이다. 2차 입력 중 s만큼이 회전자 저항에서 손실로 소비되고, $(1-s)$만큼이 기계적 동력으로 변환되므로, 저항 손실을 물으면 반드시 s를 곱해야 한다(②가 여기 해당).

다시 나오면 이렇게 판단

유도 전동기에서 2차 입력, 2차 동손(회전자 저항 손실), 기계적 출력의 비율이 $1 : s : (1-s)$라는 관계를 먼저 떠올린다. 이후 동기 각속도 $\omega_s = \frac{4\pi f}{P}$를 구해 2차 입력 $P_2 = T\omega_s$를 계산하고, 묻는 대상이 저항 손실이면 s를, 기계적 출력이면 $(1-s)$를 곱하면 된다.

암기 포인트

동기 각속도는 $\omega_s = \frac{4\pi f}{P}$로 고정 암기한다. 2차 입력 : 2차 동손 : 기계적 출력 = $1 : s : (1-s)$이며, 저항 손실은 2차 입력에 s를 곱한 값이다.

NoteBase

문 3. 3상 유도 전동기의 속도-토크 특성곡선에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 슬립이 0에 근접한 운전구간에서 슬립이 증가할 때, 회전자의 리액턴스는 거의 선형으로 감소한다.

② 슬립이 0에 근접한 운전구간에서 슬립이 증가할 때, 회전자 전류는 거의 선형으로 증가한다.

③ 유도전동기의 기동 시에는 슬립이 1이다.

④ 주어진 슬립에서 유도전동기의 토크는 인가전압의 제곱에 비례한다.

정답 1번

출제 포인트

3상 유도 전동기의 슬립 s에 따른 회전자 회로 정수(리액턴스·전류)와 토크가 어떻게 변하는지를 등가회로 관계식으로 판단하는 문제이다. 슬립이 0에 가까운 저슬립 운전구간에서 회전자 리액턴스와 전류가 슬립에 대해 각각 어떤 관계(비례/반비례, 선형 증가/감소)를 갖는지가 핵심이다.

조건 정리

정지 시(슬립 1 기준) 회전자 유기기전력을 E_{20}, 정지 시 회전자 리액턴스를 X_{20}, 회전자 저항을 R_2라 한다. 슬립 s로 운전할 때 회전자 회로의 유기기전력과 리액턴스는 각각 $E_{2s} = sE_{20}$, $X_{2s} = sX_{20}$로 슬립에 비례한다. 슬립이 0에 근접한 구간(저슬립)에서는 sX_{20}이 R_2에 비해 매우 작아진다.

사용할 공식

회전자 전류: $I_2 = \frac{sE_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{20})^2}}$. 회전자 리액턴스: $X_{2s} = sX_{20}$. 유도 토크(저슬립 근사): $T \approx \frac{3}{\omega_s} \cdot \frac{sE_{20}^2}{R_2}$, 여기서 E_{20}은 인가전압 V에 비례하므로 $T \propto V^2$이다.

계산 과정

① 회전자 리액턴스는 $X_{2s} = sX_{20}$로 슬립 s에 정비례하므로, 슬립이 증가하면 리액턴스는 거의 선형으로 '증가'한다. 문항은 '거의 선형으로 감소한다'고 서술하여 실제 관계와 반대이므로 옳지 않다.

② 슬립이 0에 근접한 구간에서는 $sX_{20} \ll R_2$이므로 $I_2 \approx \frac{sE_{20}}{R_2}$가 되어 회전자 전류는 슬립에 거의 선형으로 비례하여 증가한다. 서술과 일치하므로 옳다.

③ 기동 순간에는 회전자가 정지해 있어 동기속도 n_s와 회전자 속도 n의 관계식 $s = \frac{n_s - n}{n_s}$에서 $n = 0$이 되어 $s = 1$이다. 서술과 일치하므로 옳다.

④ 위 토크식에서 $E_{20} \propto V$이므로 $T \propto E_{20}^2 \propto V^2$가 되어, 주어진 슬립에서 토크는 인가전압의 제곱에 비례한다. 서술과 일치하므로 옳다.

NoteBase

선지 판단

① X: 회전자 리액턴스 $X_{2s} = sX_{20}$는 슬립이 증가하면 거의 선형으로 '증가'하는데, 선지는 반대로 '감소한다'고 하였으므로 옳지 않은 설명이다.
② O: 저슬립 구간에서 $sX_{20} \ll R_2$이므로 회전자 전류 $I_2 \approx sE_{20}/R_2$로 슬립에 거의 선형으로 비례하여 증가하므로 옳은 설명이다.
③ O: 기동 시 회전자 속도가 0이므로 슬립 정의식에 의해 슬립은 1이 되므로 옳은 설명이다.
④ O: 주어진 슬립에서 토크는 회전자 유기기전력의 제곱, 즉 인가전압의 제곱에 비례하므로 옳은 설명이다.

오답 포인트

회전자 리액턴스 $X_{2s} = sX_{20}$와 회전자 전류 I_2를 혼동하기 쉽다. 전류는 저슬립 구간에서 슬립에 비례하여 '증가'하는 것이 맞지만, 리액턴스도 슬립에 비례하여 '증가'하므로 '감소한다'는 서술은 틀렸다. 두 값이 모두 슬립 증가에 따라 증가한다는 점을 함께 기억해야 하며, 방향(증가/감소)만 반대로 바꿔 놓은 함정 선지에 주의한다.

다시 나오면 이렇게 판단

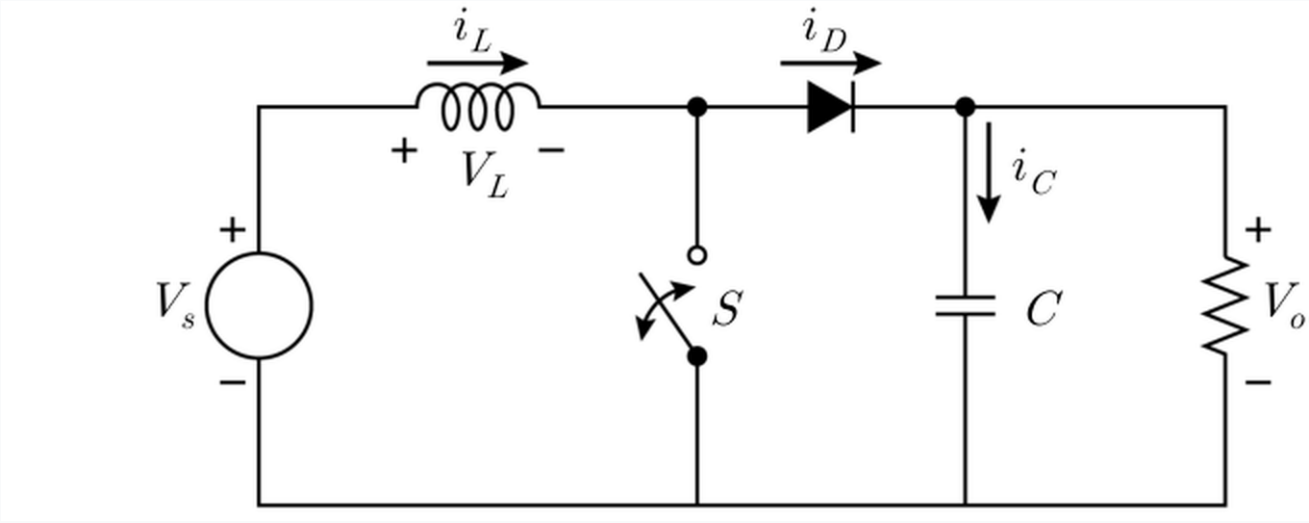
슬립 관련 선지가 나오면 리액턴스·전류·토크 각각이 슬립에 비례하는지 반비례하는지, 그리고 증가인지 감소인지를 따로따로 확인한다. 리액턴스 $X_{2s} = sX_{20}$와 전류 $I_2 \approx sE_{20}/R_2$는 저슬립 구간에서 모두 슬립에 비례해 '증가'한다는 점, 토크는 인가전압의 '제곱'에 비례한다는 점, 기동 시 슬립은 '1'이라는 점을 각각 개별 사실로 정리해 대조한다.

암기 포인트

저슬립 구간 근사: $X_{2s} = sX_{20}$ 증가, $I_2 \approx sE_{20}/R_2$ 증가(둘 다 슬립 비례 증가). 기동 시 슬립=1. 토크는 인가전압의 제곱에 비례($T \propto V^2$).

NoteBase

문 4. 다음 회로에서 스위치 S에 인가되는 시비율(Duty Ratio) D가 0.75이고 입력전압 V_s가 12[V]일 경우, 출력전압 V_o[V]는? (단, 스위치 및 다이오드의 전압강하는 무시한다)



① 8

② 24

③ 36

④ 48

정답 4번

출제 포인트

이 회로는 인덕터에 직렬로 전원이 연결되고, 스위치 S가 인덕터 뒤쪽 노드와 접지 사이에 병렬로 붙어 있으며, 스위치 노드 다음에 다이오드를 거쳐 커패시터와 부하로 이어지는 구조이다. 스위치가 켜지면 인덕터가 전원에 의해 충전되고, 스위치가 꺼지면 인덕터에 저장된 에너지가 다이오드를 통해 출력 쪽으로 전달되면서 입력전압보다 높은 전압이 출력되는 승압형(부스트) 컨버터이다. 이 문제는 시비율 D와 입력전압 V_s가 주어졌을 때 부스트 컨버터의 출력전압 V_o를 구하는 공식 적용 문제이다.

조건 정리

시비율(듀티비) $D = 0.75$, 입력전압 $V_s = 12$[V], 스위치와 다이오드의 전압강하는 무시한다. 회로 구성상 인덕터가 입력단과 스위치 노드 사이에 직렬로 있고 스위치가 접지로 빠지는 형태이므로 부스트 컨버터 토폴로지에 해당한다.

NoteBase

사용할 공식

부스트 컨버터는 정상상태에서 한 스위칭 주기 동안 인덕터 전압의 평균이 0이 되어야 한다는 볼트-초 평형 조건으로부터 출력전압을 구한다. 스위치가 켜져 있는 구간(DT)에는 인덕터 양단에 V_s가 걸려 충전되고, 스위치가 꺼져 있는 구간($(1-D)T$)에는 인덕터 전압이 $V_s - V_o$가 된다. 볼트-초 평형식은 $V_s \cdot D + (V_s - V_o) \cdot (1-D) = 0$ 이며 이를 정리하면 $V_o = \frac{V_s}{1-D}$ 이다.

계산 과정

주어진 값을 공식에 대입하면 $V_o = \frac{V_s}{1-D} = \frac{12}{1-0.75} = \frac{12}{0.25} = 48[\mathrm{V}]$ 이다. 시비율이 커질수록 분모가 작아져 출력전압이 입력전압보다 크게 증폭되는 부스트 컨버터의 특성과도 일치한다.

선지 판단

① 8 → V_s를 그대로 두고 $1-D$가 아니라 D를 곱하는 등 강압형 공식을 잘못 적용했을 때 나올 수 있는 값으로 틀린 값이다.
② 24 → V_s에 단순히 2배(예: $1/D$ 형태의 다른 변형)를 적용한 값으로 볼트-초 평형식을 정확히 세우지 않은 오답이다.
③ 36 → V_s에 3배를 곱한 값으로 $1/(1-D)$를 3으로 잘못 계산했을 때 나오는 오답이다.
④ 48 → $V_o = V_s/(1-D) = 12/0.25 = 48[\mathrm{V}]$로 정답이다.

