

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
問題 9, 10 電気機器

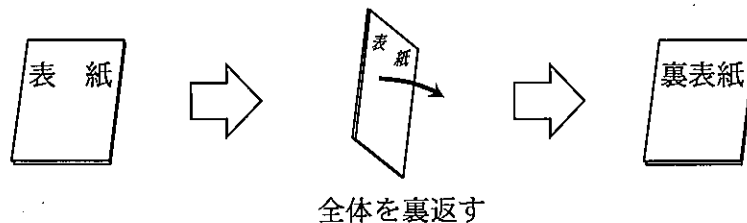
1～8 ページ

9～14 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] ~ [9] の中に入れるべき最も適切な字句等をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。

また、[A | ab.c] ~ [D | abc] 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) 電力系統を構成する送配電線で、短絡などの系統故障が発生すると、故障点を中心に事故電流による電圧低下が広範囲に発生する。電圧低下が発生すると、その大きさや [1] によっては電力を使用する需要家側の機器類に悪影響を与えることになる。

電圧低下が瞬時であっても、需要家側では、使用される電動機の運転・停止に用いられる [2] の開放、FA システムなどに使用されるコンピュータのデータ消失、プロセス制御の誤作動、生産ラインの停止などの問題が発生する。

< [1] 及び [2] の解答群 >

ア ラッチ式電磁接触器 イ 高圧負荷開閉器 ウ 常時励磁式電磁接触器
エ 故障継続時間 オ 残留磁束 カ 絶縁強度

(2) 太陽光発電は、太陽電池の [3] を利用して光エネルギーを直接電気エネルギーに変換する発電方式である。太陽光は再生可能エネルギーであり、温室効果ガスの排出量削減に貢献できるため、太陽光発電設備が普及・拡大している。

太陽光発電設備は、太陽電池、電力変換装置、系統連系保護装置等から構成され、このうち電力変換装置と系統連系保護装置を合わせて [4] と呼んでいる。この装置に要求される機能としては、電力変換や連系保護に加え、装置を日射量に応じて最適の条件で有効利用するための [5] 機能、商用電源側の停電時に独立電源として使える自立運転機能などがある。

< [3] ~ [5] の解答群 >

ア サイクロコンバータ イ パワーコンディショナ ウ パワーモジュール
エ 光電効果 オ 光磁気効果 カ 光触媒作用
キ 最大電力点追従 ク 自動負荷分担 ケ 電力回生

(3) 工場配電では、工場負荷の力率を所定の値に維持するため進相コンデンサを複数台設置し、負荷の増減により変化する力率に応じて、進相コンデンサを開閉して力率を制御する方法が一般に採用されている。

進相コンデンサによる力率制御の代表的な方式としては、力率の変動パターンが周期的に繰り返される場合に用いられる時間制御方式や、計測した回路の 電力とあらかじめ設定した値（整定値）とを比較して、進相コンデンサの開閉を行う制御方式などがある。

なお、後者の制御方式では、進相コンデンサが投入、遮断を繰り返す 現象が生じないように、整定値の設定に注意する必要がある。

〈 及び の解答群 〉

- | | | |
|---------|---------|--------|
| ア ハンチング | イ フェランチ | ウ フリッカ |
| エ 平均 | オ 無効 | カ 有効 |

(4) 配電線路に高調波が含まれると、線路に接続された負荷機器に様々な障害が発生する。変圧器や電動機など鉄心を使用する機器では、 の増大による過熱、うなり、振動が発生する。また、進相コンデンサや進相コンデンサ用リアクトルの高調波障害は、主に によることが多い。さらに、計算機や制御装置などの電子機器では、電源電圧の波形ひずみなどが誤作動やノイズの原因となる。

