

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

1～6 ページ

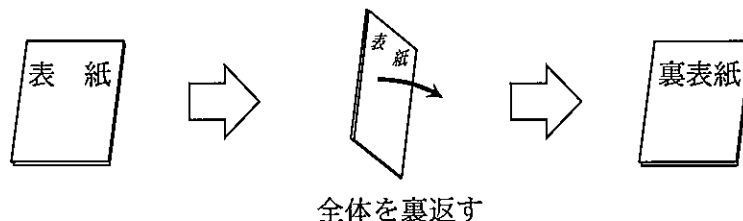
問題 9, 10 電気機器

7～13 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 ～ 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.bc ～ 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) 工場配電における保護リレーシステムについて考える。

1) 保護リレーシステムは、受配電系統や負荷設備における短絡事故や地絡事故など、回路の異常を検出して ことによってその波及範囲を最小限に抑えることを主目的としている。

この目的を達成するためのシステム性能として、確実性、迅速性及び選択性が必要不可欠である。

< の解答群 >

ア 事故部位を健全系統から切り離す

イ 受電電圧を切り替える

ウ 全送電を一時的に停止する

2) 保護リレーシステムは、基本的には主回路電圧・電流の値を保護リレーに入力するための 、異常を検出する保護リレー、及び異常な回路を系統から除去するための で構成される。

なお、近年の保護リレーは、従来の機械式リレーと比べて高速度での検出が可能であること、衝撃や振動に対する耐性が高いこと、などの特長を有する 形リレーが主流となっている。

< ～ の解答群 >

ア デジタル

イ プランジャー

ウ 誘導

エ 演算増幅器

オ 計器用変成器

カ 遮断器

キ 整流器

ク 断路器

ケ 避雷器

(2) 配電線路によって需要設備へ電力供給を行う形態として、一般的には定電圧方式が採用されている。ただし、実際には負荷の変動による線路の電圧降下などにより負荷端電圧が変動するので、このことを考慮した設備構成や運用を行うことが求められる。

この電圧降下を低減し、負荷機器の許容電圧範囲内に収めるためには、例えば次のような対策が考えられる。

① 配電用変圧器を負荷中心点近くに配置

変圧器二次側の低電圧で電圧降下の大きい配電区間を縮小することにより、線路全体での電圧降下を低減させる。これにより、線路全体での も低減できる。

② 系統インピーダンスの低減

インピーダンスの低減方法としては、配電線路の太線化、こう長の 、短絡インピーダンスの低い変圧器の採用などがある。ただし、短絡インピーダンスの低い変圧器を採用する場合は、 の増加による回路への影響を考慮する必要がある。

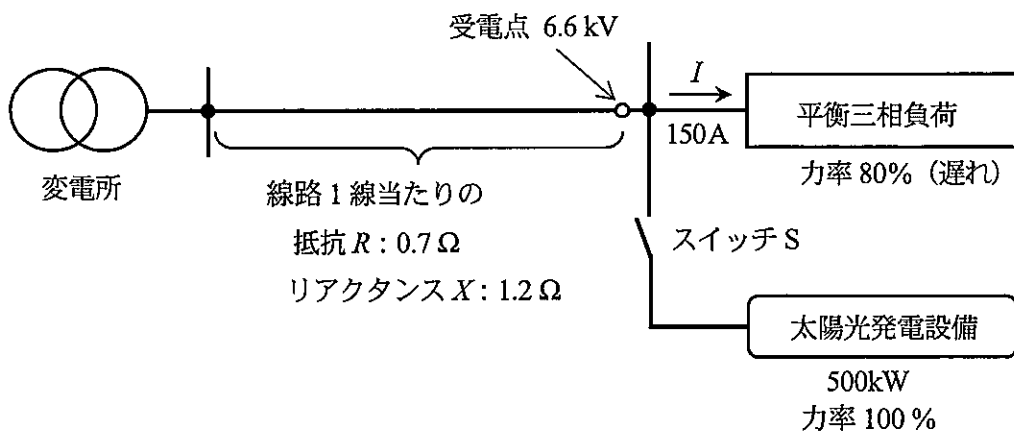
< ~ の解答群 >

- | | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| ア 延長 | イ 短縮 | ウ 短絡電流 | エ 漏れ電流 |
| オ 電力損失 | カ 無効電力 | キ 有効電力 | |

