

「電気電子工学通論」第6章 問題解答

6-1 ドリル問題

問題 1

$$e = k\Phi_f n \text{ [V]}$$

問題 2

$$\tau = k\Phi_f i_a \text{ [N}\cdot\text{m]}$$

問題 3

$$\tau = \frac{P \times 60}{2\pi \times \text{RPM}} \text{ で与えられる。 } P = 5\text{kW}, \text{ RPM} = 500 \text{ を代入して}$$

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{5 \times 10^3 \times 60}{2 \times \pi \times 500} \\ &= 95.5 \text{ N}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

問題 4

問題 1 より，誘起電圧 e は

$$e = k\Phi_f n$$

となり，回転数に比例する。発電機の電機子電流 I_a は

$$I_a = \frac{P}{V} = 50 \times \frac{10^3}{200} = 250 \text{ A}$$

定格時の誘導起電力 e は，電機子回路の抵抗を r_a とすると

$$\begin{aligned} e &= V + I_a r_a = 200 + 250 \times 0.05 \\ &= 212.5 \text{ V} \end{aligned}$$

したがって，回転数が 1000→750 に低下すると

$$e = 212.5 \times \frac{750}{1000} \doteq 159 \text{ V}$$

問題 5

電圧極性を変える。

6-2 ドリル問題

問題 1

発電周波数（電源周波数） f と毎分回転数 RPM との関係は

$$\begin{aligned} \text{RPM} &= \frac{25}{p} \times 60 \text{ sec} \\ &= \frac{120f}{p} \end{aligned}$$

$$f = \frac{\text{RPM} \times p}{120} = \frac{500 \times 12}{120} = 50 \text{ Hz}$$

問題 2

$$\text{RPM} = \frac{120f}{p} = \frac{120 \times 60}{8} = 900 \text{ 回/分}$$

問題 3

出力 P_{out} は、トルクを τ とすると

$$P_{\text{out}} = \tau \omega_m = \tau \cdot 2\pi f_m$$

電源周波数は、 $f = \frac{p}{2} f_m$ (f_m : 回転数, p : 極数) であるから

$$f_m = \frac{2f}{p}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= \tau \cdot 2\pi \frac{2f}{p} \\ &= 80 \times 2\pi \cdot \frac{2 \times 50}{6} \\ &= 8373.3 \cdots \\ &\doteq 8400 \text{ W} \end{aligned}$$

(答) 8.4kW

問題 4

$$P = \sqrt{3}VI \cos \phi \cdot \eta \quad (3 \text{ 相}, \cos \phi : \text{力率}, \eta : \text{効率})$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}V \cos \phi \cdot \eta}$$

$$P = 8400, V = 200, \cos \phi = 0.9, \eta = 0.85$$

$$I = \frac{8400}{\sqrt{3} \times 200 \times 0.9 \times 0.85}$$

$$\doteq 32$$

(答) 32 A

問題 5

磁束 $\Phi = B_m S$ で与えられる。 R は導体の回転子中心に対する半径、 l は軸方向の長さであるから

$$S = 2Rl$$

したがって、全磁束 $\Phi = B_m \times 2Rl = 2RlB_m$ で与えられる。

6-3 ドリル問題

問題 1

- (i) 磁石を円板の円周方向に回すことにより、相対的に円板が逆方向に動くことになり、磁界中で導体（円板）が動くことにより、フレミングの右手の法則で円板に電流が流れる。
- (ii) 磁界が存在する中で電流が流れることにより、円板にはフレミングの左手の法則により力が働く。
- (iii) この力の向きが磁石の動かす向きと同じであり、円板は磁石の動きにしたがって回転する。

問題 2

(6.3.2) 式より

$$n_0 = (1-S)\omega_m = \frac{120f_e(1-S)}{p} = \frac{120 \times 50 \times (1-0.05)}{4}$$

$$= 1425 \text{ rpm}$$

問題 3

始動電流は始動電圧に比例するので $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 倍、始動トルクは印加電圧の 2 乗に比例するので $\frac{1}{3}$ 倍となる。

$$\text{始動電流は、全負荷時の } 4.5 \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 2.6 \text{ 倍}$$

