

電気分野
専門区分

課目Ⅲ 電気設備及び機器

試験時間 10:50～12:40 (110分)

2 時限目

問題 7, 8 工場配電

1～7 ページ

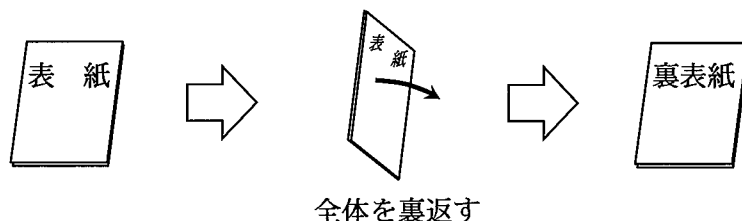
問題 9, 10 電気機器

9～15 ページ

I 全般的な注意

1. 試験開始の指示があるまで、この問題冊子の中を見ないこと。
2. 試験中に問題の印刷不鮮明、冊子のページの落丁・乱丁などに気付いた場合は、係の者に知らせること。
3. 問題の解答は答案用紙（マークシート）に記入すること。
4. 答案用紙の記入に当たっては、答案用紙に記載の「記入上の注意」に従うこと。「記入上の注意」に従わない場合には採点されない。該当欄以外にはマークや記入をしないこと。
5. 問題冊子の余白部分は計算用紙などに適宜利用してよい。
6. 試験終了後、問題冊子は持ち帰ること。

解答上の注意は、裏表紙に記載してあるので、この問題冊子全体を裏返して必ず読むこと。



指示があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
問題の内容に関する質問にはお答えできません。

(工場配電)

問題7 次の各文章の [1] ~ [10] の中に入れるべき最も適切な字句、数値又は式をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。なお、[6] は2箇所あるが、同じ記号が入る。

また、[A abc] 及び [B a.b] に当てはまる数値を計算し、その結果を答えよ。ただし、解答は解答すべき数値の最小位の一つ下の位で四捨五入すること。(配点計 50 点)

(1) デマンド制御とは、電気使用の便益を大きく損なうことなく最大需要電力を一定の値以下に留め、電力設備の効率運転と省エネルギーを推進する手法である。最大需要電力を低減することができれば、電力需要の平準化にも寄与できるので、負荷平準化の計画に用いる指標である [1] が向上し、受電設備や配電設備の効率的運用が可能となる。

一般に、デマンド制御を自動で行うデマンド監視制御装置では、需要電力を監視して、最大需要電力が [2] を超過すると予測されるときは警報を出し、あらかじめ設定されている優先順位に従って負荷設備の抑制や停止などを行う機能を有している。

〈 [1] 及び [2] の解答群 〉

ア 契約電力 イ 平均電力 ウ 設備容量 エ 負荷率
オ 不等率 カ 力率

(2) 変圧器の結線は、その利点や欠点を考慮して選定される。

三相変圧器の結線方法の中で、Y- Δ 結線あるいは Δ -Y 結線のものは、中性点を接地することで地絡時の異常電圧を軽減できること、[3] 励磁電流が還流するので波形の歪みが少ないことが利点であるが、一次・二次間に [4] の位相差を生じることになる。これに対し、 Δ - Δ 結線のものは、一次・二次間に位相差はないが、中性点を設けることはできない。

この他に工場配電で用いられる結線方法としては、三相電源に2個の同じ定格の単相変圧器を接続して三相電力を供給するV-V 結線や、三相電源に2個の定格の異なる単相変圧器を用いて、二次側の位相が90°異なる二つの単相回路を得るスコット結線などがある。スコット結線は、単相交流負荷に電力を供給する非常用発電装置の場合などで、三相交流電源の [5] を防止する場合や、交流式電気鉄道など大きい単相負荷を必要とする場合などに用いられる。

< 3 ~ 5 の解答群 >

- | | | |
|----------|--------|---------|
| ア 30° | イ 60° | ウ 120° |
| エ 第3調波 | オ 第5調波 | カ 第7調波 |
| キ 高調波の影響 | ク 電圧降下 | ケ 電圧不平衡 |