오답 포인트

이 회로를 강압형(벅) 컨버터로 착각하면 $V_o = D \cdot V_s = 9[\mathrm{V}]$ 같은 엉뚱한 값을 얻게 되는데, 이 회로는 인덕터가 입력 쪽에 직렬로 있고 스위치가 인덕터 뒤에서 접지로 빠지는 구조이므로 승압형(부스트)이 맞다. 또한 $1-D$를 D로 잘못 대입하거나 분수를 거꾸로 계산하는 실수($V_s \times (1-D)$로 계산해 3을 얻는 등)를 조심해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

회로에서 인덕터가 전원과 직렬로 먼저 오고 스위치가 그 뒤 노드에서 접지로 빠지며 다이오드를 거쳐 출력 커패시터로 이어지는 구조이면 부스트 컨버터임을 먼저 확인한다. 그다음 볼트-초 평형식 $V_sD + (V_s - V_o)(1-D) = 0$을 세워 $V_o = V_s/(1-D)$를 유도해 대입하면 실수 없이 계산할 수 있다.

암기 포인트

부스트(승압) 컨버터: $V_o = \frac{V_s}{1-D}$ (항상 $V_o \geq V_s$). 벅(강압) 컨버터: $V_o = D \cdot V_s$ (항상 $V_o \leq V_s$)로 두 공식을 회로 구조와 함께 짝지어 기억해 둔다.

NoteBase

문 5. 2극, 3상 유도 전동기가 전원주파수 60[Hz], 입력 전력 15[kW], 상전류 20[A], 회전속도 3,564[rpm]로 부하 운전 중이다. 고정자 권선의 상저항이 0.2[Ω]라면, 회전자 동손[W]은? (단, 철손은 무시한다)

① 109.6

② 120.0

③ 147.6

④ 150.0

정답 3번

출제 포인트

3상 유도전동기의 입력 전력에서 고정자 동손을 빼서 공극(2차 입력) 전력을 구하고, 슬립을 곱해 회전자(2차) 동손을 구하는 능력을 묻는 문제이다. 동기속도 계산과 슬립 정의를 정확히 적용하는 것이 핵심이다.

조건 정리

극수 $P=2$, 전원주파수 $f=60\text{Hz}$, 입력 전력 $P_1=15\text{kW}$, 상전류 $I=20\text{A}$, 회전속도 $N=3{,}564\text{rpm}$, 고정자 상저항 $r_1=0.2\Omega$이고 철손은 무시한다.

사용할 공식

동기속도 $N_s=\frac{120f}{P}$, 슬립 $s=\frac{N_s-N}{N_s}$, 고정자(1차) 동손 $P_{c1}=3I^2r_1$, 공극 전력(2차 입력) $P_2=P_1-P_{c1}$, 회전자(2차) 동손 $P_{c2}=sP_2$.

계산 과정

동기속도는 $N_s=\frac{120\times 60}{2}=3600\text{rpm}$이다. 슬립은 $s=\frac{3600-3564}{3600}=\frac{36}{3600}=0.01$이다. 고정자 동손은 상전류가 20A이고 3상이므로 $P_{c1}=3\times 20^2\times 0.2=3\times 400\times 0.2=240\text{W}$이다. 공극 전력은 입력 전력에서 고정자 동손을 뺀 값이므로 $P_2=15{,}000-240=14{,}760\text{W}$이다. 회전자 동손은 공극 전력에 슬립을 곱한 값이므로 $P_{c2}=s\times P_2=0.01\times 14{,}760=147.6\text{W}$이다.

NoteBase

선지 판단

① 109.6 → 오답. 고정자 동손을 빼지 않고 입력 전력 전체에 슬립을 곱하거나 다른 값을 잘못 대입한 경우에 나올 수 있는 값으로, 공극 전력 계산이 정확하지 않다.
② 120.0 → 오답. 슬립을 곱하는 대상을 입력 전력(15,000W)으로 잘못 잡아 0.01 × 12,000 등으로 계산하거나 중간값을 혼동한 경우의 오답이다.
③ 147.6 → 정답. 입력 전력에서 고정자 동손 240W를 뺀 공극 전력 14,760W에 슬립 0.01을 곱한 값과 정확히 일치한다.
④ 150.0 → 오답. 고정자 동손을 빼지 않고 입력 전력 15,000W에 슬립 0.01을 그대로 곱하면 150W가 나오는데, 이는 고정자 동손을 반영하지 않은 계산이므로 틀린 값이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 입력 전력 15kW에 슬립을 바로 곱해 150W로 답하는 것인데, 이는 고정자 동손을 공제하지 않은 계산이다. 회전자 동손은 반드시 공극 전력(입력 전력에서 고정자 동손을 뺀 값)에 슬립을 곱해야 한다는 점을 놓치지 않아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

유도전동기 손실 문제는 항상 전력 흐름 순서로 접근한다. 입력 전력에서 고정자 동손(그리고 철손이 주어지면 철손까지)을 뺀 것이 공극 전력이고, 공극 전력에 슬립을 곱하면 회전자 동손, 나머지 $(1-s)$배가 기계적 출력이 된다는 순서를 그대로 따라가면 실수를 줄일 수 있다.

암기 포인트

동기속도 $N_s = 120f/P$, 슬립 $s = (N_s - N)/N_s$, 전력 흐름은 입력 전력 → (고정자 동손, 철손 공제) → 공극 전력 → (슬립 비율만큼 회전자 동손, 나머지는 기계적 출력)으로 이어진다는 것을 기억해 둔다.

NoteBase

문 6. 축 출력 93.5[kW], 4극, 60[Hz], 3상 유도 전동기가 전부하에서 회전속도 1,746[rpm]으로 운전되고 있다. 고정자 동손이 3[kW], 회전 손실(Rotational Loss)이 3.5[kW]라면, 축 출력과 입력 전력 간의 전동기 효율[%]은? (단, 철손은 회전손실에 포함된다)

① 88.5

② 90.8

③ 92.3

④ 93.5

정답 2번

출제 포인트

유도전동기의 전력 흐름(입력 전력 → 고정자 동손 → 공극 전력 → 회전자 동손 → 발생 기계적 동력 → 회전손실 → 축 출력)을 슬립과 함께 정리해 효율을 계산하는 문제이다. 축 출력에서 거꾸로 입력 전력까지 복원하는 순서가 핵심이다.

조건 정리

축 출력 $P_{out} = 93.5\text{kW}$, 극수 4극, 주파수 $f = 60\text{Hz}$, 회전속도 $N = 1{,}746\text{rpm}$, 고정자 동손 $P_{s,cu} = 3\text{kW}$, 회전손실(철손 포함) $P_{rot} = 3.5\text{kW}$이다.

사용할 공식

동기속도 $N_s = \frac{120f}{p}$, 슬립 $s = \frac{N_s - N}{N_s}$이다. 전력 흐름은 발생 기계동력 $P_{mech} = P_{out} + P_{rot}$, 공극 전력(2차 입력) $P_{ag} = \frac{P_{mech}}{1-s}$, 회전자 동손 $P_{r,cu} = sP_{ag}$, 입력 전력 $P_{in} = P_{ag} + P_{s,cu}$, 효율 $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$이다.

계산 과정

동기속도는 $N_s = \frac{120 \times 60}{4} = 1{,}800\text{rpm}$이다. 슬립은 $s = \frac{1{,}800 - 1{,}746}{1{,}800} = \frac{54}{1{,}800} = 0.03$이다. 발생 기계동력은 $P_{mech} = 93.5 + 3.5 = 97\text{kW}$이다. 공극 전력은 $P_{ag} = \frac{97}{1-0.03} = \frac{97}{0.97} = 100\text{kW}$이다. 입력 전력은 $P_{in} = P_{ag} + P_{s,cu} = 100 + 3 = 103\text{kW}$이다. 따라서 효율은 $\eta = \frac{93.5}{103} \times 100 \approx 90.8\%$이다.

NoteBase

선지 판단

① 88.5 — 회전손실을 두 번 빼거나 슬립을 반영하지 않고 단순히 축 출력에 고정자 동손과 회전손실만 더해 입력으로 오인하면 나오는 값이라 오답이다.
② 90.8 — 슬립 0.03을 반영해 공극 전력 100kW를 구하고 여기에 고정자 동손 3kW를 더한 103kW를 입력으로 잡아 계산한 값과 일치하므로 정답이다.
③ 92.3 — 회전자 동손을 누락하고 공극 전력을 발생 기계동력 97kW와 같다고 잘못 두면 나오는 값이라 오답이다.
④ 93.5 — 축 출력과 입력 전력을 같다고 착각해 효율을 100%에 가깝게 잘못 해석한 값으로 오답이다.

오답 포인트

회전손실(철손 포함)은 회전자 동손 이후 단계에서 빠지는 손실이므로 발생 기계동력 단계에서 먼저 더해 주어야 한다. 반대로 슬립을 곱해 나오는 회전자 동손은 공극 전력 단계에서 반영되며, 이 순서를 바꾸면 공극 전력과 입력 전력이 모두 틀어진다.

다시 나오면 이렇게 판단

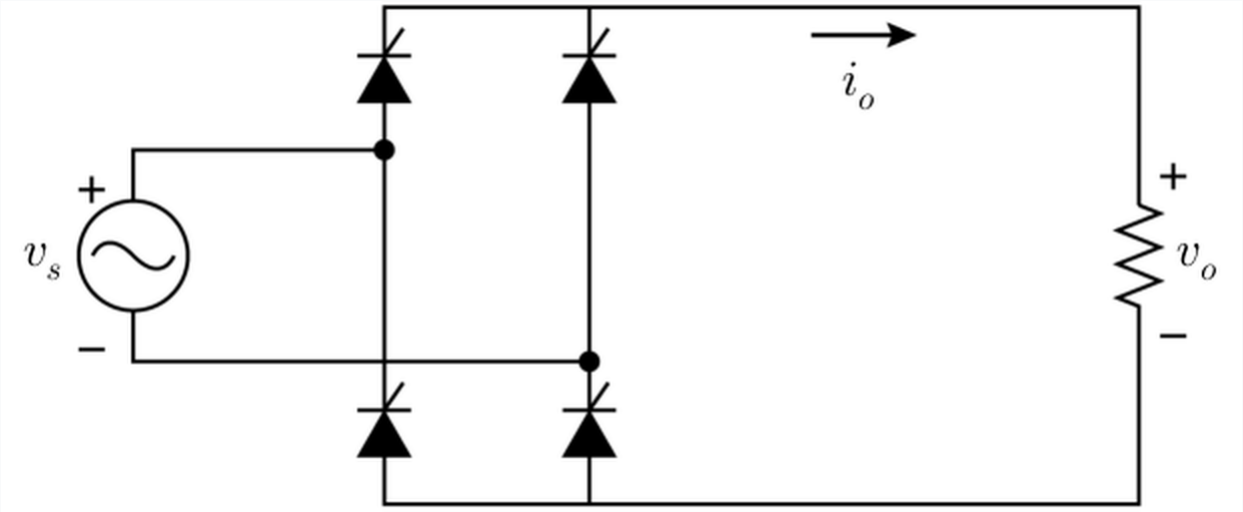
축 출력에서 입력 전력까지 거슬러 갈 때는 반드시 손실이 발생하는 순서의 역순으로 더해 간다: 축 출력에 회전손실을 더해 발생 기계동력을 얻고, 이를 $(1-s)$로 나누어 공극 전력을 얻은 뒤, 고정자 동손을 더해 입력 전력을 얻는다. 슬립은 동기속도와 실제 회전속도의 차이 비율로 가장 먼저 구해 둔다.

암기 포인트

전력 흐름 순서는 입력 전력 → 고정자 동손 → 공극 전력 → 회전자 동손(=슬립×공극 전력) → 발생 기계동력 → 회전손실 → 축 출력이며, 발생 기계동력은 공극 전력의 $(1-s)$배라는 관계를 기억해 둔다.

