

新・電気システム工学 電気機器学基礎 補足

本ページで、上記の書籍を古関が東京大学における電気機器の講義で用いてきた中で、気づいた点を修正、補足説明しています。また、記載が不完全で申し訳ありませんが、現時点で未完の演習問題解答/解説も徐々に充実させていきたいと考えております。
(なお、本件につき具体的なご質問、ご意見があれば、このページへのコメントとしていただければありがたいです。よろしくお願い申し上げます。)

(最終作業 2022/09/29 by KOSEKI)

[1] 正誤表/記述の補足

(0) p30 解答の q_r, q_x の値

【注意】ここは履修生コメントあり: 古関の確認待ち。

あるいは $rP \times 10^3 / V_1^2 \times 100$

q_x についても同様。

$q_r = rI_1 / V_1 \times 100$ ではない?

(1) p38 2.6.2 節の上の

巻数比が小さいと(2.26)式は大きくなり ==> 巻数比が小さいと(2.27)式は小さくなり

(2) p58 巻線

この部分では、自明のこととして分布巻にする理由が説明されていない。その理由は、誘導機にせよ同期機にせよ、この後で説明される交流回転機において、回転磁界(進行磁界)の進行方向の起磁力分布、空間磁束分布は正弦波であることが好ましいと考えられているからである。p62で述べられている短節巻と同じように、分布巻も、空間的な起磁力分布を、(たとえ不完全ではあるとしても)できるだけ正弦波に近づけようという努力の具体的な一つの方策である。

(3) p68 問題4

高調波を抑制するために ==> 空間高調波を抑制するために

(4) p77 7行め

誘導起電力をより ==> 誘導起電力より

(5) p80 図4.7 および図4.8 重要な図の誤り

同期リアクタンスによる電圧降下が直交するのは E_t ではなく I_a したがって、この二つの図の直角マークは E_t ではなく、 I_a の延長線に付されるべきもの。

図4.8に限れば、元々付されている直角マークも正しくありませんか。 E_t と $r_a I_a$ が一直線上にあるように見えるのが誤解を与えやすいポイントですが、 I_a と jI_a はもちろん直角なので、元々の直角マークも正しいかと思います。(2021年度の履修生による指摘)

(6) p83 図4.13

この図は類書でも多く見られる通常の説明図だが、p86の記述で、短絡比が1以下の機械が多い、すなわち $I_{f0} < I_{fs}$ なることが多いと考えられる中で、初学者の理解にやや混乱を生ずる可能性がある。本図が、短絡比の大きな鉄機械のイメージで書かれていることに注意しよう。

(7) p83 (2) 短絡特性 の記述の最初

電気巻線 ==> 電機子巻線

(8) p85 (4.21)式

本式の中で、オームで表現れる同期インピーダンス Z_s と、単位法表現の同期インピーダンスに同じシンボル Z_s が用いられていることは、学習者に混乱を生ずる恐れがあるので、単位法表現の同期インピーダンスは Z_{s_pu} などと別表現を用いることが好ましい。

(9) p88 図4.16

式(4.29)をきちんと理解した上で図を見れば問題はないはずだが、この図における曲線と説明の対応関係は誤解を招きやすく適切ではない。当然ながらピークが $\pi/2$ のところにある黒い曲線が円筒機特性曲線で、ピークがそれよりも位相角 δ の小さなところに現れている青い曲線が突極機特性曲線であることに注意せよ。

(10) p93 (4.37)式

右辺第1項の最初は $1/(x_s^2)$ ではなく $1/x_s$ すなわち二乗ではなく一乗 が正しいと思われる。(この点は、新しい版では、すでに改訂がなされている。)

(11) p96 問題1

この問題文は解釈が多様で題意をつかみにくい可能性があるので以下の様に具体化して考えることを提唱する。

「電力系統に接続されている同期発電が運転されている。励磁電流を増加させると、この発電機が電力系統に対してより多くの(遅れの)無効電力を供給することができるという。その原理を説明せよ。」

(12) p158 問題2

「50Hz, 500kW, 6極の誘導電動機は」曖昧さを排除するため

⇒「電源周波数50Hzで駆動され、定格機械出力が500kWである6極の誘導電動機は」とする。

-----[2] 章末問題の解説-----

p15 1章 電気機器と磁気回路の問題

(本章は東京大での講義の対象外のため2017年6月時点で概ね未作業)

1. (1.7)式 $\Psi/S = \mu_r \mu_0 N I / (\mu_r l_g + l_m)$

$\mu_r \rightarrow \infty$ なら $B = \mu_0 N I / l_g$ これより $N = l_g B / \mu_0$

インダクタンス $L = N^2 \mu_0 S / l_g$

4. ヒステリシス損は周波数に比例、渦電流損は周波数の二乗に比例 ということから
 $\text{loss}_h + \text{loss}_e = 100$, $\text{loss}_h^{6/5} + \text{loss}_e^{6/5} = 132$ を解いて求める。

