

電気機器

起草：2018 年

最終更新日：平成 30 年 11 月 17 日

Takumi Ueda

All Rights Reserved (c) Takumi Ueda 2018-present.
個人使用目的以外での使用を禁じます。ただし、教育目的での再配布に限り著作者を
明示する場合に許諾します。

目次

第 1 章 復習	5
1.1 行列	5
第 2 章 電動機	6
2.1 モータの歴史	6
2.2 電動機の分類	6
第 3 章 直流機	7
3.1 回転機械の持つエネルギー	7
3.1.1 慣性質量と慣性モーメント	7
3.1.2 慣性モーメントの定義	7
3.2 誘導起電力の発生	8
第 4 章 誘動機	9
4.1 円線図	9
第 5 章 同期機	10
第 6 章 発電機	13
第 7 章 変圧器	14
7.1 変圧器の結線	14
付録	14
索引	16

第1章 復習

1.1 行列

ユニタリ行列

$$UU^* = U^*U = E \quad (1.1)$$

随伴行列またはエルミート行列
エルミート共役

$$U^* = {}^t\overline{U} \quad (1.2)$$

A が実行列のとき A の随伴行列 A^* は

$$A^* = {}^tA \quad (1.3)$$

複素共役行列
ダイナミックブレーキ
回生ブレーキ

第2章 電動機

2.1 モータの歴史

ニコラ・テスラ

電動機と呼ばれる。

同期電動機あるいは単に同期機

誘導電動機あるいは単に誘導機

2.2 電動機の分類

1. DC モータ
 - (a) 永久磁石界磁型
 - (b) 電磁石界磁型
 - i. 分巻モータ
 - ii. 直巻モータ
 - iii. 他励モータ
2. ブラシレス DC モータ
 - (a) 表面磁石型
 - (b) 埋込磁石型
3. 交流モータ
 - (a) 整流子型モータ
 - (b) 同期モータ
 - (c) 誘導モータ
4. スイッチドレクタンスモータ
5. ステッピングモータ
6. 超音波モータ

第3章 直流機

3.1 回転機械の持つエネルギー

3.1.1 慣性質量と慣性モーメント

$$F = m\alpha = m \frac{dv}{dt} = m \frac{d^2x}{dt^2} [\text{N}] \quad (3.1)$$

$$\tau = \int F dx = \int m \frac{dv}{dt} dx = \int m v dv = \frac{1}{2} m v^2 [\text{J}] \quad (3.2)$$

$$v = \frac{dx}{dt} = r \frac{d\theta}{dt} = r\omega [\text{m/s}] \quad (3.3)$$

$$F = m \frac{dv}{dt} = mr \frac{d\omega}{dt} [\text{N}] \quad (3.4)$$

$$T = Fr = mr^2 \frac{d\omega}{dt} = I \frac{d\omega}{dt} = I \frac{d^2\theta}{dt^2} [\text{N}] \quad (3.5)$$

I は慣性モーメント

3.1.2 慣性モーメントの定義

トルクはそれぞれの物体が回転するために必要なトルクの合計になるので

$$T = \sum_{i=1}^n F_i r_i = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \frac{d\omega}{dt} = I \frac{d\omega}{dt} \quad (3.6)$$

となり，慣性モーメント I は

$$I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \quad (3.7)$$

$$I = \sum_{i=1}^{\infty} m_i r_i^2 \quad (3.8)$$

$$I = \int r^2 dm \quad (3.9)$$

3.2 誘導起電力の発生

界磁巻線
分巻
複巻
他励
励磁

第4章 誘動機

4.1 円線図

誘導電動機
滑り

$$s = \frac{N_s - N}{N_s} \quad (4.1)$$

無負荷時は

$$s = 0 \quad (4.2)$$

始動時は

$$s = 1 \quad (4.3)$$

第5章 同期機

複巻直巻分巻他励式自励式界磁磁界電気角機械角
同期インピーダンス

$$Z = \sqrt{r_a^2 + r_x^s} [\Omega] \quad (5.1)$$

同期インピーダンス

$$Z = \frac{V_n}{\sqrt{3}I_s} [\Omega] \quad (5.2)$$

同期インピーダンス

$$Z = \frac{V_n}{\sqrt{3}I_s} [\Omega] \quad (5.3)$$

百分率同期インピーダンス

$$\%Z = \frac{Z_s I_n}{\frac{V_n}{\sqrt{3}}} \times 100 [\%] \quad (5.4)$$

$$(5.5)$$

これを整理して

$$\%Z = \frac{\frac{V_n}{\sqrt{3}I_s} I_n}{\frac{V_n}{\sqrt{3}}} \times 100 [\%] \quad (5.6)$$