高調波障害を軽減するには、高調波を発生する側に対してはその抑制対策が、影響を受ける側に対しては高調波耐力の向上対策が必要である。

〈 及び の解答群 〉

- | | | |
|--------|--------|--------|
| ア 回路共振 | イ 残留電荷 | ウ 静電誘導 |
| エ 鉄損 | オ 銅損 | カ 誘電損 |

(5) 図1に示すように、三相3線式の高圧配電線路の負荷端に、常時の電力が800kWで最大電力が1300kWとなる平衡三相負荷が接続されており、負荷の力率は80%（遅れ）一定である。ここで、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。力率改善のために接続した進相コンデンサは、負荷が800kWのときに負荷端における力率を95%（遅れ）とするために必要な容量とした。ただし、負荷端電圧及び負荷力率は、負荷の大きさにかかわらず、力率の改善前後において一定とする。

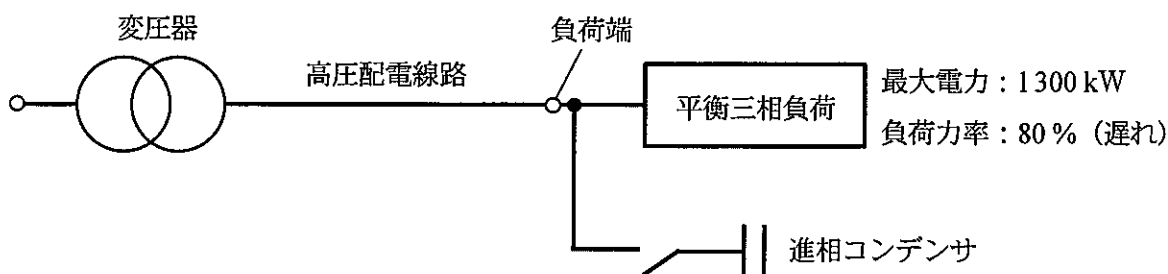


図1 配電系統

- 1) 負荷が800kWのときの高圧配電線路の電力損失は、進相コンデンサを接続して95%（遅れ）に力率改善することによって、力率改善前に対して [%] 低減する。
- 2) 力率改善後、負荷力率が一定のまま負荷が800kWから最大の1300kWまで増加したとき、負荷端の力率は95%（遅れ）から [%]（遅れ）に低下する。

(6) 図2は、ある工場において、電力需要の大きい斜線部の時間帯の負荷を、電力需要の少ない時間帯に移行する計画を示した電力日負荷曲線である。ただし、負荷移行の前後で、総消費電力量は変わらないものとする。なお、この工場の合計設備容量は1200kWである。