5. $\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{j}$, $\text{rot } \mathbf{E} = -d\mathbf{B}/dt$ より、 $\mathbf{B}$ の方向を z 軸方向に限定し、電流および電解分布を xy 平面内に限定して、正弦波の時間変化を交流回路理論のように複素数を用いて表現することで導出する。

p46 2章 変圧器の問題

(本章は東京大での講義の対象外のため2019年6月時点で概ね未作業)

1. pp. 28-29 参照
2. 未作業
3. 未作業
4. 未作業
5. p44の記述より 57.7%
6. 巻数比を a として、 $V_1:V_2 = a: \sqrt{3}$ これより 巻数比 $a = \sqrt{3} * V_1/V_2$

p68 3章 電気-機械変換の問題

1. 鎖交磁束は $\Psi(t) = 2 * r * I * \sin(\omega * t)$ $v = -d\Psi/dt = -2 * r * I * \omega * \cos(\omega * t)$
2. $F = B^2 / 2\mu_0 * S$ (S は空隙部 = 磁気回路の断面積) から 20N を出すために必要な B を求める。磁気抵抗 $R = \text{空隙長} / \mu_0 / S$ 磁束 $\Phi = B * S = \text{巻数} * I / R = 100 * I * \mu_0 * S / \text{空隙長}$ から I を計算すればよい。
3. 一分あたりの回転数を $\omega [\text{rad/s}]$ に直したのち、(3.11) 式に代入してトルクを計算する。
4. 実務的な理解を深めるための練習として、(毎極毎相のスロット数が1であるときの) 図 3.20, 21 を参考にして、毎極毎相のスロット数3の場合の分布巻、短節巻の一例図を書き、その時の巻線係数を具体的に計算してみよ。

p96 4章 同期機の問題

1. (ここは原文のままでは題意がやや曖昧であるが、) 電動機動作における無効電力の計算(4.34)式や V 特性を解説した4.5.3と同様の説明を、発電機動作に関する4.2節で説明されているフェーザダイアグラムに基づいて行えば良いと考えられる。(発電機と電動機のモデルの相違は、電流の向きの定義が逆になっているだけである。) なお、ここでの電力系統とは、簡単のため、無限大母線、すなわち、注目している発電機の動作とは無関係に一定の E_t となると仮定してよい。

2. (4.18)式で Z_{base} を計算したのち、(4.21)式の $Z_s [\text{pu}]$ を 0.5 として Z_s を計算。
 $\text{SCR} = I_{f0} / I_{fs} = 0.5$, $Z_s \text{-pu} = 2$ $Z_{\text{BASE}} = V_n^2 / S_n = 0.4 [\text{ohm}]$
 $Z_s = Z_s \text{-pu} * Z_{\text{BASE}} = 0.8 [\text{ohm}]$

3. 短絡比の定義より $I_{fs} = 2 * I_{f0}$ 2倍

4. $E_0 = \sqrt{1^2 + 2.2^2} * E_s$ $E_t = \sqrt{1^2 + 0.2^2} * E_s$ これより

$$E_0/E_t = \sqrt{5.84}/\sqrt{1.04} = 2.37$$

5.

60Hz ---> 20kVA 定格電圧 200V インピーダンス 1.7 p.u.

50Hz ----> 定格電圧 200V

同じ界磁電流なら 60Hz-->50Hzとすると、電流は同じでインピーダンス(この場合はリアクタンスと同じ意味になる)、起電力は 5/6倍になる。したがって、定格も5/6倍になる。

ただし、ここでは定格電圧を同じに保つとしているので、定格容量は変わらない。(本当は、界磁が6/5倍、そのために界磁電流を6/5バイトしているため機械の運転状態としてはやや無理をしている感じになっている。)このことを考慮して、ベクトル線図を描くと、60Hz運転における力率は 0.9916となるのが、その図から計算できる。

6. 50Hzが25Hzとなると回転数が半分になるので、同じ出力となるためにはトルクが2倍となる必要がある。また、同期リアクタンスも、周波数に比例して半分、励磁電流が同じなので、無負荷誘導起電力は半分になっている。このことを考慮して(4.24)-(4.26)式およびp79の図4.6を見て2つの場合の動作状態をフェーザ図で表現し、比較する。

p.126 5章 直流機の問題

(本章は東京大での講義の詳細演習対象外のため2019年6月時点で概ね未作業)

1. 未作業

2. 未作業

3. 「電源電圧が I/A となる負荷にかけたとする。」を「電源電圧が I/A となる負荷運転を行ったものとする。」と解釈して考える。

4. 未作業

p.158 6章 誘導機の問題

1.

$$N[\min^{-1}] = N/60 [\sec^{-1}] = \pi N/30 [\text{rad/sec}]$$

$$\omega_{2\text{mech}} = \pi N p/30 [\text{rad/sec}]$$

$$s = (60f - Np)/(60f)$$

$$T = P_e / \omega_{2\text{mech}} = 30P_e / Np$$

$$P_{2\text{loss}} = s/(1-s) P_e = (60f - Np)/Np P_e$$

2.