NoteBase

문 7. 다음 그림의 단상전파 위상제어 정류회로에서 전원전압 V_s는 200[V], 주파수 f는 60[Hz]이다. 사이리스터의 지연각 α가 60 °일 때, 출력전압 V_o의 최댓값[V]과 평균값[V]은? (단, 사이리스터에서의 전압강하는 무시한다)



① 최댓값: $100\sqrt{2}$, 평균값: $\frac{300\sqrt{2}}{\pi}$

② 최댓값: $100\sqrt{2}$, 평균값: $\frac{150\sqrt{2}}{\pi}$

③ 최댓값: $200\sqrt{2}$, 평균값: $\frac{300\sqrt{2}}{\pi}$

④ 최댓값: $200\sqrt{2}$, 평균값: $\frac{150\sqrt{2}}{\pi}$

정답 3번

출제 포인트

단상 전파 위상제어 정류회로(사이리스터 브리지, 저항 부하)에서 지연각 α가 주어졌을 때 출력전압의 최댓값과 평균값을 구하는 문제이다. 최댓값은 전원전압의 파고값에서, 평균값은 위상제어 정류 공식에서 각각 구한다.

조건 정리

전원전압 실효값 $V_s = 200$[V], 주파수 $f = 60$[Hz], 지연각 $\alpha = 60$ °이다. 사이리스터에서의 전압강하는 무시하므로 출력전압의 최댓값은 전원전압의 최댓값과 같다. 부하는 저항 부하이므로 출력전압은 각 반주기마다 α에서 도통을 시작해 π에서 전류(전압)가 0이 되고 다음 반주기의 α까지는 0을 유지한다.

사용할 공식

전원전압의 최댓값 $V_m = \sqrt{2}V_s$. 저항 부하인 단상 전파 위상제어 정류회로의 출력전압 평균값은 $V_{o,avg} = \frac{V_m(1+\cos\alpha)}{\pi}$로 구한다(도통 구간이 α~π로 제한되므로 유도성 부하에서 쓰는 $\frac{2V_m}{\pi}\cos\alpha$ 식과 다르다).

NoteBase

계산 과정

최댓값: $V_m = \sqrt{2} \times 200 = 200\sqrt{2}$[V].
평균값: $\cos 60^\circ = 0.5$이므로 $1 + \cos\alpha = 1.5$.
$V_{o,\,avg} = \frac{200\sqrt{2} \times 1.5}{\pi} = \frac{300\sqrt{2}}{\pi}$[V].

선지 판단

① 최댓값 100√2, 평균값 300√2/π → X: 최댓값이 200√2가 아니라 100√2로 잘못되었다. 전원전압 실효값 200V에 √2를 곱하지 않고 절반 값을 쓴 오류이다.
② 최댓값 100√2, 평균값 150√2/π → X: 최댓값과 평균값이 모두 계산과 다르다. 최댓값은 200√2가 맞고, 평균값도 300√2/π가 맞다.
③ 최댓값 200√2, 평균값 300√2/π → O: 계산 과정과 정확히 일치한다.
④ 최댓값 200√2, 평균값 150√2/π → X: 최댓값은 맞지만 평균값이 다르다. $1 + \cos\alpha = 1.5$를 적용해야 하는데 $\cos\alpha = 0.5$만 곱해 절반 크기로 계산한 오류로 보인다.

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 두 가지이다. 하나는 전원전압의 실효값 200V를 그대로 최댓값으로 착각하거나 √2를 잘못 곱해 100√2로 계산하는 것이다. 다른 하나는 저항 부하의 위상제어 정류회로 평균값 공식을 유도성 부하용 공식과 혼동해 $\frac{2V_m}{\pi}\cos\alpha$를 쓰는 것인데, 이 경우 도통 구간을 잘못 설정해 값이 절반 수준(150√2/π)으로 작게 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

단상 전파 위상제어 정류회로 문제를 보면 먼저 부하가 저항인지 유도성(인덕터 포함)인지를 확인한다. 저항 부하이면 도통 구간이 α~π로 제한되어 평균값 공식이 $\frac{V_m(1+\cos\alpha)}{\pi}$가 되고, 유도성 부하로 전류가 연속이면 $\frac{2V_m}{\pi}\cos\alpha$가 된다는 점을 구분해서 적용한다. 최댓값은 항상 전원전압의 파고값(실효값×√2)에서 시작한다.

암기 포인트

저항 부하 단상 전파 위상제어 정류: $V_{o,\,avg} = \frac{V_m(1+\cos\alpha)}{\pi}$. 유도성 부하(전류 연속) 단상 전파 위상제어 정류: $V_{o,\,avg} = \frac{2V_m}{\pi}\cos\alpha$. 최댓값은 사이리스터 전압강하를 무시하면 전원전압의 파고값과 같다.

NoteBase

문 8. 영구자석 전동기는 회전자에 부착되는 영구자석의 위치에 따라 표면 부착형(Surface-mounted) 영구자석 전동기와 매입형(Interior) 영구자석 전동기로 분류된다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고른 것은?

ㄱ. 매입형 영구자석 전동기는 릴럭턴스 토크를 이용 가능하나, 표면 부착형 영구자석 전동기는 릴럭턴스 토크를 이용할 수 없다.
ㄴ. 매입형 영구자석 전동기의 경우 q축 인덕턴스가 d축 인덕턴스보다 더 크다.
ㄷ. 매입형 영구자석 전동기의 릴럭턴스 토크를 이용하려면, 음(-)의 q축 전류를 고정자에 공급해야 한다.

① ㄴ
② ㄱ, ㄴ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 2번

출제 포인트

표면 부착형(SPM) 영구자석 전동기와 매입형(IPM) 영구자석 전동기의 자기적 구조 차이와, 그로부터 나오는 릴럭턴스 토크 이용 가능성·인덕턴스 대소 관계·전류 제어 방향을 정확히 구분할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

표면 부착형(SPM)은 영구자석이 회전자 표면에 붙어 있어 d축과 q축 방향의 자기저항(자로 길이)이 거의 같다. 이 경우 d축 인덕턴스 L_d와 q축 인덕턴스 L_q가 거의 같아서 $L_d \approx L_q$가 되고, 돌극성(saliency)이 없어 릴럭턴스 토크를 이용할 수 없다.
매입형(IPM)은 영구자석이 회전자 철심 내부에 묻혀 있다. 영구자석의 투자율은 공기(또는 결합 접착층)와 비슷하게 낮아 d축 자로에 큰 자기저항으로 작용하므로 L_d가 작아지고, 반대로 q축은 자석을 거치지 않고 철심을 통과하는 자로라 자기저항이 작아 L_q가 커진다. 그 결과 $L_q > L_d$인 돌극성이 생기고, 이 인덕턴스 차이를 이용한 릴럭턴스 토크를 자석 토크와 함께 활용할 수 있다.
전동기의 총 토크는 자석 토크와 릴럭턴스 토크의 합으로 표현되며, 릴럭턴스 토크 성분은 $T_{rel} \propto (L_d - L_q) i_d i_q$ 형태를 갖는다. IPM에서는 $L_d - L_q < 0$이므로, 통상적으로 $i_q > 0$인 전동 상태에서 릴럭턴스 토크가 양(+)의 방향으로 더해지려면 i_d가 음(-)이어야 한다. 즉 릴럭턴스 토크를 활용하려면 q축 전류가 아니라 d축 전류를 음(-)으로, 즉 계자를 약화시키는 방향으로 공급해야 한다(약자속 제어와 같은 맥락).

NoteBase

선지별 해설

ㄱ. 매입형은 릴럭턴스 토크를 이용할 수 있고 표면 부착형은 이용할 수 없다는 설명은 옳다(O). 표면 부착형은 $L_d \approx L_q$로 돌극성이 없어 릴럭턴스 토크가 발생하지 않고, 매입형은 자석 매입에 따른 $L_q > L_d$의 돌극성으로 릴럭턴스 토크를 이용할 수 있다.
ㄴ. 매입형 영구자석 전동기는 q축 인덕턴스가 d축 인덕턴스보다 크다는 설명은 옳다(O). 자석이 위치한 d축 자로는 자석의 낮은 투자율 때문에 자기저항이 크게 작용하여 L_d가 작고, 자석을 거치지 않는 q축 자로는 철심만 지나므로 자기저항이 작아 L_q가 크다. 따라서 $L_q > L_d$가 성립한다.
ㄷ. 매입형의 릴럭턴스 토크를 이용하려면 음(-)의 q축 전류를 공급해야 한다는 설명은 틀렸다(X) → 음(-)의 d축 전류를 공급해야 한다. 릴럭턴스 토크 성분은 $L_d - L_q$와 i_d, i_q의 곱에 비례하는데, IPM에서 $L_d - L_q < 0$이므로 통상적인 양(+)의 i_q와 함께 릴럭턴스 토크가 전동 방향(양의 토크)으로 작용하려면 i_d가 음(-)이어야 한다. q축 전류를 음으로 하면 오히려 자석 토크 자체가 감소하거나 역방향이 되어 릴럭턴스 토크 활용의 취지와 맞지 않는다.

오답 포인트

④(ㄱ,ㄴ,ㄷ)나 ③(ㄴ,ㄷ)을 고르는 오답은 ㄷ의 '음의 q축 전류'라는 표현을 '음의 d축 전류'와 혼동한 경우다. 릴럭턴스 토크 활용은 항상 d축(계자 자속을 형성하는 축) 전류의 부호 제어와 관련되며, q축 전류는 통상 자석 토크를 만드는 축으로 양(+)을 유지한다는 점을 구분해야 한다. ①(ㄴ)만 고르는 오답은 ㄱ의 '표면 부착형은 릴럭턴스 토크를 이용할 수 없다'는 서술을 과도하게 의심한 경우인데, 이는 SPM의 $L_d \approx L_q$ 특성상 명백히 맞는 서술이다.

다시 나오면 이렇게 판단

영구자석 전동기 문제에서는 먼저 '표면 부착형인가 매입형인가'를 확인하고, 매입형이면 자석이 d축 자로에 있어 L_d를 낮추고 L_q를 상대적으로 높인다는 구조를 떠올린다. 그다음 '릴럭턴스 토크를 쓰려면 어느 축 전류를 음으로 하는가'라는 질문이 나오면 무조건 d축이라고 판단하면 된다(q축이 아니다).

암기 포인트

SPM: $L_d \approx L_q$, 릴럭턴스 토크 없음. IPM: $L_q > L_d$, 릴럭턴스 토크 있음. 릴럭턴스 토크 활용 = 음(-)의 d축 전류(계자 약화 방향) 공급, q축 전류 아님.

NoteBase

문 9. 정격전압 100[V], 부하전류 52[A]일 때, 회전속도 1,800[rpm]인 직류 분권 전동기의 속도 변동률[%]은? (단, 전기자 저항은 0.02[Ω], 계자 저항은 50[Ω]이고, 전기자 반작용 및 브러시 접촉에 의한 전압강하는 무시한다)

① 0.60

② 0.81

③ 1.01

④ 1.22

정답 3번

출제 포인트

직류 분권 전동기의 속도 변동률을 구하는 문제이다. 속도 변동률은 부하 상태(전부하)와 무부하 상태의 회전속도를 비교하는 값이며, 분권 전동기는 계자 회로가 전기자와 독립적으로 전원에 병렬 연결되어 있어 부하 전류가 변해도 계자 전류(따라서 자속)가 거의 일정하게 유지된다는 점이 핵심이다.

조건 정리

정격전압 $V = 100\text{V}$, 부하전류(전기자+계자 합산) $I = 52\text{A}$, 전부하 회전속도 $N = 1{,}800\text{rpm}$, 전기자 저항 $R_a = 0.02\Omega$, 계자 저항 $R_f = 50\Omega$이다. 전기자 반작용과 브러시 접촉에 의한 전압강하는 무시하므로, 역기전력은 단순히 단자전압에서 전기자 저항 전압강하만 뺀 값으로 계산한다.

