

令和元年度

第 1 種

機 械

(第 3 時限目)

答案用紙記入上の注意事項等

1. マークシート（答案用紙）は機械で読み取りますので、濃度HBの鉛筆又はHBの芯を用いたシャープペンシルで濃く塗りつぶしてください。
色鉛筆やボールペンでは機械で読み取ることができません。
なお、訂正は「プラスチック消しゴム」できれいに消し、消しくずを残さないでください。
2. マークシートには氏名、生年月日、試験地及び受験番号を記入し、受験番号のマーク欄にはマークシートに印刷されているマーク記入例に従い、正しくマークしてください。

（受験番号記入例：0141N01234Aの場合）

受 験 番 号										
数 字			記号	数 字			記号			
0	1	4	1	N	0	1	2	3	4	A
●					●	0	0	0	0	●
①	●	①	●		①	●	①	①	①	Ⓑ
②		②	②		②	②	●	②	②	Ⓒ
③		③	③		③	③	③	●	③	Ⓓ
④		●	④		④	④	④	④	●	Ⓔ
⑤			⑤		⑤	⑤	⑤	⑤	⑤	Ⓜ
⑥			⑥	●	⑥	⑥	⑥	⑥	⑥	Ⓝ
⑦					⑦	⑦	⑦	⑦	⑦	
⑧					⑧	⑧	⑧	⑧	⑧	
⑨					⑨	⑨	⑨	⑨	⑨	

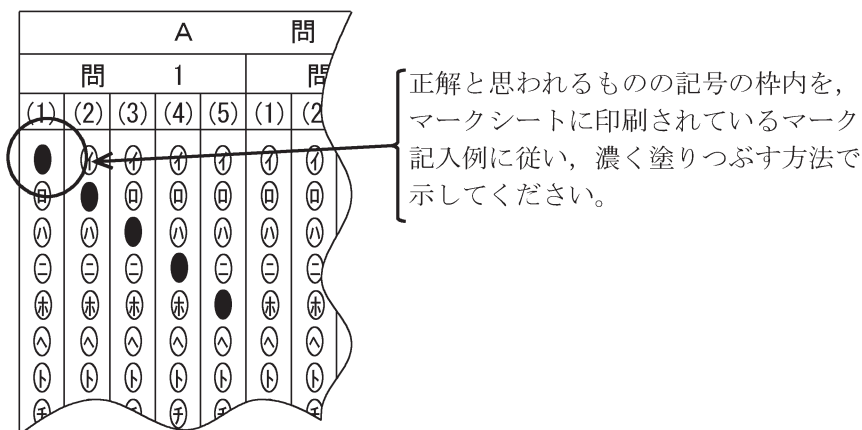
3. マークシートの余白及び裏面には、何も記入しないでください。
4. マークシートは、折り曲げたり汚したりしないでください。

5. 解答は、マークシートの間番号に対応した解答欄にマークしてください。

例えば、問1の (1) と表示のある間に対して(イ)と解答する場合は、下の例のように問1の(1)の イ をマークします。

なお、マークは各小間につき一つだけです。二つ以上マークした場合には、採点されません。

(マークシートへの解答記入例)



6. 問6と問7は選択問題です。どちらか1問を選択してください。選択問題は両方解答すると採点されません。

7. 問題文で単位を付す場合は、次のとおり表記します。

① 数字と組み合わせる場合

(例： 350 W $f=50$ Hz 670 kV·A)

② 数字以外と組み合わせる場合

(例： I [A] 抵抗 R [Ω] 面積は S [m^2])

(この問題は持ち帰ってください。また、白紙部分はメモ用紙として使用できます。)

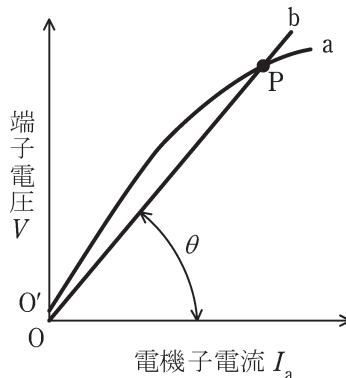
次ページ以降は試験問題になっていますので、試験開始の合図があるまで、開いてはいけません。

試験問題に関する質問にはお答えできません。

A問題(配点は1問題当たり小問各2点, 計10点)