(3) 図に示すような、変電所から三相 3 線式高圧配電線で供給されている平衡三相負荷がある。
 受電点の電圧は 6.6 kV、電流 I が 150 A、負荷力率 $\cos \phi$ が 80% (遅れ) であり、受電点までの線路
 1 線当たりの抵抗 R が 0.7Ω 、リアクタンス X が 1.2Ω である。

ただし、受電点の電圧は負荷回路の条件によらず、常に 6.6 kV であるとする。また、線路の電圧
 降下 ΔV は、次の簡略式を用いて求めることとし、図に示す受電点までの線路以外の電圧降下は
 無視するものとする。

$$\Delta V = \sqrt{3} I (R \cos \phi + X \sin \phi)$$



図

- 1) スイッチ S を開いた状態で、変電所から三相負荷に電力を供給したとき、受電点の電圧を 6.6 kV に維持するために必要となる変電所の送り出し電圧は A | a.bc [kV] となる。

- 2) スイッチ S を閉じて、500 kW、力率 100% で発電している太陽光発電設備を連系したとき、受電点の有効電力は B | abc [kW]、力率は C | ab [%] となり、変電所からの線路電流が D | abc [A] となる。そのため、引き続き受電点の電圧を 6.6 kV に維持するために必要となる変電所の送り出し電圧は E | a.bc [kV] となる。

(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、 は複数箇所あるが、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) 工場内に多く用いられる電動機等は、誘導性負荷であるため電圧に対して電流の位相が遅れて が生じ、これにより力率が低下する。また、配電損失も増加するため、力率の改善が必要である。

力率改善には進相コンデンサが用いられる。進相コンデンサには、開放時の残留電荷を放電させる などが設置される。また、コンデンサ投入時における突入電流の抑制のため、通常は を設置する。これと進相コンデンサの組合せがフィルタとなり、回路電圧の も抑制できる。 のインピーダンスは、一般的にコンデンサのインピーダンスの [%] 又は 13 % の値が用いられる。

< ～ の解答群 >

- | | | | |
|-------------|-----------|---------|-----------|
| ア 4 | イ 6 | ウ 8 | エ タイムスイッチ |
| オ プロテクタヒューズ | カ 直列リアクトル | キ 放電抵抗 | ク ハンチング |
| ケ フェランチ効果 | コ 電圧上昇 | サ 波形ひずみ | シ 短絡電流 |
| ス 無効電流 | セ 有効電流 | | |

問題 8 は次の頁に続く

(2) 配電線路に接続される機器で発生する高調波は、接続されている他の機器に障害を引き起こすことがある。このため、高調波を発生する機器にはその抑制対策が、影響を受ける機器には高調波に対する耐力の向上が必要である。

高調波の発生原因となる機器としては、次の①から③などが挙げられる。

- ① 鉄心を有し 特性を持つ変圧器、回転機などの機器
- ② 整流装置やインバータなどに使用される
- ③ アーク炉（アーク電流）

「高圧又は特別高圧で受電する需要家の高調波抑制ガイドライン」では、6.6 kV 以上で受電する需要家に対し、高調波流出電流の上限値が契約電力に応じて規定されている。この規定は、高調波環境目標レベルとして、高圧配電系統では総合電圧ひずみ [%] を維持するように定めたものである。

< ~ の解答群 >

- | | | | | |
|------------|--------|---------|------------|-------|
| ア 3 | イ 5 | ウ 7 | エ デマンド監視装置 | オ 断路器 |
| カ 半導体電力変換器 | キ 線形磁化 | ク 非線形磁化 | ケ 負性 | |