사용할 공식

분권 전동기에서 계자 전류는 $I_f = \frac{V}{R_f}$이고, 전기자 전류는 $I_a = I - I_f$이다. 역기전력은 $E_b = V - I_a R_a$이며, 자속이 일정하면 회전속도는 역기전력에 비례한다($N \propto E_b$). 속도 변동률은 $\varepsilon = \frac{N_0 - N}{N} \times 100[\%]$로 정의되며, 여기서 N_0는 무부하 회전속도, N은 전부하(정격) 회전속도이다.

계산 과정

계자 전류는 $I_f = \frac{100}{50} = 2\text{A}$이다. 전기자 전류는 $I_a = 52 - 2 = 50\text{A}$이다. 전부하 역기전력은 $E_b = 100 - 50 \times 0.02 = 100 - 1 = 99\text{V}$이다.

무부하 시에는 전기자 전류가 사실상 0에 가까워지므로 무부하 역기전력은 $E_{b0} \approx V = 100\text{V}$이다. 자속이 일정하므로 회전속도는 역기전력에 비례하여, $N_0 = N \times \frac{E_{b0}}{E_b} = 1{,}800 \times \frac{100}{99} \approx 1{,}818.18\text{rpm}$이 된다.

따라서 속도 변동률은 $\varepsilon = \frac{1{,}818.18 - 1{,}800}{1{,}800} \times 100 \approx 1.01[\%]$이다.

NoteBase

선지 판단

① 0.60 → X. 전기자 전류를 부하전류 52[A] 그대로 사용해 역기전력을 $100 - 52 \times 0.02 = 98.96$V로 잘못 계산하면 나오는 값과도 맞지 않으며, 계자 전류를 빼지 않고 계산을 단순화한 경우 등 중간 계산을 누락했을 때 나오는 오답이다.
② 0.81 → X. 전기자 저항 전압강하를 다른 기준(예: 부하전류 전체 기준)으로 잘못 적용했을 때 나올 수 있는 값으로, 실제 전기자 전류(50[A])를 사용하지 않은 오답이다.
③ 1.01 → O. 계자 전류를 분리해 전기자 전류 50[A]를 구하고, 전부하 역기전력 99[V]와 무부하 역기전력 100[V]의 비로 무부하 속도 1,818.18[rpm]을 구한 뒤 속도 변동률 공식에 대입하면 약 1.01[%]가 나온다.
④ 1.22 → X. 전기자 저항 전압강하를 실제보다 크게 적용하거나 속도 변동률 공식의 분모를 다르게 잡았을 때 나오는 값으로, 정확한 전기자 전류와 역기전력 계산 결과와 맞지 않는다.

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 부하전류 52[A]를 그대로 전기자 전류로 사용하는 것이다. 분권 전동기는 계자 회로가 전원에 병렬로 연결되므로, 부하전류(전원에서 공급되는 전체 전류) 중 계자 전류를 먼저 빼서 전기자 전류를 구해야 한다. 또한 속도 변동률의 분모는 항상 전부하(정격) 속도이지 무부하 속도가 아니라는 점도 자주 헷갈리는 부분이다.

다시 나오면 이렇게 판단

분권 전동기 속도 변동률 문제는 항상 다음 순서로 접근한다. 첫째, 계자 저항으로 계자 전류를 구해 부하전류에서 뺀다. 둘째, 전기자 전류와 전기자 저항으로 전부하 역기전력을 구한다. 셋째, 무부하 시 전기자 전류를 0으로 보고 무부하 역기전력을 단자전압과 같다고 둔다. 넷째, 자속 일정 가정 하에 역기전력 비로 무부하 속도를 구하고, 마지막으로 속도 변동률 공식에 대입한다.

암기 포인트

분권 전동기: 부하전류에서 계자 전류(V/R_f)를 빼야 전기자 전류가 나온다는 것을 기억해 둔다. 속도 변동률 공식 $\varepsilon = \frac{N_0 - N}{N} \times 100[\%]$에서 분모는 전부하 속도, 자속 일정 시 $N \propto E_b$라는 비례 관계를 함께 외워 둔다.

NoteBase

문 10. 극 피치가 0.2[m]인 선형 유도 전동기(Linear Induction Motor)에 10[Hz]의 전원이 인가되고 있다. 슬립 30[%]로 운전 중일 때, 선형 유도 전동기의 이동속도[m/s]는?

① 0.6

② 1.2

③ 1.4

④ 2.8

정답 4번

출제 포인트

선형 유도 전동기(LIM)는 회전형 유도 전동기의 회전자를 펼쳐 놓은 구조로, 회전형에서의 동기속도·회전속도 개념이 그대로 직선 이동속도 개념으로 대응된다. 이 문제는 극 피치와 주파수로 동기속도(이동자기장의 속도)를 구한 뒤, 슬립을 적용해 실제 이동속도를 구하는 계산 문제이다.

조건 정리

극 피치 $\tau = 0.2[\mathrm{m}]$, 전원 주파수 $f = 10[\mathrm{Hz}]$, 슬립 $s = 30[\%] = 0.3$이다.

사용할 공식

선형 유도 전동기의 동기속도(이동자기장 속도)는 $v_s = 2f\tau$이다. 회전형 유도 전동기의 동기속도 $N_s = \frac{120f}{P}$에서 극수 P에 대응하는 것이 극 피치이며, 극 하나를 지나는 데 반주기가 걸리므로 한 주기 동안 두 극 피치만큼 이동하여 $v_s = 2f\tau$가 된다. 실제 이동속도는 회전형에서의 $N = N_s(1 - s)$와 같은 방식으로 $v = v_s(1 - s)$로 구한다.

계산 과정

동기속도(이동자기장 속도)를 먼저 구하면 $v_s = 2f\tau = 2 \times 10 \times 0.2 = 4[\mathrm{m/s}]$이다. 슬립 $s = 0.3$을 적용하여 실제 이동속도를 구하면 $v = v_s(1 - s) = 4 \times (1 - 0.3) = 4 \times 0.7 = 2.8[\mathrm{m/s}]$이다.

선지 판단

① 0.6 → v_s나 슬립 적용 과정에서 계산을 잘못했을 때 나오는 값으로, 올바른 이동속도가 아니다.
② 1.2 → 동기속도 대신 슬립속도($v_s \times s = 4 \times 0.3 = 1.2$)를 이동속도로 착각한 값이다. 슬립속도는 동기속도와 실제속도의 차이일 뿐 실제 이동속도가 아니다.
③ 1.4 → 극 피치와 주파수를 곱하는 과정에서 배수 2를 빠뜨리는 등 계산 실수 시 나올 수 있는 값으로, 올바른 이동속도가 아니다.
④ 2.8 → $v_s = 2f\tau = 4[\mathrm{m/s}]$에 $v = v_s(1 - s) = 4 \times 0.7 = 2.8[\mathrm{m/s}]$로 정확히 일치하므로 옳다.

NoteBase

오답 포인트

가장 흔한 실수는 동기속도 공식에서 극 피치를 2배 하지 않고 $v_s = f\tau$로 계산하는 것과, 슬립속도($v_s \cdot s$)와 실제 이동속도($v_s(1-s)$)를 혼동하는 것이다. 슬립은 동기속도에 대한 지연 비율이므로, 실제 속도는 동기속도에서 슬립만큼 뺀 $(1-s)$배가 되어야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

선형 유도 전동기 문제는 회전형 유도 전동기의 공식을 그대로 대응시켜 푼다고 생각한다. 극수·회전수 대신 극 피치·이동속도가 쓰인다는 점만 바꾸면 된다. 동기(이동자기장) 속도를 먼저 구하고, 그 다음에 슬립을 곱해 실제 속도로 넘어가는 두 단계를 순서대로 밟는다.

암기 포인트

선형 유도 전동기의 이동자기장 속도는 $v_s = 2f\tau$(τ는 극 피치)이고, 실제 이동속도는 $v = v_s(1-s)$이다.
회전형의 $N_s = \frac{120f}{P}$, $N = N_s(1-s)$와 짝지어 기억해 둔다.

문 11. 6극, 정격 회전수 1,200[rpm]의 3상 동기 발전기와 병렬 운전하는 8극, 3상 동기 발전기의 정격 회전수[rpm]는?

① 800

② 900

③ 1,050

④ 1,100

정답 2번

출제 포인트

동기 발전기를 병렬 운전하려면 두 발전기가 같은 주파수로 회전해야 한다는 점을 이용해, 극수가 다른 두 동기기 사이의 회전수 관계를 구하는 문제이다. 동기 속도 공식 $N_s = \frac{120f}{P}$에서 극수 P와 회전수 N_s가 반비례 관계에 있고, 주파수 f는 병렬 운전 조건에 의해 두 기기에서 같다는 것이 핵심이다.

조건 정리

6극, 정격 회전수 1,200[rpm]인 3상 동기 발전기와 8극, 3상 동기 발전기가 병렬 운전을 하고 있다. 병렬 운전 중인 두 동기 발전기는 계통 주파수가 동일해야 하므로, 6극 발전기가 만드는 주파수와 8극 발전기가 만드는 주파수는 같다.

사용할 공식

동기 속도(회전수)와 극수, 주파수의 관계식은 $N_s = \frac{120f}{P}$이다. 여기서 N_s는 분당 회전수[rpm], f는 주파수[Hz], P는 극수이다. 이 식을 주파수에 대해 정리하면 $f = \frac{PN_s}{120}$이다.

계산 과정

먼저 6극, 1,200[rpm] 발전기가 만드는 주파수를 구하면 $f = \frac{PN_s}{120} = \frac{6 \times 1,200}{120} = 60$[Hz]이다. 병렬 운전 중이므로 8극 발전기도 같은 60[Hz]를 만들어야 한다. 이를 8극 발전기의 회전수 공식에 대입하면
$N_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 60}{8} = 900$[rpm]이다.

선지 판단

① 800 → X, 8극 발전기가 60[Hz]를 내려면 900[rpm]이어야 하므로 800[rpm]은 주파수가 60[Hz]에 미치지 못한다.
② 900 → O, $N_s = \frac{120 \times 60}{8} = 900$[rpm]으로 6극 발전기와 같은 60[Hz]를 만들어 병렬 운전 조건을 만족한다.
③ 1,050 → X, 이 값으로 계산하면 주파수가 60[Hz]를 넘어서 병렬 운전 조건인 동일 주파수를 만족하지 못한다.
④ 1,100 → X, 이 값 역시 60[Hz]보다 높은 주파수를 만들어 6극 발전기와 주파수가 어긋난다.

NoteBase

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 두 발전기의 회전수가 극수 비율만큼 그대로 반비례한다고 생각해 계산 없이 어림잡는 것이다. 극수와 회전수는 반비례하지만 그 매개가 되는 것은 항상 주파수이므로, 반드시 한쪽 발전기의 주파수를 먼저 구한 뒤 그 값을 공통 조건으로 삼아 다른 발전기의 회전수를 구해야 한다. 또한 병렬 운전 조건을 전압이나 위상 문제로 오인하지 않고 주파수 일치 조건으로 정확히 파악하는 것이 중요하다.

다시 나오면 이렇게 판단

병렬 운전하는 동기 발전기 문제가 나오면 가장 먼저 병렬 운전의 조건 중 주파수가 같아야 한다는 조건을 떠올린다. 이어서 극수와 회전수가 주어진 발전기 하나를 골라 $f = \frac{PN_s}{120}$로 주파수를 구하고, 그 주파수를 상대편 발전기의 극수와 함께 $N_s = \frac{120f}{P}$에 대입해 회전수를 구하는 순서로 접근한다.