$$\text{始動トルクは、全負荷時の } 1.8 \times \frac{1}{3} = 0.6 \text{ 倍}$$

問題 4

3相中の2相を入れかえる。

問題 5

トルク T と出力 P の間には，回転速度を $n [\text{min}^{-1}]$ として

$$P = \omega T = 2\pi \frac{n}{60} T$$

の関係がある。同期速度 n_s は

$$n_s = \frac{120 \times 50}{4} = 1500$$

したがって，すべり S は

$$S = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0.04$$

すべりとトルクは比例するから，負荷トルクを $100\text{Nm} \rightarrow 50\text{Nm}$ に減じたとき

$$S = 0.04 \times \frac{50}{100} = 0.02$$

となる。よって，このときの回転速度 n_1 は

$$n_1 = n_s(1 - S) = 1500 \times (1 - 0.02) = 1470 \text{ min}^{-1}$$

このときの電動機出力 P は

$$P = 2\pi \cdot \frac{n}{60} \cdot T = 2\pi \times \frac{1470}{60} \times 50 = 7697 \text{ W} \\ \cong 7.7 \text{ kW}$$

6-4 ドリル問題

問題 1

次の3通り。くわしくは6-4-1項参照。

- (a) 抵抗分相始動： ϕ_M が ϕ_A より遅れる。
- (b) リアクトル分相始動： ϕ_M が ϕ_A より進む。
- (c) コンデンサ分相始動： ϕ_M が ϕ_A より遅れる。

問題 2

コンデンサ分相始動の単相誘導電動機で，コンデンサを常時補助巻線に接続したままにしたもの。

問題 3

図 6.4.2 参照。固定子の鉄心を突極形とし，その一部を短絡環で遮蔽したもの。

問題 4

6-4-2 項参照。直流電動機の界磁を電磁石としたもの。交直両用。

6-5 ドリル問題

問題 1

6-5-1 項参照。磁束の通路とする。磁束をつくるための電流は小さくてすむ。

問題 2

6-5-1 項参照。漏れインダクタンスとも呼ぶ。2 巻線が一对となって磁束と鎖交し、リアクタンスを構成する。磁束が巻線端部から漏れて他の巻線端部へ戻るため、漏れ磁束と呼ばれる。

問題 3

巻数比が 8.66 であり、星形結線であるから、巻数比をさらに $\sqrt{3}$ 倍して、高圧側の電圧は $210 \times 8.66 \times \sqrt{3} = 3150 \text{ V}$

(答) 3.15 kV

問題 4

鉄損を無負荷損、銅損を負荷損と呼ぶ。

変圧器の主な損失は鉄損と銅損で、これに漂遊負荷損が加わる。一次が電源に接続されれば無負荷でも鉄損が生じるから、鉄損を無負荷損ともいう。

巻線中に生じる銅損は抵抗損ともいい、負荷によって変化するから負荷損ともいう。

鉄損は、ヒステリシス損とうず電流損の和である。銅損は直流で測定したとき、一次抵抗が $r_1 [\Omega]$ 、二次抵抗が $r_2 [\Omega]$ であれば

$$k_m I_1^2 (r_1 + a^2 r_2) [\text{W}]$$

で求められ

$$k_m = \frac{\text{交流抵抗}}{\text{直流抵抗}} = 1.05 \sim 1.25$$

である。

なお、 I_1 : 一次電流、 a : 巻数比である。

6-6 ドリル問題

問題 1

雷、ならびに線路内での開閉サージに対して、過電圧を抑制し、送電線路ならびに機器を保護する。6-6-1 項参照。

問題 2

短絡容量は

$$\text{短絡容量} = \frac{\text{基準容量}}{\%インピーダンス} \times 100$$

で求められるので

$$\begin{aligned} \frac{10\text{MVA}}{\%7.5} \times 100 &= \frac{10 \times 10^6}{7.5} \times 100 = 133.3 \times 10^6 \text{ VA} \\ &= 133 \text{ MVA} \end{aligned}$$

事故点での電圧は、二次側 6.9 kV であるから

$$\begin{aligned} \frac{133 \times 10^6}{6.9 \times 10^3} &= 19.3 \times 10^3 \text{ A} \\ &= 19.3 \text{ kA} \end{aligned}$$

6-7 ドリル問題

問題 1

各素子の各回路への適用可否を表に示す。

素子 \ 回路	整流回路	他励式インバータ	自励式インバータ
ダイオード	○	×	IGBT と組み合わせて
逆阻止三端子サイリスタ	○	×	×
GTO	○	○	×
IGBT	○	○	○

自励式インバータでは、自らの電流を止めて転流ができる素子が必要となる。IGBT を用いる。

問題 2.

