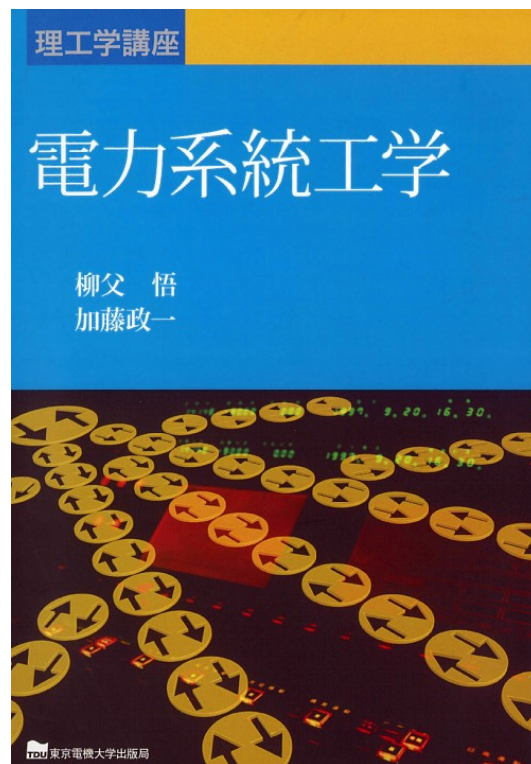

電力系統工学ゼミ

章末問題解答集



電力系統工学 / 柳父悟, 加藤政一 / 第1版2刷 / 2011 / ISBN 9784501113001

システム設計研究室

作成日 : ????年 ??月 ??日

6 同期発電機

6.1 同期発電機の短絡電流特性において、定格電機子電流は界磁電流が 0.55pu のとき得られ、無負荷電圧特性において、定格端子電圧は界磁電流が 1.05pu のとき得られた。両特性とも直線的であるとして、同期リアクタンスの pu 値を求めよ。

[解答]

図 (6.1) の同期発電機の等価回路を考える。また、総電圧、誘導起電力、同期リアクタンス、電機子電流は

$$\dot{V} = \dot{E} - jX_s \dot{I} \quad (6.1)$$

のような関係になる。短絡電流特性は $\dot{V}=0$ で与えられる。

$$0 = \dot{E} - jX_s \dot{I} \quad (6.2)$$

$$\iff \dot{E} = jX_s \dot{I} \quad (6.3)$$

$$\iff |\dot{E}| = X_s |\dot{I}| \quad (6.4)$$

回転子の回転数 N と界磁電流 i_f で $|\dot{E}| \propto Ni_f$ となるので、定数 K を用いて、 $|\dot{E}| = Ki_f$ とかける。条件より、 $i_f = 0.55pu$ で $|\dot{I}| = 1pu$ となるので、

$$|\dot{E}| = 0.55K = X_s \quad (6.5)$$

となる。次に無負荷電圧特性を考える。 $\dot{I}=0$ となり、 $|\dot{E}| = |\dot{V}|$ となる。 $i_f = 1.05[pu]$ で $|\dot{V}| = 1[pu]$ となるので、

$$|\dot{E}| = 1.05K = 1 \quad (6.6)$$

となる。式 (6.5),(6.6) より、

$$X_s = \frac{0.55}{1.05} = 0.52[pu] \quad (6.7)$$

となる。

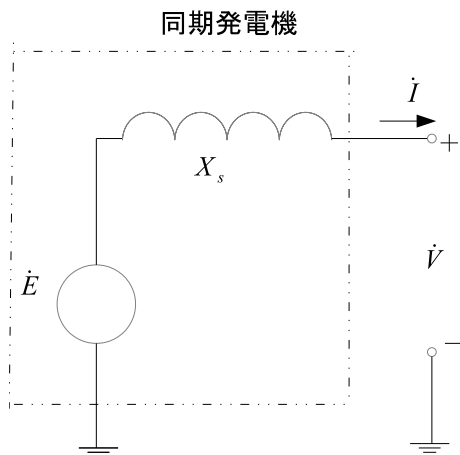


図 6.1: 同期発電機の等価回路

6.2 定格容量 9440KVA, 定格電圧 13.8KV, 定格周波数 60Hz, 2極, Y 結線のタービン発電機の同期リアクタンスは 1.8 Ω である。(a) 力率が 1, (b) 力率が遅れの 0.8,(c) 力率が進みの 0.8 のそれぞれ場合における発電機の全負荷における一相の界磁誘導起電力を求めよう。