(3) アーク炉や溶接機などの変動負荷が配電線に接続されていると、電圧変動が頻繁に繰り返され、その結果、白熱電球や蛍光ランプなどの光束が変動し、明るさにちらつきが生じることがある。この現象を 6 と呼んでいる。これが著しい場合には人に不快感を与えることになる。

人間の目は、ちらつきの感じやすさに周波数依存性がある。ちらつきの周波数が 7 [Hz] 程度のときに最も敏感に感じるとされており、周波数がこれよりも非常に高い場合や非常に低い場合は、このちらつきを感じにくくなる。

通常、我が国での 6 の指標となる値を計測する手順は次のようになっている。

まず、基準となる基本波電圧の実効値と変動する電圧の実効値の差を求めて、この差電圧を変動周波数成分へ分解する。次に、分解された周波数成分毎の電圧変動値に、目の感じやすさである「ちらつき 8 曲線」で得られる係数で重み付けした値を基本の量として、この値を2乗平均することで、指標となる値を求める。

なお、1個の値の計測の期間は1分間であり、この計測で得られる1時間60個の値を統計処理して評価値を求める。

< 6 ~ 8 の解答群 >

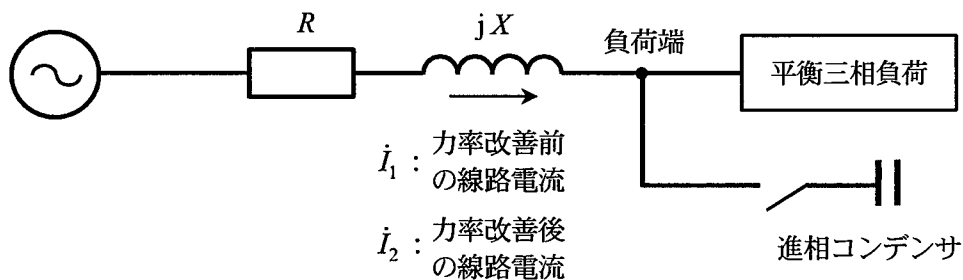
- | | | |
|---------|--------|-------|
| ア 1 | イ 10 | ウ 20 |
| エ フェランチ | オ フリッカ | カ 高調波 |
| キ 残像 | ク 視感度 | ケ 不快 |

問題7の(4)は次の3頁及び4頁にある

(4) 図に示すように、1相分の線路抵抗が $R[\Omega]$ 、1相分の線路リアクタンスが $X[\Omega]$ の三相3線式配電線路に平衡三相負荷が接続されている。この負荷と並列に進相コンデンサを接続して力率改善を行うことにした。ただし、力率改善の前後でも、負荷の大きさ、負荷の力率及び負荷端の電圧は変わらないものとする。

ここで、力率改善前の力率を $\cos\phi_1$ 、線路電流を \dot{i}_1 [A]、その大きさを I_1 [A]、 \dot{i}_1 のうちの線路無効電流を I_{q1} [A] とし、力率改善後の力率を $\cos\phi_2$ 、線路電流を \dot{i}_2 [A]、その大きさを I_2 [A]、 \dot{i}_2 のうちの線路無効電流を I_{q2} [A] とする。また、進相コンデンサの電流を I_c [A]、負荷の有効電流を I_p [A]、負荷端の相電圧を V [V]、力率改善前の線路損失を P_1 [kW]、電圧降下を ΔV_1 [V]、力率改善後の線路損失を P_2 [kW]、電圧降下を ΔV_2 [V] とする。

なお、線路電流を I [A]、負荷の力率を $\cos\phi$ としたときの1相当たりの電圧降下 ΔV [V] の計算には、近似式 $\Delta V = I (R \cos\phi + X \sin\phi)$ を用いるものとする。



図

1) 力率改善した場合、1相当りの線路損失の低減量 ($P_1 - P_2$) は次式で表される。

$$P_1 - P_2 = \boxed{9} \times R \text{ [kW]}$$

2) 同様に、1相当りの線路の電圧降下の低減量 ($\Delta V_1 - \Delta V_2$) は次式で表される。

$$\Delta V_1 - \Delta V_2 = \boxed{10} \times X \text{ [V]}$$

< $\boxed{9}$ 及び $\boxed{10}$ の解答群 >

- | | | |
|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| ア ($I_1 - I_2$) | イ ($I_p - I_c$) | ウ ($I_{q1} - I_{q2}$) |
| エ ($I_1^2 - I_2^2$) | オ ($I_1^2 - I_p^2$) | カ ($I_{q1}^2 - I_c^2$) |