問1 次の文章は, 容量性負荷における同期発電機に関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

無負荷の長距離送電線に同期発電機を無励磁で接続しても, 送電線の線間及び対地静電容量の影響によってこれらを充電する電機子電流が流れ, これによって発電機の端子電圧が高められ, さらに電流が増すという過程を繰り返して, 端子電圧が著しく増大することがある。このときの同期発電機の電機子電流 I_a に対する端子電圧 V は図の曲線 $O'a$ のような飽和特性であるとする。同期発電機に上述の静電容量に相当する1相当たりキャパシタンス C の容量性負荷を接続した場合, その電圧電流特性を直線 Ob で表し, その傾きを $\tan\theta$ とする。発電機には残留磁気による誘導起電力 OO' を生じているから, これによって (1) の電機子電流が流れる。この電流による電機子反作用は (2) 作用となり端子電圧を上昇させ, ある電機子電流 I_a に対して飽和曲線 $O'a$ の方が直線 Ob よりも大きい間は電圧及び電流ともに増加し続け, 曲線 $O'a$ と直線 Ob の交点 P に達し, この点で安定し運転を持続する。このような現象を同期発電機の (3) といい, 点 P を (4) 点という。点 P の電圧はキャパシタンス C の大きさによって上下する。 C が (5) く, 傾き $\tan\theta$ が小さい場合, 点 P の電圧が高くなる。その結果, 点 P の電圧が発電機の定格電圧より非常に高くなる場合には, 機器の絶縁を脅かすことになる。これを防ぐためには, その交点の電圧が同期発電機の定格電圧よりも低いことが必要である。



[問 1 の解答群]

- | | | | |
|----------|--------|----------|------------|
| (イ) 自動励磁 | (ロ) 同相 | (ハ) 減磁 | (ニ) 運転継続 |
| (ホ) 電圧確立 | (ヘ) 大き | (ト) 交差磁化 | (チ) 自動電圧調整 |
| (リ) 増磁 | (ヌ) 進相 | (ル) 励磁可能 | (フ) 小さ |
| (リ) 自己励磁 | (カ) 遅相 | (エ) 同期化 | |

問2 次の文章は、タップ切換変圧器に関する記述である。文中の [] に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

電源電圧や負荷の変動による出力電圧(二次電圧)の変化を補償するために、巻線の途中から口出し線を出してタップを設け、これを切り換えることで巻数比を変更できるようにしたものをタップ切換変圧器という。タップ切換変圧器には無電圧タップ切換変圧器と負荷時タップ切換変圧器とがある。

無電圧タップ切換変圧器は、変圧器をいったん回路から切り離し、無励磁状態とした後、タップ切り換えを行う。負荷時タップ切換変圧器は、負荷をかけたまま負荷時タップ切換装置により無停電でタップ切り換えを行う。

負荷時タップ切換変圧器は直接式と間接式とに大別される。直接式は、外部回路に接続された巻線の [(1)] 電流が負荷時タップ切換装置を通過するように結線された方式であり、間接式は、直列変圧器の励磁巻線を流れる電流が負荷時タップ切換装置を通過するように結線された方式である。

三相変圧器の高圧側が [(2)] の場合、タップを巻線の [(3)] に設けると、負荷時タップ切換装置の相間の絶縁を低減することができ、各相を一体化することができる。

負荷時タップ切換装置は無停電でタップを切り換えるため、タップ切り換えの途中では電圧の異なる二つのタップが一時的に橋絡され、その間に循環電流が流れる。この循環電流を制限するため、 [(4)] インピーダンスを挿入する。

切換開閉器は、タップ切り換え時に [(1)] 電流を投入、遮断する開閉器である。油中開閉器の場合、タップ切り換えの正常動作の際に発生するアークにより絶縁油が [(5)] する。この影響を避けるため、最近では真空バルブ式開閉器が用いられることが多い。

[問2の解答群]

- | | | | |
|----------|-----------|------------|---------|
| (イ) 励磁 | (ロ) 補償 | (ハ) スコット結線 | (ニ) 相殺 |
| (ホ) 限流 | (ヘ) 噴出 | (ト) 汚損 | (チ) 燃焼 |
| (リ) 始動 | (ヌ) デルタ結線 | (ル) 中間点 | (ヲ) 線路側 |
| (ワ) 中性点側 | (カ) 星形結線 | (ヨ) 負荷 | |

問3 次の文章は、自励式無効電力補償装置 STATCOM に関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

自励式無効電力補償装置 STATCOM は、 (1) の交流端子を連系リアクトルを介して交流系統に、直流端子を直流コンデンサに接続して構成する。 (1) の交流端子電圧の振幅、周波数及び位相を系統電圧と等しくすれば、交流側電流は零となる。この状態から、系統電圧に比べて、交流端子電圧の (2) すると、STATCOM は進相コンデンサのように振る舞い、進み無効電力を吸収する。また、系統電圧に比べて、交流端子電圧の (3) すると、 (1) に有効電力が流入するので、STATCOM ではこれが零となるように制御する。