암기 포인트

동기 속도 공식 $N_s = \frac{120f}{P}$을 기본으로 외워 둔다. 병렬 운전 중인 동기 발전기들은 극수가 달라도 주파수는 항상 같다는 점, 그리고 극수가 늘어날수록 같은 주파수를 내는 회전수는 줄어든다는 반비례 관계를 함께 정리해 둔다.

NoteBase

문 12. 동기 전동기의 제동 권선에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 주자극의 표면에 설치된 슬롯에 저항이 낮은 도체를 권선 후 전기자 권선과 직렬로 연결한다.

② 기동 시 유도전동기로 작용하여 기동토크를 발생한다.

③ 동기속도 이상으로 속도가 상승 시 발전기로 동작하여 제동력을 발생한다.

④ 동기속도 이하로 속도가 감소 시 전동기로 작용하여 회전력을 발생한다.

정답 1번

출제 포인트

동기 전동기의 제동 권선(damper winding)이 어떤 구조로 설치되고 어떻게 동작하는지를 묻는 문제이다. 제동 권선은 주자극(계자극) 표면의 슬롯에 저항이 낮은 도체를 넣고 양 끝을 도체 고리로 단락시켜 만든, 유도전동기의 농형(다람쥐장) 권선과 같은 형태의 권선이다. 이 권선이 전기자 권선과 회로적으로 연결되어 있는지, 아니면 독립적으로 단락되어 있는지가 핵심 쟁점이다.

핵심 개념

제동 권선은 전기자 권선과는 전혀 다른 별개의 회로이다. 주자극 표면 슬롯에 저항이 낮은 도체봉을 넣고 양단을 단락환으로 단락시켜 놓은 유도기형 권선으로, 전기자 권선과 전기적으로 직렬 연결되지 않는다.
기동 시에는 동기 전동기가 아직 동기속도에 이르지 못한 상태이므로, 회전자기장과 제동 권선 사이에 상대속도(슬립)가 생겨 제동 권선에 유도전류가 흐르고, 이로 인해 유도전동기와 같은 원리로 기동토크가 발생한다.
부하 급변이나 외란으로 회전자 속도가 동기속도보다 빨라지면 제동 권선은 발전기처럼 작용해 속도를 낮추는 방향의 제동력(억제력)을 발생시키고, 반대로 동기속도보다 느려지면 전동기처럼 작용해 속도를 끌어올리는 방향의 토크를 발생시킨다. 이 작용 때문에 난조(hunting) 방지 권선이라고도 부른다.

선지별 해설

① X — 제동 권선은 저항이 낮은 도체를 주자극 표면 슬롯에 권선한 뒤 양 끝을 단락환으로 단락시켜 폐회로를 구성하는 것이지, 전기자 권선과 직렬로 연결하는 것이 아니다. 전기자 권선과 회로적으로 연결되면 유도전동기 원리에 따른 상대속도 유기전류 동작이 성립하지 않으므로 틀린 설명이다. → 올바른 표현: 도체 양단을 단락환으로 단락시켜 독립된 폐회로(농형 구조)로 구성한다.
② O — 기동 시에는 회전자가 정지 또는 저속 상태이므로 제동 권선과 회전자기장 사이에 슬립이 존재하고, 이때 유도전동기와 동일한 원리로 제동 권선에 전류가 유기되어 기동토크가 발생한다.
③ O — 부하 변동 등으로 회전 속도가 동기속도보다 높아지면 제동 권선이 발전기적으로 작용하여 속도를 낮추는 방향의 제동력을 발생시켜 난조를 억제한다.
④ O — 반대로 회전 속도가 동기속도보다 낮아지면 제동 권선이 전동기적으로 작용하여 속도를 높이는 방향의 회전력(토크)을 발생시켜 동기속도로 복귀시키려 한다.

NoteBase

오답 포인트

제동 권선의 연결 방식을 전기자 권선과의 직렬 연결로 잘못 암기하면 ①을 옳은 설명으로 오판하기 쉽다. 제동 권선은 전기자 회로와 무관하게 계자극 표면에 독립적으로 단락시켜 놓은 폐회로라는 점을 분명히 구분해야 한다. 또한 ③·④는 방향이 반대로 서술되어 있지 않은지(속도 상승 시 발전기 동작, 속도 하강 시 전동기 동작) 세밀하게 대조하며 읽어야 함정에 걸리지 않는다.

다시 나오면 이렇게 판단

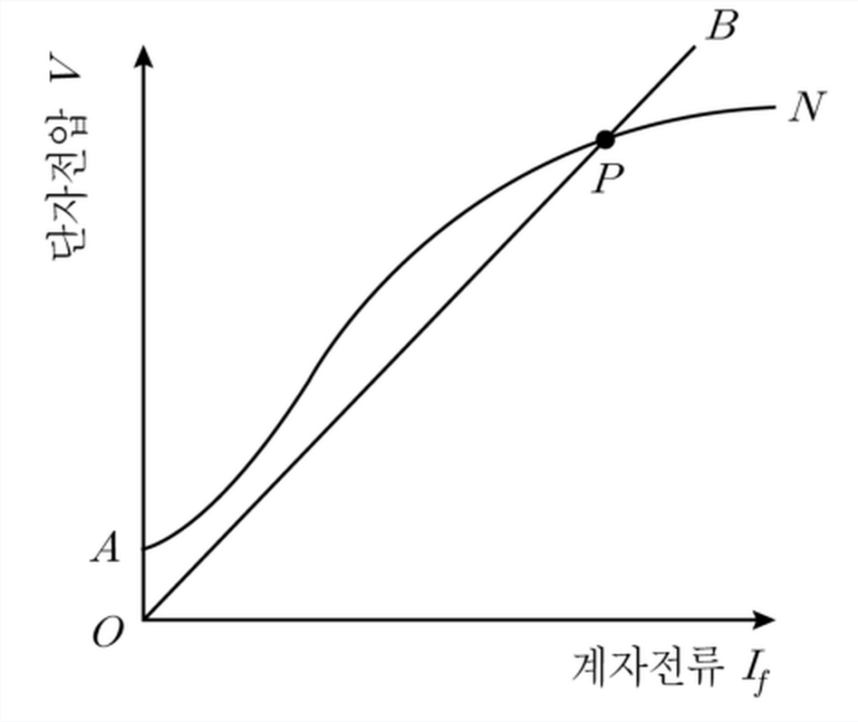
제동 권선 관련 선지가 나오면 먼저 '전기자 권선과 직렬/병렬로 연결한다'는 서술이 있는지부터 확인한다. 제동 권선은 전기자 권선과 회로적으로 연결되지 않는 독립된 단락 권선이므로, 그런 연결 서술이 있으면 바로 틀린 선지로 판단한다. 이어서 기동 시(유도전동기 작용·기동토크), 초과속 시(발전기 작용·제동력), 저속 시(전동기 작용·가속토크)의 세 가지 동작을 속도 조건과 함께 짝지어 확인한다.

암기 포인트

제동 권선 = 주자극 표면 슬롯 + 저항 낮은 도체 + 양단 단락환 단락(농형 구조, 전기자 권선과 무관). 동작 3가지: 기동 시(슬립 발생)→유도전동기처럼 기동토크 발생, 동기속도 초과 시→발전기 작용으로 제동력 발생, 동기속도 미달 시→전동기 작용으로 가속토크 발생. 별칭은 난조 방지 권선이다.

NoteBase

문 13. 다음 그림은 직류 분권 발전기의 특성곡선이다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?



① 이 발전기는 *P*점에서 전압이 확립된다.

② 곡선 *AN*은 무부하 상태에서 회전수를 일정하게 유지하고 계자에 유입되는 전류의 크기를 가변시켜 구한 곡선이다.

③ 계자전류가 0인 경우에 $\overline{OA}$ 전압은 계자극의 잔류자속에 의해 발생한다.

④ 계자 권선과 직렬로 접속된 저항기를 조절하여 계자저항을 높이면 $\overline{OB}$의 직선 기울기가 작아진다.

정답 4번

출제 포인트

직류 분권 발전기의 전압 확립 원리와 무부하 포화곡선(AN), 계자저항선(OB)의 관계를 정확히 읽어내는 문제이다. 계자저항을 조절했을 때 OB 직선의 기울기가 어느 방향으로 변하는지가 핵심이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 분권 발전기는 잔류자속으로 생긴 미소 전압이 계자권선에 전류를 흘리고, 이 전류가 다시 자속을 늘려 전압을 키우는 과정을 되풀이하며 무부하 포화곡선(AN)과 계자저항선(OB)이 만나는 P점에서 전압 상승이 멈추고 안정된다. 이를 전압 확립이라 하며 그 지점이 P이므로 옳은 설명이다.
② O: 곡선 AN은 원동기 회전수를 일정하게 유지한 상태에서 계자전류만 바꾸어 가며 무부하 단자전압을 측정해 얻는 무부하 포화곡선(무부하 특성곡선)이다. 정의 그대로이므로 옳은 설명이다.
③ O: 계자전류가 0이어도 계자철심에는 잔류자속이 남아 있어 전기자가 회전하면 이 잔류자속에 의해 작은 기전력이 유도되고, 그 값이 그래프의 OA 구간 전압이다. 잔류자속에 의한 전압이라는 설명은 옳다.
④ X: OB는 원점을 지나는 계자저항선으로, 그 기울기는 계자저항 값과 같다(V=If·Rf에서 기울기=Rf). 계자권선에 직렬로 넣은 저항기를 조절해 계자저항을 높이면 같은 계자전류에 대해 필요한 전압이 커지므로 직선은 더 가파르게 서고, 기울기는 오히려 커진다. "기울기가 작아진다"는 설명은 사실과 반대이므로 옳지 않은 설명이다.

오답 포인트

계자저항을 높이면 그래프상 직선(OB)이 가로축 쪽으로 눕는다고 잘못 떠올리기 쉽다. 그러나 세로축이 전압, 가로축이 계자전류이므로 저항이 커질수록 같은 전류를 흘리는 데 더 큰 전압이 필요해져 직선은 세로축 쪽으로 서고 기울기는 커진다. 기울기와 저항값이 비례한다는 점을 반대로 외우면 이 문제에서 걸린다.

다시 나오면 이렇게 판단

무부하 포화곡선과 계자저항선이 함께 나오는 그림에서는 먼저 두 축이 각각 무엇인지(세로=단자전압, 가로=계자전류)를 확인하고, 계자저항선의 기울기가 곧 저항값이라는 관계(V=If·Rf)를 기준으로 저항 증감에 따른 기울기 변화를 판단한다. 전압 확립점(P)은 두 곡선의 교점이라는 것도 함께 기억해 둔다.

암기 포인트

전압 확립점=무부하 포화곡선과 계자저항선의 교점(P). 잔류전압(OA)=잔류자속에 의한 기전력. 계자저항선의 기울기=계자저항 값이므로 저항이 커지면 기울기도 커진다(작아지지 않는다).

NoteBase

문 14. 회전수 600[rpm]으로 회전하는 직류 타여자 전동기에 전기 동력계를 연결하여 측정할 때, 전기 동력계의 저울이 5[kg]를 가리켰다. 이 전동기의 출력[W]은? (단, 전기 동력계의 암 길이는 0.6[m]이다)

① 6.1π

② 60π

③ 588π

④ 980π

정답 3번

출제 포인트

전기 동력계(prony brake 방식의 전기식 동력계)로 측정한 저울 눈금과 암(arm) 길이로부터 전동기의 축 토크를 구하고, 회전수로부터 각속도를 구해 출력을 계산하는 문제이다. 저울이 가리키는 값은 힘이 아니라 질량(무게)이므로 중력가속도를 곱해 힘으로 바꾸는 과정과, rpm을 rad/s로 바꾸는 과정 두 가지를 모두 정확히 거쳐야 한다.