3) 図の平衡三相負荷が、三相 500kW、力率 85% (遅れ) であるとき、コンデンサ接続前の 1 相当りの線路損失が 830 W、1 相当りのリアクタンスによる線路電圧降下が 10V であった。

この負荷にコンデンサを並列に接続して、負荷端から電源を見た力率を 95% (遅れ) に改善した。

i) 力率改善後の 1 相分の線路損失の低減量は $\boxed{A \mid abc}$ [W] となる。

ii) 同様に、力率改善後の 1 相当りの線路の電圧降下の低減量は $\boxed{B \mid ab}$ [V] となる。

(工場配電)

問題8 次の各文章の [1] ~ [8] の中に入れるべき最も適切な字句又は数値をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。なお、[2] は2箇所あるが、同じ記号が入る。

また、[A | ab.c] ~ [D | ab.c] に当てはまる数値を計算し、その結果を答えよ。ただし、解答は解答すべき数値の最小位の一つ下の位で四捨五入すること。(配点計 50 点)

(1) 工場の受配電方式においては、電力供給信頼度の確保と電圧の適正化など、電力品質の確保が求められている。

1) 電圧の種類

我が国の電気設備技術基準では、電圧を低圧、高圧及び特別高圧に分け、その区分を次のように規定している。

- ① 低圧：交流では [1] [V] 以下（直流では 750 V 以下）のもの
- ② 高圧：低圧の限度を超えて [2] [kV] 以下のもの
- ③ 特別高圧： [2] [kV] を超えるもの

2) 母線方式

受電した電力は、一般に母線を介して負荷に供給される。受電設備の母線は、停電など異常時の処理や運用形態により、受電変圧器の一次側で回路を構成するものと二次側で回路を構成するものがある。母線方式の主なものには、最も簡単な単一母線方式の他に、[3] 開閉器で単一母線を分割した分割母線方式や、必要に応じて異系統運転ができる信頼性の高い [4] 方式がある。

< [1] ~ [4] の解答群 >

- | | | | |
|--------|-------|---------------|--------|
| ア 7 | イ 9 | ウ 22 | エ 500 |
| オ 600 | カ 900 | キ レギュラーネットワーク | ク 二重母線 |
| ケ 予備母線 | コ 区分 | サ 並列 | シ 連系 |

(2) 変圧器は、受電設備の中で高い信頼性が要求され、効率も高い機器であるが、更に省エネルギーを進めるためには、次のような損失低減対策を検討することが大切である。

1) 低損失変圧器の採用

新設や更新時には高効率の変圧器を導入する。変圧器は技術の進歩によって内部損失が大きく低減されており、特に、 の進歩により無負荷損が低減されている。

2) 無負荷変圧器の停止

変圧器が電源に接続されているときは、負荷が無くても が流れ、無負荷損が生じている。負荷が無いときは、無負荷損の削減のために一次側、二次側とも回路から切り離すことが望ましい。

3) 変圧器の台数制御

変圧器を台数分割し、並行運転するための条件や運用上の手順を決めて、負荷に応じて損失が最小となるように、稼働台数を調整する。なお、2台以上の変圧器を並行運転する場合、事前に変圧器の一次及び二次の定格電圧が等しいこと、 が等しいこと、さらに の並行運転では相回転、位相変位が等しいことなど、必要な条件を満たしておくことが重要である。