(3) ある工場の、電力の日負荷曲線が図1の実線で示されている。

このときの、この工場の日負荷率は [%] である。

この工場で、負荷率の改善のために蓄熱システムを採用することで、図中の8時から16時までの時間帯のXの部分の負荷を、22時から翌日8時までの時間帯のYの部分に移行するものとした。蓄熱システム導入前後で総消費電力量は変わらないものとするとき、負荷率を60%に改善するために必要な移行電力量Xは [kW・h] である。

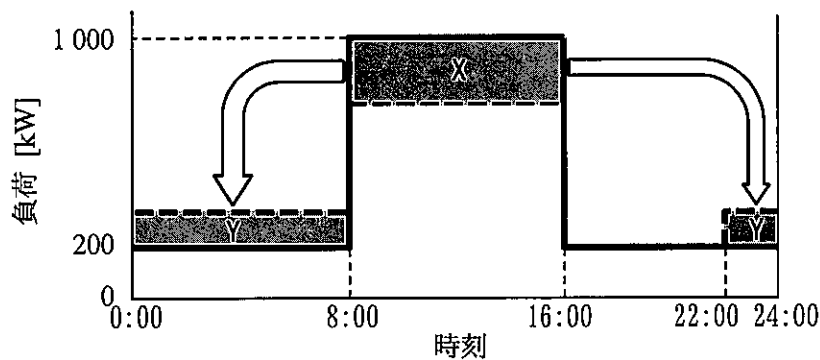


図1 工場の日負荷曲線

(4) 図2に示すように、6.6 kV 三相3線式高圧配電線路に、負荷1、負荷2及び負荷3の平衡三相負荷と力率改善用コンデンサが接続されている。各負荷の最大需要電力及び力率はそれぞれ表のとおりであり、力率は負荷変動によらず一定である。また、これらの負荷稼動時における不等率は1.3である。

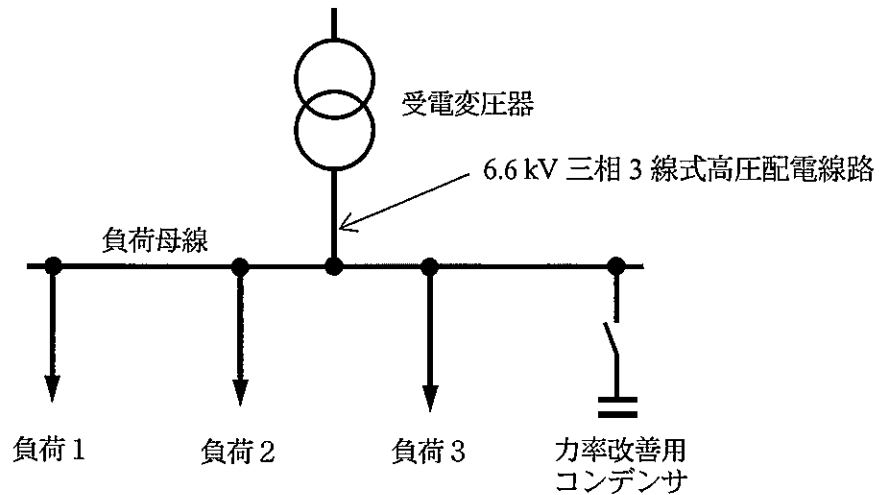


図2 高圧配電系統

表 負荷の最大需要電力及び力率

	負荷1	負荷2	負荷3
負荷の最大需要電力	1200 kW	600 kW	800 kW
力率	80% (遅れ)	90% (遅れ)	100%

- この工場の合成最大需要電力は [kW] である。
- 合成最大需要電力が出現するときの各負荷の電力内訳は、負荷1が1200 kW、負荷2が600 kWであり、残りが負荷3であった。力率改善用コンデンサが投入されていない場合の全体の無効電力は [kvar]、総合力率は [%] である。
- 合成最大需要電力が出現するときの力率を95% (遅れ) まで改善するために必要な力率改善用コンデンサの容量は、 [kvar] である。