(6.7.4) 式より

$$\begin{aligned} V_{\text{dc}} &= \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_{\text{ac}} \cos \alpha \\ &= 1.35 V_{\text{ac}} \cos \alpha \end{aligned}$$

$V_{\text{ac}} = 200$, $\alpha = 60^\circ$ として、 10Ω の抵抗に流れる電流 I は

$$\begin{aligned} I &= \frac{V_{\text{dc}}}{R} = \frac{1.35 \times 200 \cos 60^\circ}{10} \\ &= 13.5 \text{ A} \end{aligned}$$

6-8 ドリル問題

問題 1

水車に流入する入力 P [kW] は, (6.8.1) 式より

$$\begin{aligned} P &= 9.8 \times QH \\ &= 9.8 \times 20 \times 100 \\ &= 19600 \text{ kW} \end{aligned}$$

発電機出力 (発電可能電力) P' は, 総合効率 90% であるから

$$\begin{aligned} P' &= 19600 \times 0.9 \\ &= 17640 \text{ kW} \\ &= 17.64 \text{ MW} \end{aligned}$$

問題 2

燃焼により発生する 1 時間あたりのエネルギー W_F [kJ/h] は, 1 時間あたりの重油消費量を F [t/h] とすると

$$W_F = 43950 \times F \times 10^3 = 44 \times 10^6 F$$

一方, 出力 100 MW のタービン発電機は, 効率 $\eta = 35\%$ であるから

$$\begin{aligned} W_F &= \frac{100 \times 10^3 \times 3600}{0.35} \\ &= \frac{36 \times 10^9}{35} \end{aligned}$$

これが上式と等しいから

$$\begin{aligned} 44 \times 10^6 F &= \frac{36 \times 10^9}{35} \\ F &= \frac{36 \times 10^9}{35 \times 44 \times 10^6} [\text{t}] \\ &= 0.0234 \times 10^3 = \underline{\underline{23.4 \text{ t}}} \text{ (答)} \end{aligned}$$

問題 3

U^{235} の発生エネルギー $10^{10} \text{ W} \cdot \text{s}$ を熱量 (cal) に変換すると

$$1 \text{ W} \cdot \text{s} = 1 \text{ J} = 0.24 \text{ cal}$$

であるから

$$10^{10} \times 0.24 = 2.4 \times 10^9 \text{ cal/lg}$$

これに相当する石炭の質量を m [kg] とすると、原子力発電、火力発電の熱効率をそれぞれ 35%、40% として

$$2.4 \times 10^9 \times 0.35 = 6000 \times 10^3 \times m \times 0.4$$

$$m = 350 \text{ kg}$$

6-9 ドリル問題

問題 1

6-9-1 項参照。非循環型エネルギーは、いったん使用すると涸渇してしまう資源をエネルギー源とするもので、火力・水力・原子力発電など従来型のエネルギー。

循環型エネルギーは、枯渇しない太陽や風をエネルギーとして利用するものをいう。連続的な資源再利用システム、回収システムの成立したエネルギーも循環型エネルギーといえるが容易ではない。

問題 2

(6.9.2) 式に総合効率 $\eta (= 50\%)$ を考慮して

$$E = \frac{1}{2} \rho A v^3 \eta$$

回転面積は

$$\begin{aligned} A &= \frac{2E}{\rho v^3 \cdot \eta} \\ &= \frac{2 \times 500 \times 10^3}{1 \times 10^3 \times 0.5} \\ &= 2000 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

翼半径 r は

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 25.2 \text{ m}$$

第 6 章 演習問題

1.

6-1-3 項の小見出し「直流発電機」を参照。

回路構成：図 6.1.3 参照

特性：① 端子電圧の低下をきたさない。

② 端子電圧の変動を抑え、全負荷時の端子電圧（定格電圧）を無負荷時の電圧とあわせるようにしている。

2.

6-1-3 項の小見出し「直流電動機」，および，図 6.1.4(3)，(a) を参照。

① 始動トルクが分巻電動機より大きい。

② 無負荷時の加速度は直巻電動機ほどには高くない。

③ 界磁電流が 0 になることはない。

3.

6-1-3 項の小見出し「直流電動機」，および，図 6.1.6 を参照。

- ① 速度 0 の時（始動トルク）も大きなトルクが発生し，速度が上昇するにしたがって，トルクは減少する。電車の運転用に適する。
- ② 負荷による速度変動が大きく，軽負荷または無負荷において高速になることがあるので，注意が必要である。

4.

6-1-3 項の小見出し「直流電動機」，および，図 6.1.5 を参照。

電源が交流の場合の電力変換装置と電気機器との組合せ方式である。交流をコンバータによって可変電圧の直流に変換し，印加電圧を整流装置のゲート角制御により制御し，直流電動機の手速度制御を行う。

5.