< ~ の解答群 >

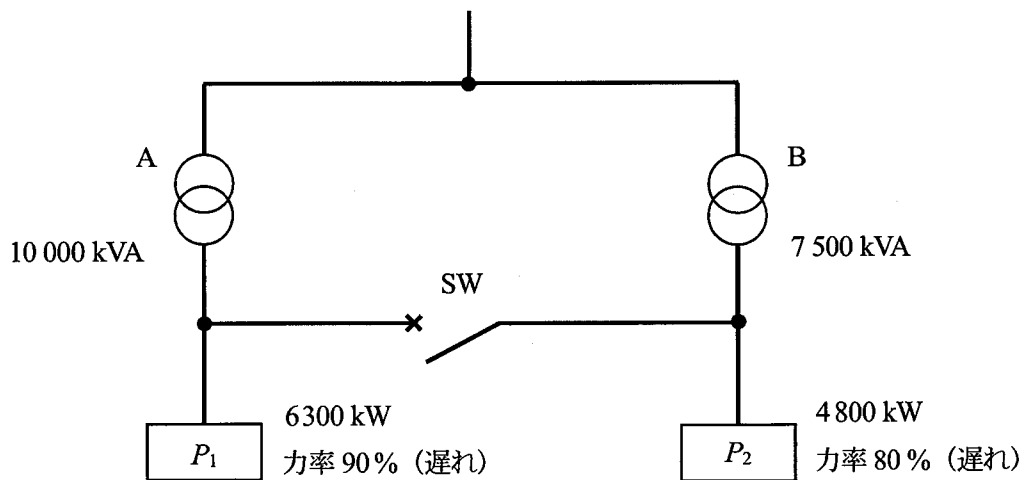
- | | | | |
|--------|---------|---------|---------|
| ア 極性 | イ 効率 | ウ 三相変圧器 | エ 単相変圧器 |
| オ 循環電流 | カ 突入電流 | キ 励磁電流 | ク 鉄心材料 |
| ケ 巻線材料 | コ 巻線占積率 | | |

問題8の(3)は次の7頁にある

(3) 図に示すような結線でA、B 2 台の変圧器が、 P_1 及び P_2 なる負荷に電力を供給している。ここで、負荷 P_1 は 6300kW で力率 90% (遅れ)、負荷 P_2 は 4800kW で力率 80% (遅れ) である。また、変圧器 A、B の諸元は表のとおりである。ここで、短絡インピーダンスは各変圧器の定格容量基準の値とする。

表 変圧器の諸元

特性 変圧器	定格容量 [kVA]	短絡インピーダンス [%]	無負荷損 [kW]	定格時の負荷損 [kW]
A	10 000	8.0	16	60
B	7 500	7.5	15	53



図

1) スイッチ SW を開いて変圧器 A、B をそれぞれ単独で運転したとき、変圧器 A の損失は [kW] となる。また、変圧器 B の損失は [kW] となる。

2) スイッチ SW を閉じて変圧器 A、B を並行運転したとき、合計損失は [kW] となり、それぞれを単独運転したときの損失の合計よりも損失は小さくなる。

また、並行運転時の総合効率は [%] となる。

(空 白)

(電気機器)

問題9 次の各文章の ～ の中に入れるべき最も適切な字句又は記述をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。

また、 abc ～ a.bc に当てはまる数値を計算し、その結果を答えよ。ただし、解答は解答すべき数値の最下位の一つ下の位で四捨五入すること。(配点計 50 点)

(1) 一般に電気機器は、機器に表示された定格電圧で使用する場合に最も効率が良い。大きな電圧変動や電圧降下は機器の効率低下を招くと共に、生産設備の場合には、製品不良の原因や製品生産能力の低下要因にもなる。

1) 工場の配電電圧を良好に維持するための電圧調整を変圧器で行う場合には、一般的に変圧器の巻線にタップを設けて、 を切替えることにより行う。この切替方式としては、変圧器を負荷及び電源回路から切り離れた状態でタップの切替を行う無電圧タップ切替方式と、負荷及び電源回路を接続した状態でタップ切替を可能とした負荷時タップ切替方式がある。さらに、負荷時タップ切替方式には直接式と間接式がある。

2) 負荷時タップ切替方式のうちの直接式は、変圧器の外部端子に接続される回路により変圧器巻線を通る が、タップ切替器に直接流れるように結線する方式である。星形結線の三相変圧器では、各相の切替開閉器の相間電圧を小さくでき、かつ、三相の機構部が一体化できるので、変圧器巻線の 側に設けるのが一般的である。