조건 정리

회전수 $N = 600$[rpm], 저울 눈금(질량) $m = 5$[kg], 동력계 암 길이 $L = 0.6$[m], 중력가속도 $g = 9.8$[m/s^2]로 둔다.

사용할 공식

동력계에 걸리는 힘 $F = mg$, 축 토크 $T = F \times L$, 각속도 $\omega = \frac{2\pi N}{60}$, 출력 $P = T\omega$이다.

계산 과정

힘은 $F = mg = 5 \times 9.8 = 49$[N]이다. 토크는 $T = F \times L = 49 \times 0.6 = 29.4$[N · m]이다. 각속도는 $\omega = \frac{2\pi \times 600}{60} = 20\pi$[rad/s]이다. 따라서 출력은 $P = T\omega = 29.4 \times 20\pi = 588\pi$[W]이다.

선지 판단

① 6.1π → 틀림: 이 값은 자릿수를 크게 잘못 계산했을 때 나오는 값이며 실제 출력과 맞지 않는다.
② 60π → 틀림: 중력가속도를 곱하지 않고 질량 5[kg]을 그대로 힘으로 써서 토크를 3[N · m]으로 잘못 구하면 나오는 값이다(무게가 아닌 질량을 힘으로 착각한 오답).
③ 588π → 옳음: $T = mgL = 29.4$[N · m], $\omega = 20\pi$[rad/s]를 정확히 곱한 값과 일치한다.
④ 980π → 틀림: 암 길이 0.6[m]을 곱하는 과정을 빠뜨리고 힘 49[N]에 각속도만 곱하면 나오는 값으로, 토크 계산 단계가 누락된 오답이다.

NoteBase

오답 포인트

이 문제의 함정은 두 가지이다. 첫째, 저울 눈금 5[kg]은 무게(질량)이므로 힘으로 바꾸려면 반드시 중력가속도 9.8을 곱해야 하는데 이를 빠뜨리면 ②가 나온다. 둘째, 토크를 구하는 단계에서 암 길이 0.6[m]을 곱하는 것을 빠뜨리면 ④가 나온다. 두 단계(질량→힘, 힘→토크) 중 하나라도 빠뜨리면 오답으로 이어진다는 점을 유의해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

전기 동력계 문제는 항상 '저울 눈금(질량, kg) → 힘(N, ×g) → 토크(N·m, ×암 길이) → 각속도(rad/s, ×2πN/60) → 출력(W, T×ω)'의 순서로 단계를 나누어 계산한다. 각 단계의 단위를 하나씩 확인하면서 곱셈을 빠뜨리지 않는 것이 핵심이다.

암기 포인트

전기 동력계 출력 공식은 $P = mgL \times \frac{2\pi N}{60}$으로 한 번에 외워 둔다. 여기서 m은 저울 눈금(질량), L은 암 길이, N은 분당 회전수이다.

NoteBase

문 15. 백분율 저항 강하가 3[%], 백분율 리액턴스 강하가 4[%]인 단상 변압기에서 전압변동률이 최대가 되는 부하 역률과 전압변동률이 최소가 되는 부하 역률은? (단, 리액턴스 부하는 유도성이다)

① 전압변동률이 최대가 되는 부하 역률: 0.6, 전압변동률이 최소가 되는 부하 역률: 1.0

② 전압변동률이 최대가 되는 부하 역률: 0.6, 전압변동률이 최소가 되는 부하 역률: 0.8

③ 전압변동률이 최대가 되는 부하 역률: 0.8, 전압변동률이 최소가 되는 부하 역률: 1.0

④ 전압변동률이 최대가 되는 부하 역률: 0.8, 전압변동률이 최소가 되는 부하 역률: 0.6

정답 2번

출제 포인트

백분율 저항강하 p와 백분율 리액턴스강하 q가 주어졌을 때, 전압변동률 ε이 부하 역률(지상)에 따라 어떻게 변하는지, 그리고 ε이 최대·최소가 되는 부하 역률 값을 구하는 문제이다. 근사식 $\varepsilon \approx p\cos\theta + q\sin\theta$에서 극값 조건을 다루는 전형적인 변압기 전압변동률 문제이다.

조건 정리

백분율 저항 강하 $p = 3[\%]$, 백분율 리액턴스 강하 $q = 4[\%]$인 단상 변압기이다. 지상(유도성) 역률에서는 근사식이 $\varepsilon \approx p\cos\theta + q\sin\theta$이고, 진상(용량성) 역률에서는 리액턴스강하 항의 부호가 바뀌어 $\varepsilon \approx p\cos\theta - q\sin\theta$가 된다. 전압변동률이 최대가 되는 역률은 지상 부하에서, 전압변동률이 0(최소)이 되는 역률은 진상 부하에서 나타난다.

사용할 공식

전압변동률 근사식은 $\varepsilon \approx p\cos\theta + q\sin\theta$이다. 이 값이 최대가 되는 조건은 $\frac{d\varepsilon}{d\theta} = -p\sin\theta + q\cos\theta = 0$, 즉 $\tan\theta = \frac{q}{p}$이며, 이를 만족하는 부하 역률은 $\cos\theta = \frac{p}{\sqrt{p^2+q^2}}$(지상), 이때의 최대 전압변동률은 $\varepsilon_{\max} = \sqrt{p^2+q^2}$ 이다. 한편 전압변동률이 0(최소)이 되는 역률은 진상 부하에서 $p\cos\theta - q\sin\theta = 0$, 즉 $\tan\theta = \frac{p}{q}$일 때이며, 이때 부하 역률은 $\cos\theta = \frac{q}{\sqrt{p^2+q^2}}$이다.

계산 과정

$\sqrt{p^2+q^2} = \sqrt{3^2+4^2} = \sqrt{9+16} = \sqrt{25} = 5$이다. 전압변동률이 최대가 되는 부하 역률은 $\cos\theta_{\max} = \frac{p}{\sqrt{p^2+q^2}} = \frac{3}{5} = 0.6$이고, 이때 최대 전압변동률은 $\varepsilon_{\max} = 5[\%]$이다. 전압변동률이 0(최소)이 되는 부하 역률은 진상 부하에서 $p\cos\theta = q\sin\theta$, 즉 $\tan\theta = \frac{p}{q} = \frac{3}{4}$일 때이며, 이때 $\cos\theta = \frac{q}{\sqrt{p^2+q^2}} = \frac{4}{5} = 0.8$ 이다(이 역률에서 $3 \times 0.8 - 4 \times 0.6 = 0$으로 전압변동률이 0이 된다). 정리하면 최대가 되는 부하 역률은 0.6(지상), 최소가 되는 부하 역률은 0.8(진상)이다.

NoteBase

선지 판단

① 최대 0.6, 최소 1.0 → 최대가 되는 역률 0.6은 맞다. 다만 '최소'를 지상 부하에서 전압변동률이 가장 작아지는 값으로 오해하면 역률 1.0을 고르기 쉬운데, 이 문제에서 최소가 되는 역률은 전압변동률이 0이 되는 진상 역률 0.8이므로 1.0은 틀린 값이다.
② 최대 0.6, 최소 0.8 → 최대가 되는 부하 역률 $p/\sqrt{p^2+q^2}=0.6$(지상)과 전압변동률이 0이 되는 진상 역률 $q/\sqrt{p^2+q^2}=0.8$이 모두 일치하므로 옳은 조합이다.
③ 최대 0.8, 최소 1.0 → 최대가 되는 부하 역률이 0.8이 아니라 0.6이므로 틀린 조합이다.
④ 최대 0.8, 최소 0.6 → 두 값이 모두 뒤바뀐 조합이므로 틀리다.

오답 포인트

많이 하는 실수는 p와 q를 그대로 역률로 착각하거나(3, 4를 그대로 0.3, 0.4처럼 쓰는 오류), $\cos\theta_{\max}=p/\sqrt{p^2+q^2}$ 공식에서 분자에 q를 넣어 최대·최소 값을 서로 바꿔 쓰는 것이다. 최대가 되는 지상 역률의 분자는 저항강하 p로 0.6, 전압변동률이 0이 되는 진상 역률은 분자가 리액턴스강하 q로 0.8이라는 점을 혼동하지 않아야 한다. 또한 '최소가 되는 역률'을 지상 부하에서의 최솟값(역률 1.0)으로 오해하기 쉬운데, 여기서 최소는 전압변동률이 0이 되는 진상 역률 0.8을 뜻한다.

다시 나오면 이렇게 판단

p, q가 주어지면 먼저 $\sqrt{p^2+q^2}$를 구하고, $p/\sqrt{p^2+q^2}$을 전압변동률이 최대가 되는 지상 역률로, $q/\sqrt{p^2+q^2}$을 전압변동률이 0(최소)이 되는 진상 역률로 각각 대응시킨다. 3, 4, 5의 직각삼각형 비율이 나오면 계산 없이 0.6과 0.8을 바로 떠올릴 수 있어야 한다.

암기 포인트

전압변동률 최대가 되는 지상 역률: $\cos\theta=\frac{p}{\sqrt{p^2+q^2}}$, 이때 $\varepsilon_{\max}=\sqrt{p^2+q^2}$. 전압변동률이 0(최소)이 되는 진상 역률: $\cos\theta=\frac{q}{\sqrt{p^2+q^2}}$. 이 문제의 3, 4, 5 조합에서는 최대 역률 0.6, 최소 역률 0.8로 바로 외워 둔다.

NoteBase

문 16. 400 [kVA] 변압기가 153 [kW], 역률 0.9의 부하에 연결되어 이미 구동 중이다. 이 변압기의 잔여용량에 대한 부하율을 75 [%] 이하로 유지하면서, 변압기 용량을 증설하지 않고 추가로 사용할 수 있는 부하 중 가장 큰 것은?

① 역률 1로 동작하는 180 [kW] 정격의 동기 전동기

② 역률 0.9로 동작하는 200 [HP] 정격의 유도 전동기

③ 175 [kVA] 용량의 전기 설비

④ 1,000 [V], 160 [A], 역률 1로 운전되는 부하

정답 2번

출제 포인트

변압기 정격용량과 기존 부하의 피상전력을 먼저 구해 잔여용량을 산출하고, 그 잔여용량에 대해 부하율 75% 이하라는 조건을 만족하는 추가 부하(피상전력 기준)를 선지 중에서 골라내는 문제이다. 선지마다 단위가 kW, HP, kVA, V·A로 제각각이므로 전부 피상전력(kVA)으로 환산해 같은 기준으로 비교하는 것이 핵심이다.

조건 정리

변압기 정격용량은 400 kVA이다. 기존 부하는 유효전력 153 kW, 역률 0.9로 운전 중이다. 잔여용량에 대한 부하율(추가 부하의 피상전력 ÷ 잔여용량)을 75% 이하로 유지해야 한다.

사용할 공식

피상전력과 유효전력, 역률의 관계는 $S = \frac{P}{\cos\theta}$이다. 잔여용량은 S_잔여=S_정격-S_기존이며, 추가로 사용 가능한 최대 피상전력은 S_추가,최대=S_잔여× 0.75이다. 3상 부하의 피상전력은 $S = \sqrt{3}VI$로 구하고, 1 HP는 약 0.746 kW로 환산한다.

계산 과정

기존 부하의 피상전력은 $S_1 = \frac{153}{0.9} = 170$ kVA이다. 잔여용량은 $400 - 170 = 230$ kVA이고, 이 잔여용량에 대해 부하율 75% 이하를 유지하려면 추가 부하의 피상전력이 $230 \times 0.75 = 172.5$ kVA를 넘지 않아야 한다. 이제 선지별 피상전력을 구하면 다음과 같다. ① 역률 1이므로 유효전력과 피상전력이 같아 180 kVA이다. ② 200 HP를 kW로 환산하면 $200 \times 0.746 \approx 149.2$ kW이고, 역률 0.9이므로 $S = \frac{149.2}{0.9} \approx 165.8$ kVA이다. ③ 175 kVA로 그대로 주어져 있다. ④ 3상 부하로 보아 $S = \sqrt{3} \times 1000 \times 160 \approx 277{,}100$ VA ≈ 277.1 kVA이다.