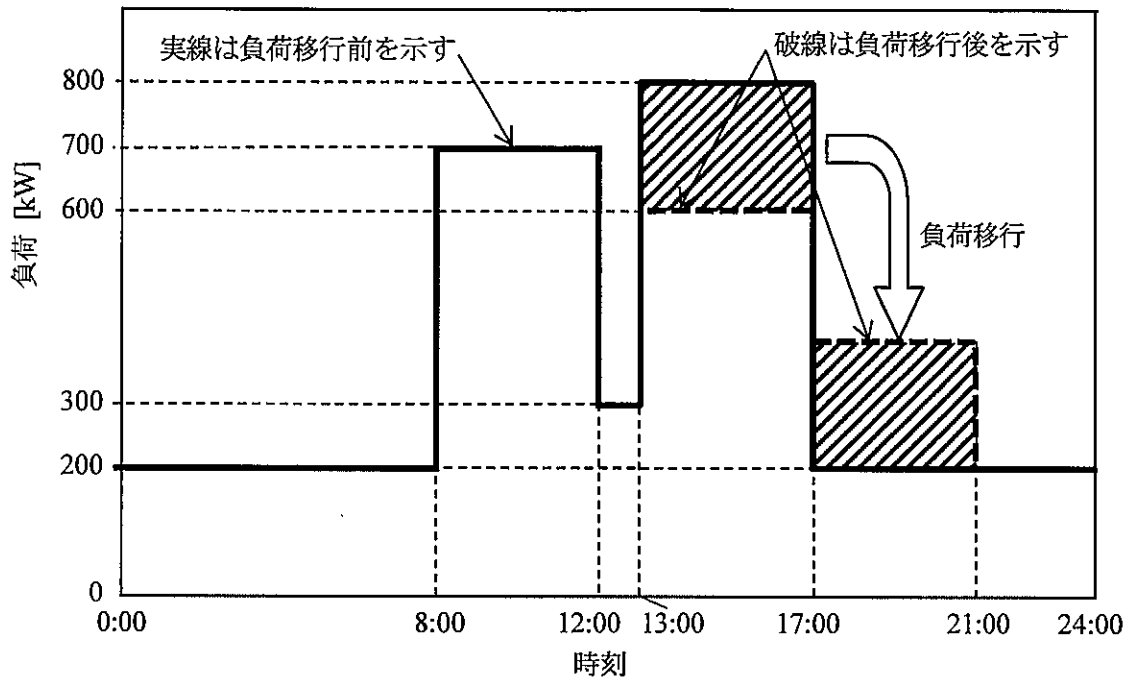


図2 電力日負荷曲線

1) 図2に示すように、13時から17時の時間帯の需要電力が600kWで一定になるよう、17時から21時までの時間帯に各時間均等に負荷移行することとした。この対策により、この工場の負荷移行後の需要率は [%] となる。

2) この工場の1日の負荷率を65%以上とするためには、最大需要電力が [kW] 以下となるように、需要電力の大きい時間帯の負荷を他の時間帯に移行する必要がある。

(工場配電)

問題 8 次の各文章の ～ の中に入れるべき最も適切な字句等をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。なお、 及び は複数箇所あるが、それぞれ同じ記号が入る。

また、 ～ 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) 工場あるいは事業場の配電設備における電力損失は、配電線路の抵抗による損失と、変圧器で発生する損失とが支配的である。このため、省エネルギーの観点からは、これらの損失を可能な限り低減させることが重要である。

1) 配電線路の電力損失を低減する対策は、 の低減と線路抵抗の低減に大別できる。このうち、 を低減する対策としては、次のようなものがある。

- ① 負荷に供給する配電線路は、高い供給電圧を選定する。
- ② 負荷に供給する配電線路の回線数を させる。
- ③ 線路の負荷端に力率改善用の進相コンデンサを設置する。
- ④ 2 台以上の変圧器の低圧配電線を相互に接続する 方式などの配電方式を採用する。

また、線路抵抗を低減する対策としては、次のようなものがある。

- ① 太い電線に張り替える。
- ② 負荷の近傍に変圧器を設置して、変圧器二次側線路のこう長を短縮する。

< ～ の解答群 >

- | | | | | | | | |
|---|-------|---|--------|---|------|---|------|
| ア | バンキング | イ | 常用予備切換 | ウ | 放射状 | エ | 減少 |
| オ | 増加 | カ | 線路電流 | キ | 励磁電流 | ク | 漏洩電流 |

2) 変圧器で発生する電力損失の低減策としては、次のようなものがある。

① 「エネルギーの使用の合理化及び非化石エネルギーへの転換等に関する法律」に規定する基準エネルギー消費効率を満足する変圧器を採用する。

② 軽負荷時、変圧器の無負荷損を低減するために負荷を切り替えた上で、一部バンクの を行う。

< の解答群 >

ア 過負荷運転

イ 並行運転

ウ 停止

(2) 工場や事業場の電力需要は、季節変化、平日と休日、時間帯、設備の運用形態などによって大きく変動する。この変動を抑制して工場の最大需要電力を低減することは、 を高めることにつながり、電気料金の節減や工場内の受電設備・配電設備の効率的な運用を可能にする重要な取り組みの一つである。電力需要の変動を抑制し、最大需要電力を低減する対策として、次の①～③のような方法が考えられる。