〈 ～ の解答群 〉

ア 界磁電流 イ 循環電流 ウ 負荷電流 エ 誘導電流 オ 高圧巻線
カ 短絡比 キ 変圧比 ク 変流比 ケ 中性点

3) 負荷時タップ切替方式のうちの間接式は、主変圧器の他に直列変圧器を、主変圧器の入力又は出力回路に直列接続する構成となっている。電圧の調整は、主変圧器から得られるタップ電圧を、タップ切替器を用いて直列変圧器の 巻線に印加することで行われる。間接式は、タップ切替器を設けようとする巻線の レベルが非常に高い場合、又は電流が極めて大きい場合などに適用される。

4) 負荷時タップ切換器によるタップの切換動作は、隣接する二つのタップ端子間を橋絡した後、所望のタップ端子に移動する動作となるので、橋絡されるタップ間の [6] を制限するために、抵抗又はリアクタンスが用いられる。

〈 [4] ~ [6] の解答群 〉

ア 過電圧 イ 充電電流 ウ 短絡電流 エ 絶縁 オ 耐熱
カ 直列 キ 分路 ク 保護 ケ 励磁

(2) 汎用インバータの逆変換回路には、三相ブリッジ結線の電圧形インバータが一般的に使用される。出力電圧及び周波数の制御はパルス幅変調 (PWM) 方式が一般的である。

1) PWM 制御方式では、通常は正弦波の波形で出力電圧の基準となる [7] と、通常は三角状の波形をした [8] を比較して、両者の大小関係でスイッチング素子のオン/オフを決定する。これにより、出力電圧の波形は幅可変の連続した [9] 波となる。この出力電圧波形は高調波成分を多く含んでいるが、誘導電動機では漏れインダクタンスのフィルタ作用により、電動機にはほぼ [10] 波に近い波形の電流が流れる。

〈 [7] ~ [10] の解答群 〉

ア インパルス イ 三角 ウ 正弦 エ 方形
オ 高周波 カ 高調波 キ 信号波 ク 側帯波
ケ 搬送波 コ 振幅 サ 誘導起電力

2) インバータの効率は、接続される負荷の大きさや力率などによって決まる。いま、インバータが出力電圧及び負荷力率が一定という条件で運転している。ここで、負荷電流が定格値からその25%の間を変動したとき、インバータの効率は一般的には [11] 。

〈 [11] の解答群 〉

ア 負荷電流に比例して変化する イ 負荷電流の2乗に比例して変化する
ウ ほとんど変化しない

問題9の(3)は次の11頁にある

(3) 定格周波数50 Hz、定格一次電圧6 600V、定格二次電圧210Vの単相変圧器の無負荷試験と短絡試験を行い、次の結果が得られた。

① 無負荷試験結果：二次側を開放し、一次側に定格周波数で定格電圧の6 600Vを印加したとき、電流が2.31 A、力率が1.5%となった。

② 短絡試験結果：二次側を短絡し、一次側に定格周波数で185Vの電圧を印加したとき、一次側及び二次側に定格電流が流れ、一次側の電流は30.3 A、一次側入力電力が2 150 Wとなった。

1) この変圧器の無負荷損は

A	abc
---	-----

 [W]となるので、この変圧器が最高効率となるのは、変圧器定格容量の

B	ab.c
---	------

 [%]の負荷を接続したときとなる。

2) この変圧器の定格容量基準での短絡インピーダンスは

C	a.b
---	-----

 [%]であり、これは短絡試験時に印加した電圧値とそのときに流れた電流値から、一次側換算のオーム値で

D	a.bc
---	------

 [Ω]となる。

3) 短絡試験の結果より、一次側換算の巻線抵抗の値は2.34 Ω となるので、一次側換算の漏れリアクタンスの値は

E	a.bc
---	------

 [Ω]となる。

(空 白)

(電気機器)

問題 10 次の各文章の [1] ~ [11] の中に入れるべき最も適切な字句又は式をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。なお、[5] 及び [7] は2箇所あるが、それぞれ同じ記号が入る。

また、[A] $a.bc \times 10^d$ ~ [D] $a.bc$ に当てはまる数値を計算し、その結果を答えよ。ただし、解答は解答すべき数値の最小位の一つ下の位で四捨五入すること。(配点計 50 点)