NoteBase

선지 판단

① X — 180 kVA는 허용치 172.5 kVA를 초과하므로 추가로 사용할 수 없다.
② O — 약 165.8 kVA로 허용치 172.5 kVA 이내이며, 조건을 만족하는 선지 중 유일하게 남는 부하이므로 정답이다.
③ X — 175 kVA는 허용치 172.5 kVA를 근소하게 초과하므로 사용할 수 없다.
④ X — 3상 부하로 계산하면 약 277.1 kVA에 달해 허용치를 크게 초과하므로 사용할 수 없다.

오답 포인트

①과 ③은 계산된 값이 172.5 kVA를 넘는지 여부만 확인하면 되는데도, kW와 kVA를 구분하지 않고 숫자만 비교하면 잘못 판단하기 쉽다. ④는 전압·전류가 주어질 때 상수(단상/3상)를 놓치면 피상전력을 실제보다 훨씬 작게 계산해 조건을 만족한다고 오판할 수 있다. ②는 HP를 kW로 환산하는 계수(약 0.746)를 빠뜨리거나 잘못 적용하면 피상전력이 커져 조건을 만족하지 못하는 것으로 잘못 판단할 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

변압기 잔여용량 문제는 항상 기존 부하의 피상전력부터 구하고, 정격용량에서 뺀 잔여용량에 주어진 부하율(%)을 곱해 허용 가능한 추가 피상전력의 최댓값을 먼저 계산해 둔다. 그 다음 선지들을 전부 같은 단위(kVA)로 환산해 그 허용치와 하나씩 비교하면 빠르고 정확하게 판단할 수 있다.

암기 포인트

피상전력 $S = \frac{P}{\cos\theta}$, 잔여용량 = 정격용량 − 기존 피상전력, 허용 추가용량 = 잔여용량 × 부하율이다. 1 HP ≈ 0.746 kW, 3상 피상전력은 $S = \sqrt{3}VI$임을 기억해 둔다.

NoteBase

문 17. 3,000/300[V], 30[kVA]인 단상 변압기에서, 2차 단락전류 200[A]이 흐를 때의 1차 단자 전압이 600[V]이라면, 이 변압기의 백분율 임피던스 강하[%]는?

① 25

② 20

③ 15

④ 10

정답 4번

출제 포인트

변압기의 단락시험(임피던스 와트 시험)에서 얻은 전압·전류 값으로 백분율 임피던스 강하(%Z)를 구하는 문제이다. 단락시험에서 흘린 전류가 정격전류와 다를 때, 이를 정격전류 기준으로 환산한 뒤 %Z를 계산하는 절차가 핵심이다.

조건 정리

변압기 정격은 3,000/300[V], 30[kVA]인 단상 변압기이다. 2차 정격전류는 $I_{2n} = \frac{30{,}000}{300} = 100$[A]이다. 단락시험에서 2차 단락전류가 200[A] 흐를 때 1차 단자 전압이 600[V]로 측정되었으며, 1차 정격전압은 3,000[V]이다.

사용할 공식

임피던스 전압(강하)은 정격전류를 흘렸을 때 필요한 인가전압이며, 변압기 내부 임피던스는 전류에 비례하여 전압강하가 커지는 선형 관계이므로 V_s(정격) = V_s(시험) × (I_n)/(I_시험)로 환산한다. 이후 백분율 임피던스 강하는 \%Z = (V_s(정격))/(V_n) × 100로 구한다(여기서 V_n은 인가측인 1차 정격전압).

계산 과정

2차 정격전류는 $I_{2n} = \frac{30{,}000}{300} = 100$[A]이다. 시험 시 2차 전류 200[A]는 정격전류의 2배이므로, 정격전류(100[A])에서 필요한 1차 전압은 V_s(정격) = 600 × (100)/(200) = 300[V]이다. 따라서 백분율 임피던스 강하는 $\%Z = \frac{300}{3{,}000} \times 100 = 10$[%]이다.

NoteBase

선지 판단

① 25 → 오답. 단락시험 전류(200A)를 그대로 정격전류로 취급하여 $\frac{600}{3{,}000} \times 100 = 20$을 구한 뒤 추가로 잘못 조작한 값이거나 다른 오산 결과이며, 전류 환산 과정을 거치지 않은 오답이다.
② 20 → 오답. 시험전류 200A를 정격전류로 착각하여 $\frac{600}{3{,}000} \times 100 = 20$으로 계산한 값으로, 정격전류(100A) 기준으로 재환산하지 않은 오답이다.
③ 15 → 오답. 전류비를 절반이 아닌 다른 비율로 잘못 적용했을 때 나오는 값으로, 정격전류 환산을 정확히 하지 않은 오답이다.
④ 10 → 정답. 시험전류(200A)를 정격전류(100A) 기준으로 절반으로 환산한 전압 300V를 1차 정격전압 3,000V로 나누어 얻은 값으로, 계산 과정이 정확히 일치한다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 단락시험에서 흘린 전류(200A)를 정격전류로 착각하는 것이다. 2차 정격전류는 100A이므로 시험전류는 정격의 2배이며, 임피던스 전압은 전류에 비례하므로 시험 시 측정된 600V를 그대로 쓰면 안 되고 반드시 정격전류 기준으로 절반(300V)으로 환산해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

단락시험 관련 문제를 보면 먼저 권선의 정격전류를 계산하고, 시험 시 흘린 전류가 정격전류의 몇 배인지 확인한다. 배수만큼 측정 전압을 나누어 정격전류 기준 임피던스 전압으로 환산한 다음, 그 값을 해당 측(전압을 인가한 쪽)의 정격전압으로 나누어 백분율로 표시하면 %Z를 구할 수 있다.

암기 포인트

%Z는 정격전류를 흘렸을 때 필요한 인가전압을 정격전압으로 나눈 백분율이며, 임피던스는 선형이므로 전류가 다르면 전압도 같은 비율로 환산해야 한다는 점을 기억해 둔다.

NoteBase

문 18. 단상 탭 전환 변압기의 2차측 $110[V]$ 단자에 $2[\Omega]$의 저항을 접속하고, 1차측에 $1{,}250[V]$을 인가했을 때, 1차 전류가 $1[A]$ 흘렀다. 이때 2차측 전류$[A]$는? (단, 변압기의 내부 임피던스 및 손실은 무시한다)

① 15

② 20

③ 25

④ 30

정답 3번

출제 포인트

변압기의 내부 임피던스와 손실을 무시하는 이상적인 조건에서는 1차측 유효전력과 2차측 유효전력이 같다는 전력 보존 관계가 성립한다. 이 문제는 이 전력 보존 관계와 2차측 저항에 대한 옴의 법칙을 함께 적용해 2차 전류를 구하는 계산 문제이다. 단자에 표시된 '110V'라는 값은 탭의 정격 표시일 뿐이며, 저항 부하가 접속된 실제 운전 상태에서 2차 전압은 부하 전류와 저항값에 의해 다시 결정된다는 점이 핵심이다.

조건 정리

1차 인가 전압 $V_1 = 1250\text{V}$, 1차 전류 $I_1 = 1\text{A}$, 2차측에 접속된 저항 $R = 2\Omega$, 변압기의 내부 임피던스와 손실은 무시(이상적인 변압기로 취급).

사용할 공식

이상적인 변압기는 손실이 없으므로 1차 유효전력과 2차 유효전력이 같다: $V_1 I_1 = V_2 I_2$. 또한 2차측은 순저항 부하이므로 옴의 법칙이 성립한다: $V_2 = I_2 R$.

계산 과정

옴의 법칙 식을 전력 보존식에 대입하면 $V_1 I_1 = (I_2 R) I_2 = I_2^2 R$이 된다. 이를 I_2에 대해 정리하면 $I_2 = \sqrt{\frac{V_1 I_1}{R}}$ 이다. 값을 대입하면 $I_2 = \sqrt{\frac{1250 \times 1}{2}} = \sqrt{625} = 25\text{A}$가 된다.

선지 판단

① 15 → X, 전력 보존식과 옴의 법칙을 결합하지 않고 임의로 축소한 값이며 $I_2^2 R = 15^2 \times 2 = 450\text{W}$로 1차 전력 1250W와 일치하지 않는다.

② 20 → X, $20^2 \times 2 = 800\text{W}$로 역시 1250W와 일치하지 않는다.

③ 25 → O, $25^2 \times 2 = 1250\text{W}$로 1차측 유효전력 $V_1 I_1 = 1250 \times 1 = 1250\text{W}$와 정확히 일치하므로 전력 보존 조건을 만족하는 값이다.

④ 30 → X, $30^2 \times 2 = 1800\text{W}$로 1250W보다 커서 전력 보존을 만족하지 못한다.

NoteBase

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 오답 경로는 2차 단자에 적힌 '110V'를 실제 부하 전압으로 그대로 사용해 $I_2 = V_2/R = 110/2 = 55\text{A}$로 계산하거나, 단순 권수비 $a = 1250/110$을 구해 $I_2 = a \times I_1$로 계산하는 것이다. 그러나 저항 부하가 접속된 상태에서는 2차 전압이 그 저항과 실제로 흐르는 전류에 의해 다시 결정되므로, 단자에 표시된 정격 전압을 그대로 대입하면 안 된다. 전력 보존식과 옴의 법칙을 동시에 만족시키는 값을 구해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

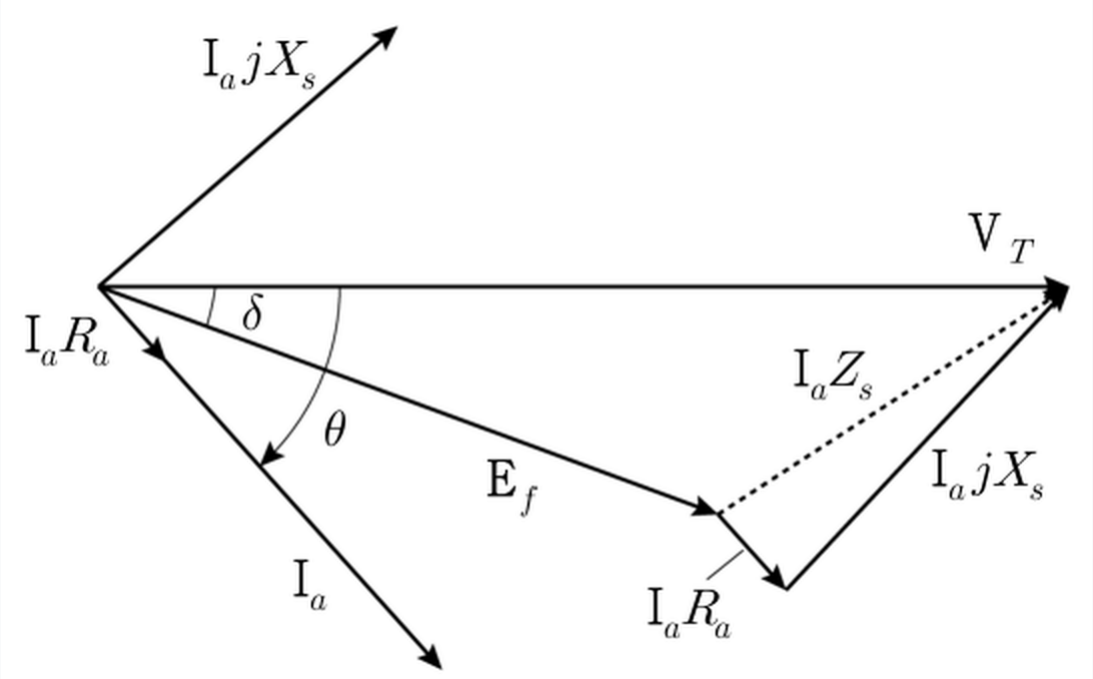
변압기가 이상적(손실·임피던스 무시)이라는 조건이 주어지고 1차 전압·전류와 2차 부하 저항만 주어지는 형태의 문제라면, 2차 전압을 단자 표시값으로 단정하지 말고 $V_1 I_1 = I_2^2 R$ 형태로 전력 보존식과 옴의 법칙을 결합해 $I_2 = \sqrt{V_1 I_1 / R}$로 구한다.