(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等をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。

また、 abc ~ ab.cd 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)

(I) 変圧器の規約効率の算定に用いられる全損失は、鉄損、誘電体損、無負荷電流による巻線の抵抗損などの和である無負荷損、及び銅損と漂游負荷損の和である負荷損で構成される。

無負荷損の大部分を占める鉄損は、ヒステリシス損と 損に分けられ、周波数及び印加電圧が一定の下では、無負荷損は負荷電流 。

一方、負荷損は巻線の抵抗と、そこを流れる電流によって生じる抵抗損と漏れ磁束によって金属部分に生じる漂游負荷損であり、負荷損は負荷電流 。なお、規約効率算定のための負荷損としては、測定した負荷損を 温度に補正した値を使用する。

< ~ の解答群 >

ア 渦電流

イ 風

ウ 補機

エ 基準周囲

オ 基準巻線

カ 許容最高

キ に比例して変化する

ク の2乗に比例して変化する

ケ の逆数に比例して変化する

コ の大きさに関係なく一定である

(2) 変圧器に負荷を接続すると、損失により発生した熱によって変圧器各部の温度が上昇する。各部の測定温度と 温度との差は温度上昇と呼ばれる。温度上昇は、変圧器の寿命に関係しており、定格値を定める主要な因子の一つである。

ある変圧器の最大効率が、定格容量の 40 % の負荷を接続したときであったとすると、定格容量時の負荷損は無負荷損の 倍となるので、定格容量時の温度上昇値は、主として負荷損の値に左右される。

〈 及び の解答群 〉

ア 2.5 イ 6.25 ウ 16 エ 許容最高 オ 平均 カ 冷媒

(3) 巻線形三相誘導電動機の二次端子を開放した状態で、一次巻線に一定周波数 f_1 の三相正弦波交流電圧を印加すると、 は流れるが二次電流が流れないので、回転子は回転しない。二次端子を短絡すると二次電流が流れるので、一次電流により発生する と二次電流によって、回転子にトルクが発生し、回転子は回転を始める。

誘導電動機の L 形等価回路における二次抵抗（一次換算値）を r_2 、二次電流（一次換算値）の大きさを I_2 、一次側電源の相数を m_1 とする。ある運転状態において、回転子が滑り s で回転している場合、二次入力 $P_2 = m_1 I_2^2 \frac{r_2}{s}$ [W] と表されるので、二次銅損 P_{c2} との関係は、 となる。なお、一次換算ではなく実際の二次巻線に発生する起電力の周波数は [Hz] である。

回転子に負荷を接続し、その負荷トルクを増大させると回転速度は少し低下する。すなわち、滑りは少し になり、二次巻線に発生する起電力が大きくなる。その結果、二次電流が増加し、負荷トルクと平衡するだけの大きさのトルクを発生する。

〈 ～ の解答群 〉

ア sf_1 イ $\frac{f_1}{s}$ ウ $(1-s)f_1$ エ $P_{c2} = sP_2$
 オ $P_{c2} = s^2P_2$ カ $P_{c2} = \frac{s}{r_2}P_2$ キ 回転磁界 ク 回転速度
 ケ 交番磁界 コ 始動電流 サ 負荷電流 シ 励磁電流
 ス 減少すること セ 増加すること ソ 負の値