(1) 三相誘導電動機の制動方式について考える。

1) 三相誘導電動機において、滑り s の大きさが [1] の範囲では、電磁力の方向は常に回転磁界の方向と同じであり、この滑りの領域では、回転子の回転方向と電磁力の方向とは常に一致するので、トルクは [2] トルクとなる。一方、電動機の滑り s の大きさが [3] の範囲では、回転磁界の方向は変わらず、電磁力の方向が逆転するため、この領域で生じるトルクは [4] トルクとなる。

< [1] ~ [4] の解答群 >

ア $s < -1$	イ $-1 < s < 0$	ウ $s = 0$	エ $0 < s < 1$
オ $1 < s < 2$	カ $2 < s$	キ 逆相	ク 駆動
ケ 最大	コ 制動	サ 同期	シ 発電

2) したがって、通常の三相誘導電動機は、同期速度以下では電動機運転、同期速度以上では [5] 制動運転が一般的な運転方法である。これに対し、巻線形誘導電動機を用いた二次励磁制御の一種である超同期 [6] 方式は、誘導電動機の二次側に交流電力変換装置を設けて、二次側の電力を電源に送り返すだけでなく、逆に電源側から電動機に電力を送ることにより、同期速度の上下にわたって、それぞれの運転範囲で電動機運転及び [5] 制動運転を可能とする方式である。

< [5] 及び [6] の解答群 >

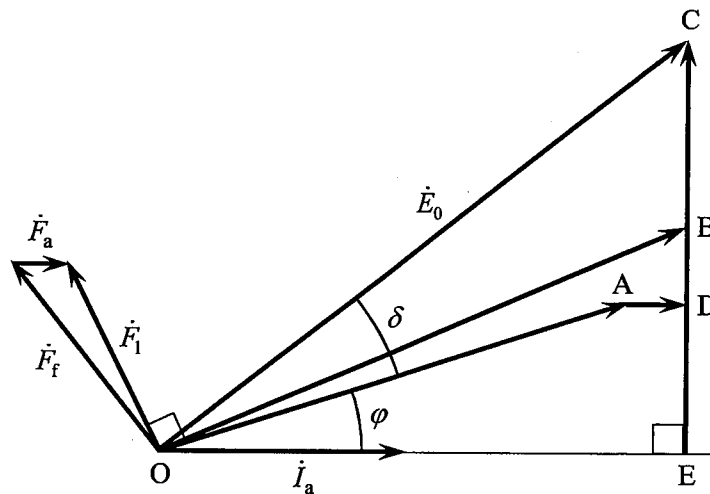
ア クレーマ	イ セルピウス	ウ レオナード	エ 回生
オ 逆転	カ 抵抗		

(2) 図は三相同期発電機の星形1相分のベクトル図を示したものである。ここで、 \dot{I}_a は電機子電流であり、遅れ力率での運転状態を示している。

界磁起磁力 \dot{F}_f により、 $\frac{\pi}{2}$ 遅れて誘導起電力 \dot{E}_0 が発生する。界磁起磁力 \dot{F}_f と $\square 7$ 起磁力 \dot{F}_a の合成起磁力 \dot{F}_1 が、エアギャップに作用する起磁力となる。これによって、誘導起電力が線分 $\square 8$ で示される誘導起電力 \dot{E}_1 に変化する。 \dot{E}_0 と \dot{E}_1 との差は $\square 7$ リアクタンスによる電圧降下である。

誘導起電力 \dot{E}_1 から $\square 9$ リアクタンスによる電圧降下及び電機子抵抗 r_a による電圧降下 ($r_a \dot{I}_a$) をベクトル的に差し引いた、線分 $\square 10$ が端子電圧 \dot{V} となる。

ここで、 $\angle AOE$ は力率角 ϕ に相当する。また、 $\angle COA$ の作る角 δ は、 $\square 11$ と呼ばれる。



図

< $\square 7$ ~ $\square 11$ の解答群 >

- | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| ア \overline{AD} | イ \overline{BD} | ウ \overline{DE} | エ \overline{OA} |
| オ \overline{OB} | カ \overline{OE} | キ 磁束飽和 | ク 制御角 |
| ケ 内部相差角 | コ 誘電体損失角 | サ 短絡 | シ 電機子反作用 |
| ス 偏磁作用 | セ 電機子漏れ | ソ 同期 | |