① 蓄電池や蓄熱システムの活用

② 一つのエネルギー源から電気と熱を取り出して利用する の活用

③ 電気利用の便宜を損なうことなく、最大需要電力を一定の値以下に抑制する 制御の実施

< ～ の解答群 >

ア コージェネレーション設備

イ セラミックヒータ

ウ 電気温水器

エ デマンド

オ 位相

カ 電圧

キ 需要率

ク 負荷率

ケ 力率

(3) 平衡な三相交流電圧は、各相の電圧の大きさが等しく位相差が 120° であるが、実際には各相の電圧の大きさ・位相差にばらつきが生じることがある。これを電圧不平衡と呼ぶ。

三相の電動機の入力電圧が不平衡であると、 電圧によって電動機に 電流が流れる。これによる回転磁界は回転方向と反対方向であるためブレーキとして作用し、電動機入力が増加して損失が増加すると共に、温度上昇や振動・騒音の増加を招く。

電圧不平衡が発生するのは、三相交流回路の各相に接続する単相負荷が均等でなく電流が不平衡となる場合や、配電線路のインピーダンスが相間で異なる場合などである。電圧不平衡を抑制するためには、発生要因が前者の場合、次の①及び②のような対策などが考えられる。

① 単相負荷を各相にバランスするように配分する。

② 同等容量の二組の単相負荷に電源供給する場合は、三相を二相に変換する 結線の変圧器を用いる。

< 及び の解答群 >

ア スコット

イ Y-Y

ウ Δ -Y

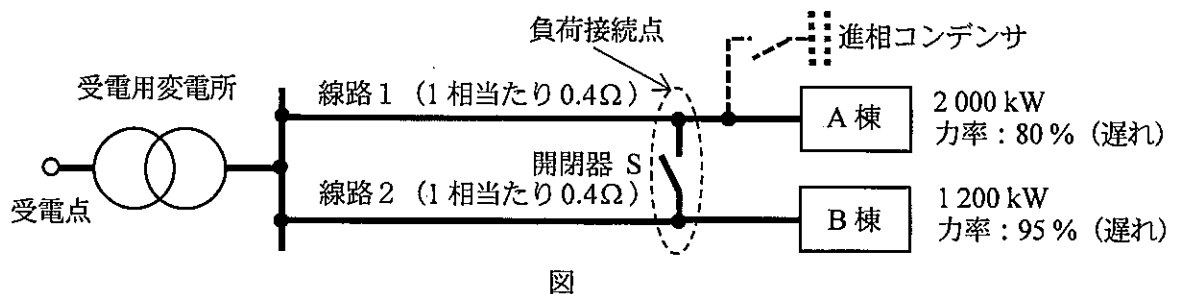
エ 逆相

オ 零相

カ 直流

(4) ある工場では、図に示すように、三相3線式2回線の6600V高圧配電線路により、A棟とB棟に配電している。負荷の大きさは、A棟が2000kW（遅れ力率80%）、B棟が1200kW（遅れ力率95%）であり、いずれも平衡三相で定電力負荷である。

ここで、線路1及び線路2は線路インピーダンスが等しく、1相当たりの抵抗は 0.4Ω で、リアクタンス分や線路1及び線路2以外のインピーダンスは無視できるものとする。また、開閉器Sが閉路のときの負荷接続点の電圧は6600Vで、常に一定に維持されているものとし、負荷力率は力率改善前後で変わらないものとする。



図

1) 開閉器Sが閉路のとき、線路1及び線路2の合計の電力損失は、それぞれの線路の電流と抵抗から求めることができる。線路1の負荷接続点の電圧が6600V一定に維持されるように送電することとし、その結果、線路2の電圧が6650V一定となった。そのとき、両線路の合計の電力損失は $\boxed{A \text{ ab.c}}$ [kW]となる。