(4) 図は、定格容量 $5.5\text{MV}\cdot\text{A}$ 、定格二次電圧 11 kV の単相変圧器の二次換算簡易等価回路を示したものである。二次側には、電圧 \dot{V}_{2n} を定格値に維持しながら、容量 $5.5\text{MV}\cdot\text{A}$ で力率 0.8 (遅れ) の負荷が接続されている。なお、図中で巻線抵抗は $0.09\ \Omega$ 、漏れリアクタンスは $1.88\ \Omega$ であり、励磁アドミタンス \dot{Y}_0 は次式で表される。

$$\dot{Y}_0 = (30.15 - j233.6) \times 10^{-6} \text{ [S]}$$

また、無負荷損は印加電圧の 2 乗に比例するものとする。

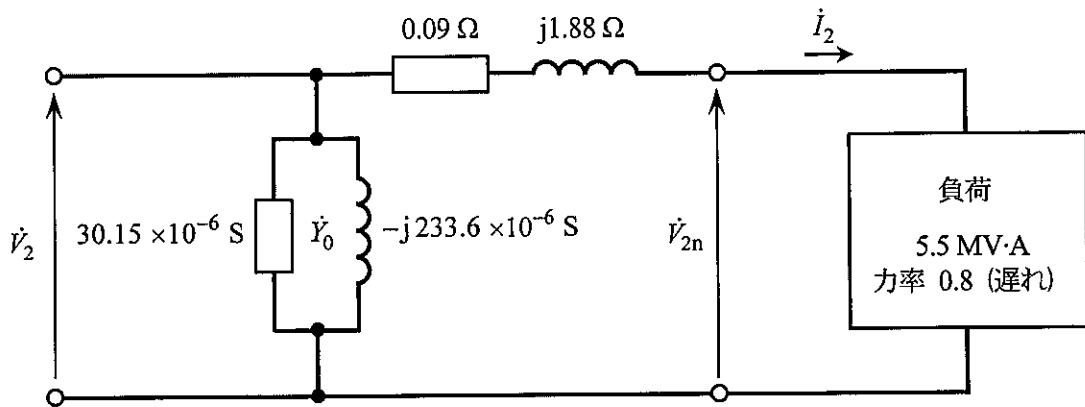


図 二次換算簡易等価回路

- 1) 二次側に流れる電流 \dot{I}_2 の大きさ I_2 は

A	abc
---	-----

 [A] となる。
- 2) $5.5\text{MV}\cdot\text{A}$ 、力率 0.8 (遅れ) の負荷が抵抗 R_L [Ω] とリアクタンス X_L [Ω] の直列回路で表されるとすると、 $R_L =$

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

 [Ω]、 $X_L =$

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

 [Ω] となる。
- 3) 負荷のインピーダンスに変圧器のインピーダンスを加算し、二次電流 I_2 が流れる電圧 \dot{V}_2 の大きさ V_2 は

D	ab.cd
---	-------

 [kV] となる。
- 4) この変圧器の定格負荷時の全損失は

E	ab.cd
---	-------

 [kW] となる。

(電気機器)

問題 10 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、 は複数箇所あるが、同じ記号が入る。

また、 abcd ～ 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) 同期発電機において、特性を示すパラメータの一つである短絡比について考える。

1) 短絡比とは、定格速度において、「無負荷で定格電圧を発生するのに必要な界磁電流」の、「三相全端子を短絡して 電流に等しい電流を発生するのに必要な界磁電流」に対する比である。

2) 短絡比が大きい同期発電機は、同期インピーダンスが ので、電機子反作用の影響が 。このような発電機とするには、電機子巻線の巻数を少なくするか、ギャップの長さを大きくするか、又はその両方が必要である。この場合、一定の誘導起電力を得るには、磁束を増やすため界磁起磁力を増やすか又は 断面積を増加させることになり、いずれの場合でも発電機の寸法が大きくなる。