$$(1) N = 50 \times 60/3 \times (1 - 0.02) = 980 \text{ rpm}$$

$$(2) 50 \times 0.02 = 1 \text{ Hz}$$

$$(3) P_{2\text{loss}} = s/(1-s) P_{\text{mech}} = 0.02/(1 - 0.02) \times 500 = 10.2 \text{ kW}$$

$$(4) T = P_{\text{mech}} / \{(1-s) \times \text{機械的同期角速度}\} = 500 \times 3 / \{(1 - 0.02) \times \pi \times 50/3\} = 4.87 \times 10^3 \text{ Nm}$$

$$(5) (a) \text{ トルク} \quad (b) V^2/(2x) \quad (c) V^2/\{(r_{2/s_0})^2 + x^2\} r_{2/s_0}$$

- (d) $\{2+\sqrt{3}\}x$
 (e) 全負荷時のすべり<最大トルク時のすべりなので $s_0=\{2+\sqrt{3}\}r'_2/x < s_k=r'_2/x$
 (f) 定格すべりは、臨界すべりよりも小さいから
 (g) $r'_2=s_0x/(2-\sqrt{3})=(2+\sqrt{3})s_0x$
 (h) $s_k=r'_2/x=(2+\sqrt{3})x/x=7.46\% < s_0=2\%$ より

解説: 二次入力電力はトルクと比例する。1相あたりの二次入力

$$P_2=r'_2/s_0 \cdot i_2^2=r'_2/s_0 \cdot V^2/\{(r'_2/s_0)^2+X^2\}$$

全負荷時のすべりを s_0 , 1相あたりの出力を P_0 とすると

$$P_0/(1-s_0)=r'_2/s_0 \cdot V^2/\{(r'_2/s_0)^2+X^2\}$$

$$P_2\max=XV^2/2/X^2=V^2/2X=(s_c \cdot V^2)/2r'_2$$

$$P_2\text{nom}=\frac{1}{2}P_2\max=V^2/\{2(r'_2/s_0)^2+X^2\} \cdot r'_2/s_0=V^2/4X$$

$$r'_2/s_c=X$$

これより $r'_2/s_0 \cdot V^2=\{(r'_2/s_0)^2+X^2\} \cdot V^2/4X$ これを解いて

$$r'_2/s_0=(2+\sqrt{3})X$$

$$s_0 < s_c \text{ すなわち } r'_2/s_0 > r'_2/s_c=X \text{ より } r'_2/s_0=\{2+\sqrt{3}\}X$$

$$s_0=r'_2/\{2+\sqrt{3}\}X \text{ これより } r'_2=\{2+\sqrt{3}\}X \cdot s_0$$

$$s_c=r'_2/X \text{ に代入して } s_c=0.02 \cdot \{2+\sqrt{3}\}=7.46\%$$

p.175 7章 概説パワーエレクトロニクスの問題

1. p170の(7.14)式で、 $E_d=660V$, $\alpha=0$ として、 E_f を計算せよ。
2. 未作業

p.194 8章 応用の広がりに対応した電動機の問題

1. アウターロータのトルクが大きい傾向となる理由

回転機のトルクは、電機子側と界磁側間にある磁気ギャップで発生する接線力により生ずる。磁性材料の性質上、この接線力の単位面積当たりの大きさには一定の限界があるが、アウターロータの構成の場合、回転中心からギャップまでの半径が大きくとれるため、この接線力(回転力)を発生するための面積が、その半径に比例して大きくなる。さらに、トルクは力かける半径であるので、この後者の値も大きくなる。

2. リニアモータの端効果

longitudinal end effectの日本語表現。回転機とは異なり、リニアモータは進行方向にその長さが有限である。このことから、交流機として完全な周期性を持つ磁気回路を持つことが不可能で、また、リニアモータが存在する部分の入口部、出口部で、時間的に磁束の立ち上がり、磁束の減衰に伴う過渡現象を回避できない。そのために、対応する回転機に比して、リニアモータは性能が劣化してしまう。このことを端効果呼ぶ。端効果は、リニア誘導モータにおいて特に問題となり、速度が高くなるほど性能の悪化が顕著となる。

3. ヒステリシスモータの特徴

誘導機と同様、電機子側のみに回転磁界を構成する多相交流を印加することで動作が可能であり、回転磁界の回転数より遅い回転し速度を得る。(すなわちすべりを持って動作す

る。)しかし、そのトルクが原理的にはすべり速度に依存せず一定である点が誘導機と異なるなる。

なお、原理的に回転子磁性材料のヒステリシス損失を伴うことに加え、実際には回転子の渦電流損失も存在するので、高効率の運転は難しく、その効率の計算も複雑である。

(なお、このページには、読者がコメントを付すことが可能です。)