2) 開閉器Sが閉路のとき、負荷接続点の電圧が6600V一定で、両線路の電流は均等となることから、各線路の1相当たりの電流は $\boxed{B \text{ abc}}$ [A]となる。これにより、発生する線路の電力損失は両線路の合計で $\boxed{C \text{ ab.c}}$ [kW]となり、開閉器Sが開路のときより低減する。

3) 開閉器Sが閉路のとき、負荷接続点におけるA棟とB棟を合計した負荷の力率を100%に改善するため、図の破線のように進相コンデンサを設置した。

i) 設置した進相コンデンサの必要容量は $\boxed{D \text{ a.bc} \times 10^d}$ [kvar]である。

ii) 進相コンデンサの設置により力率が100%に改善されるため、線路1と線路2で発生する電力損失は合計で $\boxed{E \text{ ab.c}}$ [kW]となり、損失量は低減する。

(電気機器)

問題9 次の各文章の [1] ~ [11] の中に入れるべき最も適切な字句等をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。

また、[A | abcd] ~ [E | 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) 変圧器の損失と効率について考える。

1) 変圧器の規約効率の算定に用いられる全損失は、無負荷損(鉄損と [1] 及び励磁電流による巻線での銅損の和)と負荷損(銅損と漂遊負荷損の和)から成る。無負荷損の大部分を占める鉄損は、ヒステリシス損と渦電流損に分けられる。ヒステリシス損は、鉄心の磁化ヒステリシス現象により生じる損失で、交番磁界の下では [2] の1乗と [3] の1.6~2乗に比例するものとして表せる。渦電流損は、鉄心中で磁束の変化に起因して発生する抵抗損である。

< [1] ~ [3] の解答群 >

- | | | |
|--------|----------|---------|
| ア 抵抗損 | イ 補機損 | ウ 誘電体損 |
| エ 印加電圧 | オ 最大磁束密度 | カ 電流密度 |
| キ 周波数 | ク 飽和磁束 | ケ 誘導起電力 |

2) 最近の変圧器は、損失の少ない鉄心材料を使用しているため無負荷損が減少し、最高効率となる負荷点が [4] 側に移行する傾向にある。配電用油入変圧器のエネルギー消費効率の基準値は、日本産業規格 JIS C 4304 で規定しており、この値を計算するときの基準負荷率は、定格容量によって分類され、500kVA超では [5] [%] となっている。

< [4] 及び [5] の解答群 >

- | | | | | |
|------|------|------|-------|-------|
| ア 40 | イ 50 | ウ 75 | エ 高負荷 | オ 低負荷 |
|------|------|------|-------|-------|

(2) 同期電動機の制動巻線は、回転子の に施された一種のかご形巻線である。この巻線は、三相かご形誘導電動機の二次巻線と同じような働きをする。

制動巻線は、運転中に負荷変動等により負荷角が変動し回転速度が動揺しても、制動巻線中を誘導電流が流れることで を抑制するよう作用する。

また、始動巻線としても利用され、制動巻線によって同期速度付近となったところで、回転子に施された界磁巻線に 電流を流すことで、回転子は同期速度に引き入れられる。このため、制動巻線を始動巻線ともいい、この始動法を自己始動法という。一般に、この駆動トルクはあまり大きくできないので、始動は軽負荷で行う。

< ~ の解答群 >

- | | | |
|---------|-------|---------|
| ア 逆相電流 | イ 高調波 | ウ 負荷 |
| エ 無負荷 | オ 乱調 | カ 励磁 |
| キ 交流励磁機 | ク 磁極面 | ケ 電機子巻線 |

(3) パワー半導体デバイスのオンオフ動作を用いて、交流を介することなく直流電圧を直接制御する回路は、直流チョッパと称される。直流チョッパは、スイッチングバルブデバイス、、リアクトル及びコンデンサなどが主要な回路構成用品である。