[解答]

電圧、誘導起電力、同期リアクタンス、電機子電流は

$$\dot{V} = \dot{E} - jX_s \dot{I} \quad (6.8)$$

のような関係である。まず一相の場合、定格容量は $9440/3 = 3146.67KVA$ である。定格電圧は $13.8/\sqrt{3} = 7.97KV$ である。定格電流は $3146/7.97 = 0.3948KA$ である。

(a) の場合は $\cos \theta = 1, \sin \theta = 0$ である。オイラー公式で

$$\dot{E} = \dot{V} + jX_s |\dot{I}| \angle \theta \quad (6.9)$$

$$= 7.97 + j * 1.8 * 0.3948(1 + j * 0) = 8.001 \angle 5.1^\circ \quad (6.10)$$

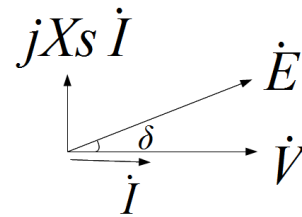


図 6.2: a のベクトル

(b) の場合は遅れが 0.8 なので、 $\cos \theta = 0.8, \sin \theta = -0.6$ である。オイラー公式で

$$\dot{E} = \dot{V} + jX_s |\dot{I}| \angle \theta \quad (6.11)$$

$$= 7.97 + j * 1.8 * 0.3948(0.8 - j0.6) = 8.41 \angle 3.88^\circ \quad (6.12)$$

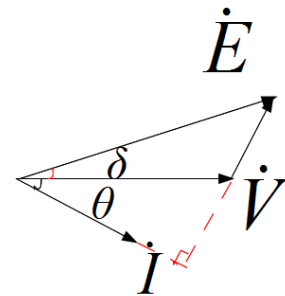


図 6.3: b のベクトル

(c) の場合は進みが 0.8 なので、 $\cos \theta = 0.8, \sin \theta = 0.6$ である。オイラー公

式で

$$\dot{E} = \dot{V} + jX_s |\dot{I}| \angle \theta \quad (6.13)$$

$$= 7.97 + j * 1.8 * 0.3948(0.8 + j0.6) = 7.56 \angle 4.31^\circ \quad (6.14)$$

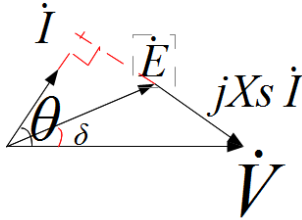


図 6.4: c のベクトル

6.3 同期リアクタンスが 1.5 pu の同期発電機がリアクタンス 0.2 pu の線路を通して電圧 1 pu の無限大母線に電力を供給している。

- (a) 界磁誘導起電力を求めよ。
- (b) (a) で得られた界磁誘導起電力の大きさを保った状態で発電機の有効出力電力を 0.5 pu としたとき流れる電流を求めよ。

ただし、定態安定極限電力は 1.2 pu である。

[解答]

無限大母線に接続されて運転される発電機を図 6.5 に示す。

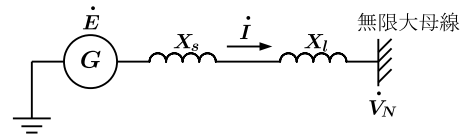


図 6.5: 無限大母線に接続されて運転される発電機

- (a) 下式の定態安定極限電力 P_{\max} の式より、界磁誘導起電力 $|\dot{E}|$ は、

$$P_{\max} = \frac{|\dot{E}| |\dot{V}_N|}{X_s + X_l} \quad (6.15)$$

$$\Rightarrow |\dot{E}| = \frac{P_{\max}(X_s + X_l)}{|\dot{V}_N|} \quad (6.16)$$

$$= \frac{1.2(1.5 + 0.2)}{1} \quad (6.17)$$

$$= 2.04 \text{ [pu]} \quad (6.18)$$

となる。

- (b) 下式の有効電力 P_G の式より、電力角 δ_N は、

$$P_G \simeq P_{\max} \sin \delta_N \quad (6.19)$$

$$\Rightarrow \delta_N = \sin^{-1} \left(\frac{P_G}{P_{\max}} \right) \quad (6.20)$$