< ～ の解答群 >

ア 持続短絡 イ 定格負荷 ウ 無負荷 エ 制動巻線 オ 鉄心
カ 導体 キ 大きい ク 小さい ケ 等しい

3) 短絡比の大きな同期発電機は 機械と呼ばれ、 が小さく過渡安定度は良好であるが高価である。

< 及び の解答群 >

ア 線路充電容量 イ 脱出トルク ウ 電圧変動率
エ 鉄 オ 電磁 カ 銅

(2) 図1に位相制御方式による交流電力調整回路を示す。負荷として純抵抗 R を考え、逆並列接続された2個のサイリスタ $Th1, Th2$ に対し、半周期毎に点弧角 α で交互にゲート信号を加えると、図2に示すような波形が得られる。

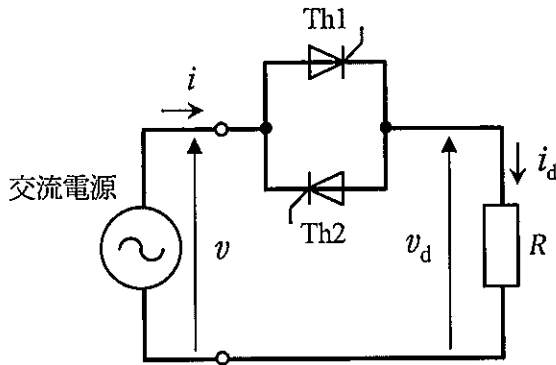


図1 交流電力調整回路

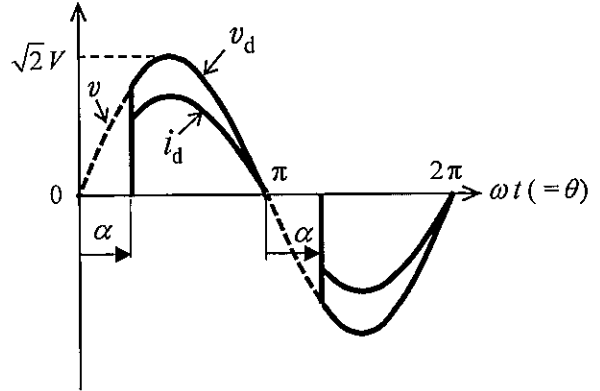


図2 位相制御回路の動作波形
(抵抗負荷時)

1) 交流電源の電圧 v の実効値を V とすると、 $v = \sqrt{2}V \sin \omega t$ である。ここで $\omega t = \theta$ とし、 $\cos 2\theta = 1 - 2\sin^2 \theta$ の関係式を用いると、負荷に現れる電圧 v_d の実効値 V_d は次式で求められる。

$$V_d = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} v_d^2 d\theta} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (\sqrt{2}V \sin \theta)^2 d\theta} = V \sqrt{\left(1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{1}{2\pi} \times \boxed{6}\right)} \quad \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

式①から、点弧角 α を制御することによって、実効値 V_d を $0 \sim V$ の範囲で連続的に変化できることが分かる。

点弧角 α が零の場合、負荷抵抗には交流電源と同じ波形の電圧が印加されるので、負荷で消費される電力 P_0 は $\boxed{7}$ となる。式①において点弧角 $\alpha = \frac{\pi}{2}$ [rad] とすると、実効値 V_d は

$\boxed{8}$ となるので、負荷で消費される電力 P_α は $\boxed{9}$ となる。

< $\boxed{6}$ ~ $\boxed{9}$ の解答群 >

- | | | | | |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|
| ア $\sqrt{2}V$ | イ $\frac{V}{\sqrt{2}}$ | ウ $\frac{\sqrt{2}}{V}$ | エ $\frac{\sqrt{2}V}{R}$ | オ $\frac{\sqrt{2}V}{2R}$ |
| カ $\frac{V^2}{R}$ | キ $\frac{V^2}{2R}$ | ク $\frac{V^2}{\sqrt{2}R}$ | ケ $\frac{V^2}{2\sqrt{2}R}$ | コ $\sin \alpha$ |
| サ $\sin 2\alpha$ | シ $\sin \frac{1}{\alpha}$ | | | |