スイッチングバルブデバイスがオン状態にある期間を t_{on} 、オフ状態にある期間を t_{off} 、1周期を $T = t_{on} + t_{off}$ とするとき、 $\alpha = \frac{t_{on}}{T}$ は1周期中でのオン時間比率であり、 率と称される。

昇圧チョッパの出力電圧と電源電圧の関係は、電源電圧を E_s 、直流チョッパの平均出力電圧を V_d とすると、式 で表される。ただし、バルブデバイスなどの回路の損失はないものとする。

< ~ の解答群 >

- | | | |
|---|---|---|
| ア $V_d = \frac{t_{on}}{t_{off}} \times \frac{1}{E_s}$ | イ $V_d = \frac{t_{on} + t_{off}}{t_{off}} \times E_s$ | ウ $V_d = \frac{t_{off}}{t_{on} + t_{off}} \times E_s$ |
| エ サイリスタ | オ ダイオード | カ ブリッジ回路 |
| キ 制御 | ク 通電 | ケ 通流 |

問題9は次の頁に続く

(4) 三相変圧器で、一次電圧 6 600 V、二次電圧 210 V、定格容量 1 000 kVA の変圧器があり、負荷が定格容量の 50 % の大きさで力率が 100 % のとき、最大効率 99.4 % が得られた。なお、短絡インピーダンスの抵抗 r とリアクタンス x の比 $\frac{x}{r}$ は 7.05 とする。

1) この変圧器の無負荷損は

A	abcd
---	------

 [W] であり、定格容量時の負荷損は

B	abcd
---	------

 [W] となる。

2) この変圧器に定格容量で力率が 80 % (遅れ) の負荷を接続したときの効率は

C	ab.c
---	------

 [%] となる。

3) この変圧器の短絡インピーダンスは

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

 [%] となるので、高圧側を定格電圧値に維持して低圧側を短絡した場合、二次側の短絡電流は定格電流の

E	ab.c
---	------

 倍となる。

(電気機器)

問題 10 次の文章の ～ の中に入れるべき最も適切な字句等をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。

また、 a.b ～ abc 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) 三相誘導電動機の運転において、滑りを s とするとき、 $s < 0$ 、 $0 \leq s \leq 1$ 、 $s > 1$ の三つの運転領域がある。 $0 \leq s \leq 1$ の領域では、通常の誘導電動機動作であり、回転子は回転磁界と同方向に同期速度以下で回転し、発生トルクは正である。

$0 \leq s \leq 1$ 以外の運転領域における特性については次のようになる。

1) $s < 0$ の領域では、回転子は回転磁界と同方向に同期速度より速い速度で回転する。したがって、入力負となり、トルクは回転方向と反対方向となるので、電動機運転では トルクとなる。また、この領域では誘導発電機として動作するが、 を必要とするため、通常、電源系統から切り離されると単独では発電できない。

< 及び の解答群 >

ア 加速 イ 駆動 ウ 制動 エ 極数切替
オ 循環電流 カ 励磁電流

2) $s > 1$ の領域では、回転子は回転磁界と反対方向に回転する。発生トルクは正であるが回転子の回転方向と反対であるため、機械的出力は負となる。通常、この領域は制動領域と称され、運転中の電動機で電源の 3 線中の 2 線を入れ替える 制動では、この領域を利用する。この制動法での電力損失は主に で熱として放出される。

< 及び の解答群 >

ア 一次巻線 イ 電源回路 ウ 二次抵抗 エ 回生
オ 逆相 カ 発電

(2) 希土類永久磁石の性能向上と共に、永久磁石形同期電動機が産業分野でも採用されている。回転子側巻線をなくすことで損失を大幅に改善した電動機であり、適用分野が拡大しつつある。

1) 永久磁石形同期電動機は、同期電動機の [5] 巻線の代わりに永久磁石を用いた電動機であり、三相誘導電動機と比較して高効率、高力率、低騒音、省スペース、保守の容易さなどの特長を持つことから、多様な用途に用いられるようになってきた。