암기 포인트

이상적인 변압기(무손실)에서는 1차 유효전력과 2차 유효전력이 같다: $V_1 I_1 = V_2 I_2$. 2차측이 순저항 부하이면 여기에 옴의 법칙 $V_2 = I_2 R$을 대입해 $I_2 = \sqrt{V_1 I_1 / R}$로 한 번에 구할 수 있다는 것을 기억해 둔다.

NoteBase

문 19. 다음 그림의 동기기 페이저도와 관련되는 현상은? (단, V_T는 동기기 단자전압, E_f는 유기 기전력이고, 전기자전류 I_a의 방향은 동기기로 들어가는 방향이다)



① 동기 전동기 부족여자

② 동기 발전기 부족여자

③ 동기 전동기 과여자

④ 동기 발전기 과여자

정답 1번

출제 포인트

동기기 페이저도 한 장만 보고 그 기기가 발전기인지 전동기인지, 그리고 부족여자인지 과여자인지를 동시에 읽어내는 문제이다. 두 가지를 순서대로 판단해야 한다. 첫째, 전기자전류 I_a의 방향(동기기로 들어가는 방향인지 나가는 방향인지)으로 발전기/전동기를 구분한다. 둘째, 전압 V_T를 기준으로 전류 I_a가 앞서는지(진상, 과여자) 뒤지는지(지상, 부족여자)로 여자 상태를 구분한다.

NoteBase

선지별 해설

① 동기 전동기 부족여자: 문제에서 이미 I_a의 방향을 동기기로 들어가는 방향이라고 정의했으므로 이 기기는 전력을 받아들이는 동기 전동기이다. 그림에서 기준축(수평)에 놓인 것이 단자전압 V_T이고, 유기 기전력 E_f는 각 δ만큼, 전기자전류 I_a는 다시 각 θ만큼 더 아래쪽(뒤쪽)에 그려져 있다. 즉 I_a는 V_T보다 위상이 더 많이 뒤진(지상) 상태이며, 지상 전류를 흡수하는 동기 전동기는 여자전류(계자전류)가 부족하여 부족여자 상태에 있는 전동기이다. 옳은 설명이다.
② 동기 발전기 부족여자: I_a가 동기기로 들어가는 방향이므로 이 기기는 발전기가 아니라 전동기이다. 발전기라면 전기자전류는 기기에서 부하로 나가는 방향으로 정의되어야 하므로 전제 자체가 그림과 맞지 않는다. 틀린 표현(동기 발전기) → 올바른 표현(동기 전동기).
③ 동기 전동기 과여자: 발전기가 아니라 전동기라는 부분은 맞지만, 그림에서 I_a가 V_T보다 위상이 뒤진(지상) 상태로 그려져 있으므로 이는 과여자가 아니라 부족여자에 해당한다. 과여자 전동기라면 I_a가 V_T보다 위상이 앞선(진상) 상태로 그려져야 한다. 틀린 표현(과여자) → 올바른 표현(부족여자).
④ 동기 발전기 과여자: I_a의 방향이 동기기로 들어가는 방향이므로 발전기가 아니라 전동기이고, 위상 관계도 과여자가 아니라 부족여자이므로 두 부분 모두 그림과 맞지 않는다. 틀린 표현(동기 발전기, 과여자) → 올바른 표현(동기 전동기, 부족여자).

오답 포인트

가장 먼저 흔들리는 부분은 발전기/전동기 구분이다. 동기기 페이저도 문제는 관례적으로 전기자전류의 기준 방향을 발전기는 기기에서 나가는 방향, 전동기는 기기로 들어가는 방향으로 잡는다. 이 문제는 괄호 안에서 I_a가 동기기로 들어가는 방향이라고 명시했으므로 발전기가 적힌 ②, ④는 이 시점에서 바로 제외할 수 있다. 그 다음 실수는 부족여자와 과여자를 반대로 외우는 것이다. 부족여자는 계자전류(여자전류)가 정격보다 작아 유기 기전력 E_f가 상대적으로 작고, 그 결과 전류가 전압보다 위상이 뒤지는(지상) 상태이며, 과여자는 그 반대로 전류가 전압보다 위상이 앞서는(진상) 상태이다. 그림에서 I_a가 V_T보다 각도상 더 아래(뒤쪽)에 있다는 것만 확인하면 지상 전류, 즉 부족여자임을 바로 판단할 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

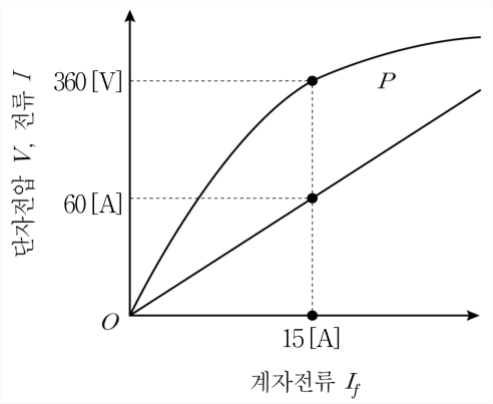
동기기 페이저도 문제를 만나면 다음 두 가지만 순서대로 확인한다. 첫째, 문제 지문에서 전기자전류 I_a의 기준 방향을 확인한다. 기기로 들어가는 방향이면 전동기, 기기에서 나가는 방향이면 발전기이다. 둘째, 기준 전압 V_T를 축으로 놓고 전류 I_a가 전압보다 위상이 앞서 있는지(진상) 뒤져 있는지(지상)를 그림에서 직접 눈으로 비교한다. 전동기는 지상 전류이면 부족여자, 진상 전류이면 과여자이고, 발전기는 이와 반대로 지상 전류이면 과여자, 진상 전류이면 부족여자가 된다.

암기 포인트

전기자전류 방향: 기기로 들어감=전동기, 기기에서 나감=발전기. 전동기는 지상전류=부족여자, 진상전류=과여자(발전기는 반대). 이 문제는 I_a가 기기로 들어가는 전동기이고, I_a가 V_T보다 위상이 뒤진 지상 전류이므로 동기 전동기 부족여자이다.

NoteBase

문 20. 다음 그림은 정격전압 $360[V]$, 정격출력 $7.2\sqrt{3}[kVA]$인 3상 동기 발전기의 특성곡선이다. 이 발전기의 단락비 및 동기 임피던스[Ω]는? (단, 전기자권선은 Y결선이다)



① 단락비: 3, 동기 임피던스: $2\sqrt{3}$

② 단락비: 3, 동기 임피던스: $4\sqrt{3}$

③ 단락비: $\sqrt{3}$, 동기 임피던스: $2\sqrt{3}$

④ 단락비: $\sqrt{3}$, 동기 임피던스: $4\sqrt{3}$

정답 1번

출제 포인트

3상 동기발전기의 무부하포화곡선과 단락곡선에서 읽은 값으로 단락비와 동기 임피던스를 구하는 문제이다. 정격출력과 정격전압으로부터 정격전류를 먼저 구한 뒤, 그래프에서 같은 계자전류(15A)에 대응하는 무부하 단자전압(360V)과 단락전류(60A)를 이용해 두 값을 계산한다.

조건 정리

정격전압(선간) $V_n = 360$[V], 정격출력 $P_n = 7.2\sqrt{3}$[kVA], 3상, Y결선이다.
그래프에서 계자전류 $I_f = 15$[A]일 때, 무부하포화곡선(위쪽 곡선)의 단자전압은 360[V]이고, 단락곡선(아래쪽 직선)의 단락전류는 60[A]이다. 즉 같은 계자전류 15A로 여자했을 때 무부하로는 정격전압 360V가 유기되고, 단락시키면 60A가 흐른다는 뜻이다.

사용할 공식

3상 정격전류: $I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}V_n}$
단락비: $K_s = \frac{I_s}{I_n}$ (단, I_s는 정격전압을 유기하는 계자전류에서의 단락전류)
상전압(Y결선): $E_p = \frac{V_n}{\sqrt{3}}$
동기 임피던스: $Z_s = \frac{E_p}{I_s}$

NoteBase

계산 과정

정격전류를 먼저 구한다.
$I_n = \frac{7.2\sqrt{3} \times 1000}{\sqrt{3} \times 360} = \frac{7200}{360} = 20[A]$
그래프에서 정격전압 360V를 유기하는 계자전류(15A)일 때 단락전류가 60A이므로 $I_s = 60[A]$이다.
단락비를 구하면
$K_s = \frac{I_s}{I_n} = \frac{60}{20} = 3$
Y결선이므로 상전압은
$E_p = \frac{360}{\sqrt{3}} = 120\sqrt{3}[V]$
동기 임피던스는
$Z_s = \frac{E_p}{I_s} = \frac{120\sqrt{3}}{60} = 2\sqrt{3}\ [\Omega]$
따라서 단락비는 3, 동기 임피던스는 $2\sqrt{3}\ \Omega$이다.

선지 판단

① 단락비 3, 동기 임피던스 $2\sqrt{3}$ → 계산 결과와 정확히 일치한다. O
② 단락비 3은 맞지만 동기 임피던스가 $4\sqrt{3}$으로 되어 있다 → 실제 값은 $2\sqrt{3}$이므로 틀린 표현이다. X
③ 동기 임피던스 $2\sqrt{3}$은 맞지만 단락비가 $\sqrt{3}$으로 되어 있다 → 실제 단락비는 3이므로 틀린 표현이다. X
④ 단락비 $\sqrt{3}$, 동기 임피던스 $4\sqrt{3}$ → 두 값 모두 실제 계산 결과(3, $2\sqrt{3}$)와 다르다. X

오답 포인트

정격전류를 구할 때 $P_n = \sqrt{3}V_nI_n$ 공식에서 $\sqrt{3}$을 빠뜨리거나 잘못 곱해 20A가 아닌 다른 값을 얻으면 단락비가 어긋난다. 또 Y결선에서 상전압을 구하지 않고 선간전압 360V를 그대로 60A로 나누면 6이라는 틀린 임피던스가 나오는데, 이는 상전압으로 계산해야 하는 점을 놓친 것이다.

다시 나오면 이렇게 판단

특성곡선 문제는 먼저 정격출력과 정격전압으로 정격전류를 구하고, 그래프에서 같은 계자전류에 대응하는 무부하전압과 단락전류 한 쌍을 짚어낸다. 단락비는 그 단락전류를 정격전류로 나누면 되고, 동기 임피던스는 반드시 상전압(Y결선이면 선간전압을 $\sqrt{3}$으로 나눈 값)을 단락전류로 나누어 구한다.

암기 포인트

단락비 $K_s = \frac{I_s}{I_n}$(정격전압을 만드는 계자전류에서의 단락전류 ÷ 정격전류), 동기 임피던스 Z_s=E_p(상전압)I_s, Y결선에서 상전압은 선간전압의 $\frac{1}{\sqrt{3}}$배라는 점을 함께 기억해 둔다.

NoteBase