2) 次に負荷抵抗に代えて力率角 φ の誘導性負荷を接続した場合の運転について考える。

誘導性負荷をこの交流電力調整装置で出力となる実効値 V_d すなわち交流電力を安定して制御できるのは、点弧角 α を の範囲で運転したときとなる。

負荷が純インダクタンスであるとする、出力の交流電圧を調整可能な最小点弧角 α は、電圧位相で [rad] のときである。純インダクタンス負荷を、制御可能範囲内の点弧角 α_1 で運転したとすると、入力交流電流 i の電流波形における基本波成分の位相は、電源電圧 v の位相に対して [度] となるので、無効電力の大きさを調整することができる。

この機能を適用した装置に、リアクトル位相制御方式の静止形無効電力補償装置 (SVC) がある。

< ~ の解答群 >

- | | | | | |
|----------------------------|-------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| ア $\frac{\pi}{4}$ | イ $\frac{\pi}{2}$ | ウ $\frac{2\pi}{3}$ | エ $0 < \alpha < \varphi$ | オ $\frac{\pi}{2} < \alpha < \varphi$ |
| カ $\varphi < \alpha < \pi$ | キ 遅れ 60 | ク 進み 60 | ケ 遅れ 90 | コ 進み 90 |

(3) 定格出力 7200kW、定格電圧 6600V、定格周波数 60Hz、極数 4、定格力率 0.9 (遅れ) の三相同期発電機がある。この発電機の同期インピーダンス x_s は 4.54Ω である。なお、電機子抵抗 r_a は無視できるものとする。従って、発電機端子における相電圧 \dot{V} 、負荷電流 \dot{I}_a 、力率角 φ 及び誘導起電力 \dot{E}_0 を示すベクトル関係は、次の図のようになる。

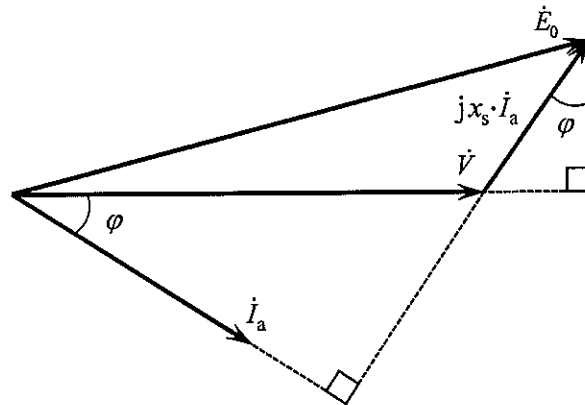


図3 三相同期発電機のベクトル図

- 1) この発電機の定格回転速度は [abcd] [min^{-1}] である。
- 2) この発電機の定格電流は [abc.d] [A] である。
- 3) この発電機が定格電流及び定格力率で運転されているときの 1 相分の \dot{E}_0 の大きさ E_0 は、
 [abcd] [V] となる。
- 4) この発電機の三相持続短絡電流は [abc.d] [A] と計算されるので、短絡比 K は [a.b] となる。

(空 白)

(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。

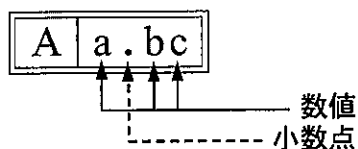
(2) 既に解答した数値を用いて次の問題以降の計算を行う場合も、必要に応じて四捨五入後の数値ではなく、四捨五入前の数値を用いて計算することなど、(1)の計算条件を満足すること。

(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 $\pi = 3.1415...$ 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)

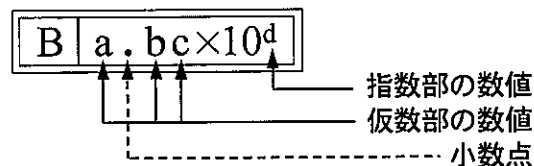
「680」を
塗りつぶす



A		
a	b	c
0	●	
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
	①	①	①
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