変換器の PWM 制御により変調率を調節して無効電力を制御することもできるが、変調率を一定としたままで、直流コンデンサ電圧を調節することでも無効電力を制御できる。120 度通電の三相方形波変換器の直流コンデンサ電圧を V_d とすると、変換器の交流端子の線間電圧の基本波成分実効値は $V_1 = \frac{\sqrt{6}}{\pi} V_d$ である。この変換器を $X = 0.3$ p.u. の連系リアクトルを介して 6.6 kV の三相正弦波交流系統に接続して定格の進み無効電力を吸収する場合、連系リアクトルでの電圧降下を補償するため、変換器の交流端子の線間電圧基本波成分実効値を 1.3 p.u. とする必要がある。直流コンデンサ電圧を (4) にすればよい。このとき、5 次高調波に対する連系リアクトルのリアクタンスは、 $X_5 = 5X = 5 \times 0.3 = 1.5$ p.u. であり、変換器の交流端子の線間電圧の 5 次高調波成分は基本波成分の $\frac{1}{5}$ であるので、交流側電流の 5 次高調波成分は基本波成分の (5) 程度であり、サイリスタを用いた他励式無効電力補償装置に比べて、高調波発生量は少ない。

[問3の解答群]

- | | | |
|-------------|-------------|-------------|
| (イ) 20.0% | (ロ) 周波数を低く | (ハ) 位相を遅れに |
| (ニ) 振幅を小さく | (ホ) 電流形変換器 | (ヘ) 16.7% |
| (ト) 17.3% | (チ) 位相を進みに | (リ) 周波数を高く |
| (ヌ) 9.33 kV | (ル) 交流直接変換器 | (レ) 8.58 kV |
| (リ) 振幅を大きく | (カ) 11.0 kV | (ロ) 電圧形変換器 |

問4 次の文章は、アーク加熱に関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

アーク加熱はアーク放電によって生じるアークプラズマの熱によって被加熱物を加熱する方式である。燃焼によって得られる温度は高くても 3 000 °C 程度であるが、アーク加熱ではこの温度 (1) 高温が得られる。

アーク放電において、放電電極間の距離(アーク長)を一定とすると、アーク放電路(アーク陽光柱)の電圧(アーク電圧)は、電流が小さい領域では、電流が増えるにつれて (2) する特性をもつ。さらに電流が増えて大電流の領域になると、アーク電圧は、電流に依存せず、ほぼ一定となる。この領域では、アーク電圧はアーク長に (3) 。

このような大電流アークを用いた代表的な電炉として、鉄鋼スクラップを溶解する製鋼用アーク炉がある。電極には (4) を用い、被加熱物の鉄鋼スクラップが通電経路の一部となっている。電極は可動式でアーク長を調整する。アーク長とアーク電流を制御することで、鉄鋼スクラップへの投入熱量を制御している。

また、アーク炉に電力を供給する電力系統の短絡容量が比較的小さい場合には、 (5) を生じやすい。そのための対策には無効電力補償装置が広く用いられている。

[問4の解答群]

- | | | |
|--------------|-------------|--------------|
| (イ) ほぼ反比例する | (ロ) 銅 | (ハ) よりも数十倍高い |
| (ニ) 高調波電流の流出 | (ホ) 不規則に変化 | (ヘ) タングステン |
| (ト) 低下 | (チ) 黒鉛 | (リ) 周波数低下 |
| (ヌ) 電圧フリッカ | (ル) よりも数倍高い | (七) 上昇 |
| (リ) 無関係である | (カ) ほぼ比例する | (コ) よりも数百倍高い |

B問題(配点は1問題当たり計20点)

問5 次の文章は、電動機の可変速ドライブシステムに関する記述である。文中の

□ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

電力変換器と電動機及びその制御装置で構成される可変速ドライブシステムは、省エネルギー性が高く低速から高速まで高精度に電動機の色度(回転数)やトルクの制御が可能であることから、さまざまな用途に用いられている。

サイリスタレオナード法は、□(1)を低損失で可変速制御するもので、制御電圧源による開ループの色度制御ドライブとして用いられる。この制御の動作は、一般に電動機の端子電圧と色の比例性がよい定格電圧以下の定トルク駆動範囲に限られている。さらに電動機の高回転が必要な場合には、□(2)制御を用いて電動機の□(3)を一定とする定出力運転領域で高速回転を得る。

交流電動機を対象とした可変速ドライブでは、原則として周波数と電圧の制御により電動機の色度制御を行う。実際の制御は、可変電圧・可変周波数の電力変換器を用いて駆動する。この場合、開ループ制御又は電動機色度等をフィードバックして指令値に一致させるよう制御する閉ループ制御のいずれかが選ばれる。特に同期機を□(4)で色度制御する場合には急加減速や負荷急変による過渡時に脱調するおそれがあり、このようなとき、高精度な制御が要求される場合には□(5)検出を行い、この信号を電力変換器制御ループに取り込むなどの方法が採用される。