を得る.

$$\%Z = \frac{I_n}{I_s} \times 100 [\%] \quad (5.7)$$

短絡比

$$\%Z = \frac{1}{K} \times 100 \quad (5.8)$$

$$(5.9)$$

負荷損
銅損

無負荷損
鉄損

トルク短絡比

$$T = Fr \quad (5.10)$$

電機子反作用
増磁作用
減磁作用
交差磁化作用

慣性モーメント

$$J = mr^2 [\text{kg} \cdot \text{m}^2] \quad (5.11)$$

同期速度

$$N_s = \frac{2f}{P} \times 60 = \frac{120f}{P} \quad [\text{r/min}] \quad (5.12)$$

$$L_a \frac{di(t)}{dt} + R_a i(t) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^{t_1} i(t) dt = e(t) \quad (5.13)$$

$$L_a \frac{di(t)}{dt} + R_a i(t) + v_a(t) = e(t) \quad (5.14)$$

$$v_a(t) = K_e \frac{d\theta}{dt} \quad (K_e = \text{逆起電力定数}) \quad (5.15)$$

$$\tau(t) = K_\tau i(t) \quad (K_\tau = \text{トルク定数}) \quad (5.16)$$

SI 単位系では

$$K_\tau = K_e \quad (5.17)$$

より,

$$i(t) = \frac{\tau(t)}{K_\tau} \quad (5.18)$$

$$L_a \frac{di(t)}{dt} + R_a \frac{\tau(t)}{K_\tau} + K_e \frac{d\theta(t)}{dt} = e(t) \quad (5.19)$$

$$\tau(t) = K_\tau i(t) = J \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} + D \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (5.20)$$

$$\frac{di(t)}{dt} = \frac{1}{K_\tau} \left(J \frac{d^3\theta(t)}{dt^3} + D \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} \right) \quad (5.21)$$

$$\frac{L_a}{K_\tau} \left(J \frac{d^3\theta(t)}{dt^3} + D \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} \right) + R_a \left(J \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} + D \frac{d\theta(t)}{dt} \right) + K_e \frac{d\theta(t)}{dt} = e(t) \quad (5.22)$$

$$\omega(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (5.23)$$

$$\frac{L_a J}{K_\tau} \frac{d^2\omega(t)}{dt^2} + \left(\frac{L_a D}{K_\tau} + \frac{R_a J}{K_\tau} \right) \frac{d\omega(t)}{dt} + \left(\frac{R_a D}{K_\tau} + K_e \right) \omega(t) = e(t) \quad (5.24)$$

第6章 発電機

第7章 変圧器

7.1 変圧器の結線

付録

単位一覧

表 7.1: SI 基本単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表 7.2: SI 接頭辞

接頭辞	記号	10^n	接頭辞	記号	10^n
ヨタ	Y	10^{24}	ヨクト	y	10^{-24}
ゼタ	Z	10^{21}	zepto	z	10^{-21}
エクサ	E	10^{18}	アト	a	10^{-18}
ペタ	P	10^{15}	フェムト	f	10^{-15}
テラ	T	10^{12}	ピコ	p	10^{-12}
ギガ	G	10^9	ナノ	n	10^{-9}
メガ	M	10^6	マイクロ	μ	10^{-6}
キロ	k	10^3	ミリ	m	10^{-3}
ヘクト	h	10^2	センチ	c	10^{-2}
デカ	da	10^1	デシ	d	10^{-1}
-	-	1	-	-	1

物理定数一覧

表 7.3: 普遍定数

定数名	量記号	定数値	単位
真空中の光速	c_0	299 792 458	[m/s]
真空の透磁率	μ_0	$4\pi \times 10^7$	[N/A ²]
真空の誘電率	ε_0	$8.854\,187\,817 \cdots \times 10^{-12}$	[F/m]
真空のインピーダンス	Z_0	376.730 313 461 \cdots	[Ω]
万有引力定数	G	$6.674\,08 \times 10^{11}$	[N · m ² /kg ²]
プランク定数	h	$6.626\,070\,040 \times 10^{-34}$	[J · s]
ディラック定数	\hbar	$1.054\,571\,800 \times 10^{-34}$	[J · s]