$$= \sin^{-1} \left(\frac{0.5}{1.2} \right) \quad (6.21)$$

$$= 24.6243 \text{ [deg]} \quad (6.22)$$

となり、円筒状（非突極）回転子の同期発電機であるとする、

$$X_d = X_q \simeq X_s = 1.5 \text{ [pu]} \quad (6.23)$$

なので、

$$|\dot{I}_q| = \frac{|\dot{V}_N| \sin \delta_N}{X_l + X_q} \quad (6.24)$$

$$= \frac{1 \sin 24.6243^\circ}{0.2 + 1.5} \quad (6.25)$$

$$= 0.2451 \text{ [pu]} \quad (6.26)$$

$$|\dot{I}_d| = \frac{|\dot{E}| - |\dot{V}_N| \cos \delta_N}{X_l + X_d} \quad (6.27)$$

$$= \frac{2.04 - 1 \cos 24.6243^\circ}{0.2 + 1.5} \quad (6.28)$$

$$= 0.6653 \text{ [pu]} \quad (6.29)$$

電流 \dot{I} の大きさ $|\dot{I}|$ は,

$$|\dot{I}| = \sqrt{|\dot{I}_q|^2 + |\dot{I}_d|^2} \quad (6.30)$$

$$= \sqrt{0.2451^2 + 0.6653^2} \quad (6.31)$$

$$= 0.7090 \text{ [pu]} \quad (6.32)$$

\dot{I} の位相 θ_I は,

$$\theta_I = -\tan^{-1} \left(\frac{|\dot{I}_d|}{|\dot{I}_q|} \right) \quad (6.33)$$

$$= -\tan^{-1} \left(\frac{0.6653}{0.2451} \right) \quad (6.34)$$

$$= -69.5559 \text{ [deg]} \quad (6.35)$$

よって, \dot{I} は,

$$\dot{I} = |\dot{I}| \angle \theta_I \quad (6.36)$$

$$= 0.7090 \angle -69.5559^\circ \text{ [pu]} \quad (6.37)$$

となる.

また, 直接計算すると

$$\dot{I} = 0.7090 \angle -69.7749^\circ \text{ [pu]} \quad (6.38)$$

となる.

※教科書の答えは間違っていることに注意されたい.

6.4 円筒状 (非突極) 回転子の同期発電機が無限大母線に 1.2 pu の皮相電力を送電している. 界磁起電力の大きさは 1.3 pu であり, 電力角は 20° である. 無限大母線の電圧を 1.0 pu とするとき, この同期発電機リアクタンスを求めよ. 有効電力, 無効電力は (6.29) 式, (6.30) 式を用いる.

本の中の (6.29) 式と (6.30) 式:

$$P_G = \frac{|\dot{V}| |\dot{E}| \sin \delta_N}{X_s} \text{ [MW/phase]} \quad (6.29)$$

$$Q_G = \frac{|\dot{V}| |\dot{E}| \cos \delta_N}{X_s} - \frac{|\dot{V}|^2}{X_s} \text{ [Mvar/phase]} \quad (6.30)$$

[解答]

$$\text{有効電力: } P_G = \frac{|\dot{V}| |\dot{E}| \sin \delta_N}{X_s} \quad (6.39)$$

$$= \frac{1.0 * 1.3 \sin 20^\circ}{X_s} \quad (6.40)$$

$$= \frac{0.446}{X_s} \text{ [pu]} \quad (6.41)$$

$$\text{無効電力: } Q_G = \frac{|\dot{V}| |\dot{E}| \cos \delta_N}{X_s} - \frac{|\dot{V}|^2}{X_s} \quad (6.42)$$

$$= \frac{1.0 * 1.3 \cos 20^\circ}{X_s} - \frac{1.0^2}{X_s} \quad (6.43)$$

$$= \frac{1.2216}{X_s} - \frac{1.0}{X_s} \text{ [pu]} \quad (6.44)$$

$$\text{皮相電力: } |\dot{S}_G| = \sqrt{P_G^2 + Q_G^2} \quad (6.45)$$

であるので, P_G と Q_G の値をこの式に代入すると,

$$1.2 = \sqrt{\left(\frac{0.446}{X_s} \right)^2 + \left(\frac{1.2216}{X_s} - \frac{1.0}{X_s} \right)^2} \quad (6.46)$$

$$\Rightarrow X_s = 0.414 \text{ [pu]} \quad (6.47)$$

が得られる.