近年は、デジタル技術の制御精度が向上する一方で、低価格・低損失半導体デバイスとしてGCTや□(6)などの□(7)の半導体素子が採用されたことにより、高キャリア周波数による低騒音化や高効率化による装置の小形化が進み、可変速ドライブシステムは、家電から、風力発電装置まで多様な領域で利用されている。

[問5の解答群]

- | | | |
|---------------|-----------|--------------|
| (イ) FACTS 機器 | (ロ) 一次抵抗 | (ハ) 光点弧サイリスタ |
| (ニ) 閉ループ制御 | (ホ) ゲート信号 | (ヘ) 弱め界磁 |
| (ト) 固定界磁 | (チ) 短絡比 | (リ) 他励式 |
| (ヌ) ステッピングモータ | (ル) 回転子位置 | (レ) 開ループ制御 |
| (リ) 電機子電圧 | (カ) 自己消弧形 | (ロ) 直流電動機 |
| (タ) 回生制動 | (ケ) 誘導電動機 | (ヲ) 滑り |
| (ツ) 力率 | (ネ) IGBT | |

問6及び問7は選択問題であり、問6又は問7のどちらかを選んで解答すること。
両方解答すると採点されません。

(選択問題)

問6 次の文章は、発光ダイオード(Light Emitting Diode : 以下 LED とする)の発光原理と発光波長に関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

半導体を pn 接合すると、電子で満たされた価電子帯と電子の満たされていない伝導帯との間に、電子が存在できない禁制帯が形成される。LED は、半導体の pn 接合に順方向電流を流すと、 (1) とが禁制帯を越えて再結合するときに、禁制帯の幅に応じた波長の光を発生する。LED の発光波長 λ [nm] は、禁制帯幅 E_g [eV]、プランクの定数 h [eV·s]、光速 c [m/s] が関係し、①式で求めることができる。

$$\lambda = \frac{hc}{E_g} \times 10^9 \doteq \frac{1240}{E_g} \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

これによれば、可視領域に対応した発光を得るには、禁制帯幅 E_g を (2) とすることが必要になる。LED の開発は、周期律表の主に (3) の化合物半導体が用いられ、可視領域に対応した発光の実用化は、赤、黄など (4) 禁制帯幅をもつ材料から始まり、実用化が困難であるとされた青色光は、 (5) 系材料によって得られるようになった。

[問6の解答群]

- | | | |
|---------------------|-------------------------|----------------|
| (イ) 1.59 eV～3.26 eV | (ロ) n 形領域のイオンと p 形領域の電子 | (ハ) GaP |
| (ニ) 1.77 eV～4.13 eV | (ホ) 比較的小さい | (ヘ) III 族と V 族 |
| (ト) GaN | (チ) n 形領域の正孔と p 形領域の電子 | (リ) 中程度の |
| (ヌ) 比較的大きい | (ル) n 形領域の電子と p 形領域の正孔 | (レ) II 族と VI 族 |
| (ヲ) I 族と IV 族 | (カ) 1.43 eV～3.10 eV | (ロ) GaAs |

(選択問題)

問 7 次の文章は、銅の電解精錬に関する記述である。文中の に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

銅鉱石を乾式精錬で純度 99 %程度にした粗銅には亜鉛、鉄、銀、金などの不純物が含まれている。粗銅を (1) ，純銅を (2) ，電解液に酸を加えた (3) 水溶液を用いて電気分解すると (4) は (1) の下に沈殿し、その他の金属は (5) イオンとして溶出する。溶出した金属のうち、銅だけが (2) に析出して純度が 99.99 %以上になる。

この銅の電解精錬の主反応の理論電圧は (6) V である。精錬できる銅の量は電解時の通電電気量に比例する。精錬可能な銅の量はファラデーの法則で推算することができる。電子の物質質量当たりの電荷の絶対値をファラデー定数といい、96 485 C/mol である。電気分解では電気量の単位を A・h で表すと便利であり、その値は (7) A・h/mol である。ファラデーの法則を用いて 1 t の銅を精錬するために必要な電気量を求めると、 (8) kA・h となる。なお、銅の原子量を 63.55 とする。

[問 7 の解答群]

- | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| (イ) 26.80 | (ロ) 0 | (ハ) 陰 | (ニ) 13.40 |
| (ホ) 1687 | (ヘ) 金や亜鉛 | (ト) 銀や鉄 | (チ) 塩化銅 |
| (リ) カソード | (ヌ) 53.60 | (ル) 金や銀 | (フ) 陽 |
| (ワ) 水酸化銅 | (カ) 空気極 | (ヨ) 中性 | (タ) アノード |
| (レ) 1.2 | (ク) 硫酸銅 | (ツ) 421.7 | (ネ) 843.4 |