6-2-1 項の小見出し「同期発電機の原理」を参照。

負荷電流の性質（進みか遅れ，同相）合成磁界が減少あるいは増加し，誘起電圧，すなわち，発電機端子電圧が変動する（電気子反作用と呼ぶ）。

6.

6-2-3 項「特性」の項の(6.2.7)式から(6.2.10)式までを参照。

$$P = 3 \frac{VE}{xs} \sin \delta \quad (6.2.9)$$

$$Q = 3 \left(\frac{VE}{xs} \cos \delta - \frac{V_2}{xs} \right) \quad (6.2.10)$$

7.

6-2-3 項「特性」を参照。

- ① 機械入力を増やして，負荷角（内部位相角）を増やす。
- ② 界磁電流を増やして内部誘起電圧の増大を図る。

8.

6-2-3 項「特性」，および，図 6.2.5 を参照。

界磁電流と流入電流の関係がV字型であることを利用して，ある一定負荷の状態で，界磁電流を増やすことにより系統からの電流を“進み”に，減らすことにより“遅れ”とすることにより，同期電動機を系統の力率改善に使用する。

9.

負荷 $P_1 + Q_1$ が存在するとき，発電機が分担する有効，無効電力が系統の周波数，電圧と一致する点で運転が成立する。すなわち，無限大母線からの負荷分担量の P_{infl} ， Q_{infl} と，並列投入された発電機の P_{gi} ， Q_{gi} ($i=1, 2, 3, \dots$) との和が全負荷の要求を満足するようにする。

$$P_1 = P_{\text{infl}} + P_{gi} \quad , \quad Q_1 = Q_{\text{infl}} + Q_{gi}$$

10.

(A) 無負荷電流の値は上昇する

(B)温度上昇は更に上昇する

(C)回転数は減少する

1 1 .

始動トルクは変わらない

1 2 .

一次巻線,二次巻線の巻数比が電圧比であり,等アンペアターンの法則が成立しており,したがって,両巻線に入出力する電力は等しい。したがって,インピーダンスは一次側でも,二次側でも等しくなる。

1 3 .

(1)各変圧器の一次,二次定格電圧が等しく,極性が一致している。

(2)%インピーダンスが等しい。

(3)相回転方向,および位相変化が等しい。

1 4 .

50Hz のときと同じ電圧を印加すると鉄心磁束密度は周波数に逆比例するから,1/1.2 となる。したがって,鉄損も減少し,問題なく効率的に使用できる。

逆の使用は,鉄損が増加し,好ましくない。

1 5 .

電源インピーダンスを無視して,1166A

(解法)

三相短絡電流 I_s は,次のようになる。

$$I_s = \frac{V}{\sqrt{3}Z}$$

%Z は,定格電流 I_n を流したときの定格電圧 $\frac{V}{\sqrt{3}}$ に対するインピーダンス Z による電圧効果

果 $I_n Z$ の割合を示すものであるから,次のようになる。

$$\%Z = \frac{I_n Z}{\frac{V}{\sqrt{3}}} \times 100 = \frac{\sqrt{3}}{V} I_n Z \times 100$$

電力系統の基準容量 P_n は, $P_n = \sqrt{3}VI_n$ であるから,

$$Z = \frac{\%Z}{100} \times \frac{V^2}{P_n}$$

となる。したがって,

$$I_s = \frac{P_n}{\sqrt{3}V} \times \frac{100}{\%Z} = \frac{10000\text{KVA}}{\sqrt{3} \times 66\text{kV}} \times \frac{100}{7.5} = 1166\text{A}$$

16.

次のものを明記する。

- (1) 機器の名称, 種類, 用途 (2) 定格事項 (3) 特性(絶縁耐力, 温度上昇, インピーダンス, 効率, 等) (4) 準拠規格 (5) 使用条件(屋内用, 屋外用, 据付場所, 他) (6) 試験内容, 立会い試験の有無 (7) 保障事項
(8) 輸送条件 (9) 引渡し条件(場所, 日時) (10) 付属品, 予備品

17.

変圧器と避雷器の離隔距離を l , 変圧器端子電圧を V_t , 避雷器の制限電圧を V_a とすると, 変圧器端子の電圧 V_t は, (6.6.2)式より,

$$V_t = V_a + \frac{2Al}{v}$$

となる。ここで, $V_t=350\text{kV}$, $V_a=250\text{kV}$, 波頭峻度 $A=250\text{kV}/\mu\text{s}$, $v=3\times 10^8\text{m/s}=3\times 10^2\text{m}/\mu\text{s}$ として, l を求めると,

$$l=60\text{m}$$

18.