2) 永久磁石形同期電動機の発生トルクは、永久磁石の磁束 (d 軸方向) とこれと直交する電流 (q 軸方向) によって発生し、これらの値の [6] で大きさが定まるマグネットトルクであり、さらに埋込磁石式では、磁気抵抗が回転子の円周上の位置によって不均一になる、いわゆる [7] 性によって発生するリラクタンストルクがこれに加わる。

< [5] ~ [7] の解答群 >

ア 差 イ 積 ウ 和 エ 対称 オ 突極
カ 非線形 キ 電圧 ク 電機子 ケ 励磁

3) 永久磁石形同期電動機の駆動には、インバータなどの専用の制御装置が用いられる。回転子の位置情報を元にインバータによって大きさと周波数及び位相が制御された電流によって生じる [8] と、永久磁石の磁力との相互作用により、トルクと回転速度が制御される。

< [8] の解答群 >

ア 回転磁界 イ 飽和磁束 ウ 漏れ磁束

4) 永久磁石形同期電動機では、回転速度に比例して誘導起電力が増加するので、高速領域で電動機に加える電圧が誘導起電力より低いと [9] を発生できなくなる。このため、埋込磁石式では電機子電流の誘導起電力に対する位相を進み方向に制御し、電機子反作用により同期電動機の磁束を [10] ことによって、効率をあまり低下させることなく運転範囲の拡大を図っている。

< [9] 及び [10] の解答群 >

ア トルク イ 無効電力 ウ 有効電力 エ 強める オ 弱める カ なくす

(3) 定格出力が15kW、定格周波数が50Hzで4極の三相かご形誘導電動機があり、定格回転速度が 1440 min^{-1} 、定格運転時の効率が88.5%である。この電動機の負荷損は全て銅損であるものとし、一次銅損と二次銅損は常に等しいものとする。ただし、円周率 $\pi = 3.14$ とする。

1) この電動機の定格出力時における滑り s は

A	a.b
---	-----

 [%]である。また、このときのトルクは

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

 [N·m]である。

2) この電動機の定格出力時の二次銅損は滑りと定格出力から算出でき、

C	abc
---	-----

 [W]となる。

3) 定格負荷時の効率が88.5%なので、固定損と銅損の合計は

D	abcd
---	------

 [W]となる。

4) 一次銅損と二次銅損は等しいとしているので、固定損は

E	abc
---	-----

 [W]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、解答群の字句等（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。なお、下位の桁の値が「0」となる場合にも 0 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、解答すべき数値を求める過程の計算においても、必要となる桁数には十分配慮し、「解答として最後に四捨五入した数値」が、「解答が求める最小位まで有効な値」となるようにすること。

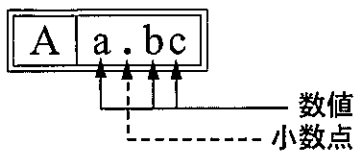
(2) 既に解答した数値を用いて次の問題以降の計算を行う場合も、必要に応じて四捨五入後の数値ではなく、四捨五入前の数値を用いて計算することなど、(1) の計算条件を満足すること。

(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、(1) の「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。」の計算条件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 $\pi = 3.1415\cdots$ 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)

6.795...
↓ 四捨五入
6.80

(解答)

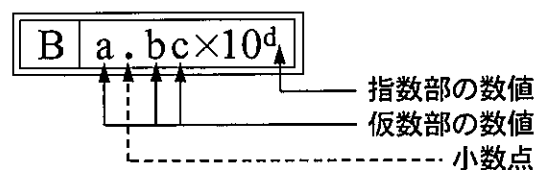
「680」を
塗りつぶす



A		
a	b	c
0	0	0
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
●	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)

「9182」を
塗りつぶす



B			
a	b	c	d
0	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