問題 10 の (3) は次の 15 頁にある

(3) 電動機の端子電圧が6.3kV、入力電流が96Aで運転されている三相同期電動機がある。運転時の効率が95.6%、同期リアクタンス x_s が38.6Ω、機械損が11kW、鉄損が9kW、励磁回路損が6kW、漂遊負荷損が4kWであり、その他の損失について電機子回路損以外の損失は考えないものとする。

いま、この電動機が力率1.0で運転されている場合の諸量を計算する。

1) 運転時の効率が95.6%なので、この電動機の実出力 P_0 は

A	a.bc	$\times 10^d$
---	------	---------------

 [kW] である。

2) 運転時の電機子電流が96Aなので、電機子回路損（三相分） P_a は

B	ab.c
---	------

 [kW] であり、

1相分の電機子抵抗 r_a は

C	a.bc
---	------

 $\times 10^{-1}$ [Ω] と計算される。

3) 電機子抵抗 r_a は同期リアクタンス x_s に比べて非常に小さい値となるので、電機子抵抗の影響を

無視して、1相分の誘導起電力 E_0 を求めると、

D	a.bc
---	------

 [kV] となる。

(表紙からの続き)

II 解答上の注意

1. 問題の解答は、該当欄にマークすること。
2.

1

、

2

 などは、解答群の字句、数値、式、図などから当てはまる記号「ア、イ、ウ、エ、オ・・・」を選択し、該当欄のその記号を塗りつぶすこと。
3.

A	a.bc
---	------

、

B	a.bc×10 ^d
---	----------------------

 などは、計算結果などの数値を解答する設問である。a,b,c,d などのアルファベットごとに該当する数字「0,1,2,3,4,5,6,7,8,9」(ただし、aは0以外とする)を塗りつぶすこと。

また、計算を伴う解答の場合は次の(1)～(3)によること。

- (1) 解答は解答すべき数値の最小位の一つ下の位で四捨五入すること。

このとき、解答すべき数値の計算過程においても、すべて最小位よりも一つ下の位まで計算し、最後に四捨五入すること。

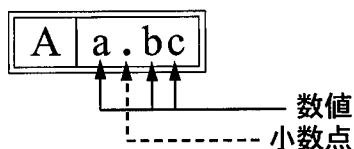
- (2) 既に解答した数値を用いて次の問題以降の計算を行う場合も、必要に応じて四捨五入後の数値ではなく、四捨五入前の数値を用いて計算することなど、(1)の計算条件を満足すること。

- (3) 問題文中で与えられる数値は、記載してある位以降は「0」として扱い、「解答は解答すべき数値の最小位の一つ下の位で四捨五入すること。」を満足しているものとする。

例えば、2.1 kg の 2.1 は、2.100...と考える。特に円周率などの場合、実際は $\pi = 3.1415...$ であるが、 $\pi = 3.14$ で与えられた場合は、3.1400...として計算すること。

「解答例1」

(設問)



(計算結果)

6.827.....

↓ 四捨五入

6.83

(解答)

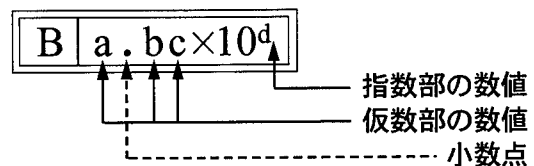
「6.83」に
マークする



A			
a	.	b	c
		0	0
①		1	1
②		2	2
③		3	●
④		4	4
⑤		5	5
⑥		6	6
⑦		7	7
⑧		●	8
⑨		9	9

「解答例2」

(設問)



(計算結果)

9.183 × 10²

↓ 四捨五入

9.18 × 10²

(解答)

「9.18 × 10²」に
マークする



B					
a	.	b	c	×10	d
		0	0		0
①		●	1		1
②		2	2		●
③		3	3		3
④		4	4		4
⑤		5	5		5
⑥		6	6		6
⑦		7	7		7
⑧		8	●		8
⑨		9	9		9

(裏表紙)