6-6-2 項「遮断機・開閉器・断路器」を参照。

遮断器は, 電路の開閉に使用されるものの一つ。負荷電流はもちろん, 回路が短絡したときの事故大電流をも切ることのできるもの。

19.

6-6-2 項「遮断機・開閉器・断路器」を参照。

GIS は, 密閉型ガス絶縁開閉装置 (Gas-insulated Switchgear) の略。SF₆ ガス絶縁の機器。変電所の変圧器以外の遮断器, 断路器, 避雷器, 母線, 計器用変成器などの機器をいう。

20.

6-7-1 項「整流回路」の小見出し「三相全波整流回路」を参照。

比較的大容量の直流電力を得るために実用化されている。図 6.7.2 参照

21.

6-7-2 項「インバータ回路」の小見出し「他励式インバータ」を参照。

基本回路は三相ブリッジ整流回路と同じである。電源は直流であり, 負荷は三相交流である。直流電源から交流電力を得る回路をインバータ回路といい, 交流側にしっかりとした交流電圧を有し, 転流をこれに頼るものを他励式インバータという。図 6.7.4 参照。

22.

6-7-2 項「インバータ回路」の小見出し「自励式インバータ」を参照。

負荷に逆起電力をもたない場合, あるいは逆起電力が存在しても, 制御できない場合は, サイリスタの転流を可能にするためには, 転流エネルギーをインバータ内部に保有しておくことが必要になる。

交流側に何らの交流電圧をも持たず, 転流を自ら行い, 直流電源から交流電力を得るインバータ回路を自励式インバータという。図 6.7.5 参照。

23.

6-7-3項「チョッパ」の小見出し「降圧チョッパ」を参照。

直流電圧を変える(昇圧, 降圧)装置をチョッパと呼び, 図 6.7.6(a)のような回路である。直流電源をトランジスタのようなスイッチSで入り切りする。

24.

6-7-3項「チョッパ」の小見出し「昇圧チョッパ」を参照。

直流電圧を変える装置をチョッパと呼び, 図 6.7.7(a)のような回路である。リアクトルを介して直流電圧を, トランジスタのようなスイッチSで短絡しておき, そのスイッチの入り切りを行う。

25.

6-8-1項「発電」の各小見出しを参照。代表的なものは次の三つ。

水力：水力発電は, 水が落下するときのエネルギーで発電を行う方式のことである。現在最も一般的なものは発電用水車を水の力によって回転させることで発電を行う。

火力：火力発電とは, 石油・石炭・天然ガス・廃棄物などの燃料の反応熱エネルギーの電力への変換。現在, 我々が昼間に使用する電力のうち, 過半数は火力発電によるものである。

原子力：原子力発電とは, 原子核反応時に出るエネルギーを利用した発電。

26.

6-8-2項「変電」を参照。変圧器, 母線, 遮断器, 避雷器, 各種計器用変成器などから構成される。

27.

6-8-3項「送電」の図 6.8.7, 図 6.8.8を参照。アークホーンが取り付けられる。

28.

導体の断面積により許容電流が決まる。大電流用にはアルミ線を何条かに撚って巻いた構造をとる。絶縁ケーブルの構造については, 図 6.8.10 参照。

29.

6-8-4項「系統運転」の小見出し「系統運転」を参照。

(1) 発電量制御(周波数制御), (2) 電圧制御があり, 特に, 電圧制御の調相設備(6-2-3項参照), 電力用コンデンサ, 静止型無効電力補償装置(SVC), 負荷時電圧調整装置などが採用される。また, 分路リアクトルなども用いられる。

30.

6-9-1項「新エネルギー発電」の小見出し「燃料電池」を参照。水の電気分解と逆の作用で, 水素を酸素と反応させて, 電気を得る。

31.

6-9-1項「新エネルギー発電」の小見出し「風力」を参照。近年, 大型, 大容量のものがすえつけられてきている。

3 2.

6-9-1 項「新エネルギー発電」の小見出し「太陽光, 熱」を参照。太陽電池に依存した発電方式。民間ベース(住宅など)でも普及が進んでいる。

3 3.

6-9-2 項「超電導の利用」の小見出し「超電導同期発電機」を参照。

3 4.

6-9-2 項「超電導の利用」の小見出し「超電導変圧器」を参照。

3 5.

6-9-2 項「超電導の利用」の小見出し「超電導故障電流限流器」を参照。