

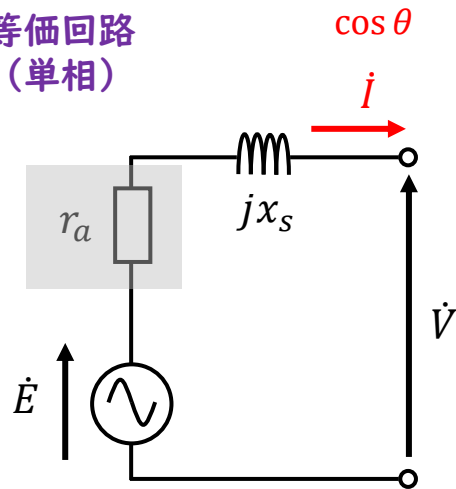
電験三種 オンライン講座

機械 過去問解説(4) 同期機

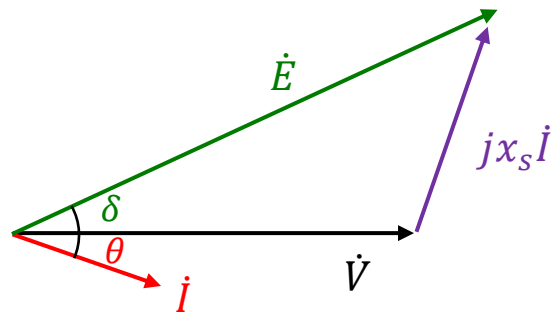
同期機の等価回路

同期発電機の等価回路

等価回路
(単相)

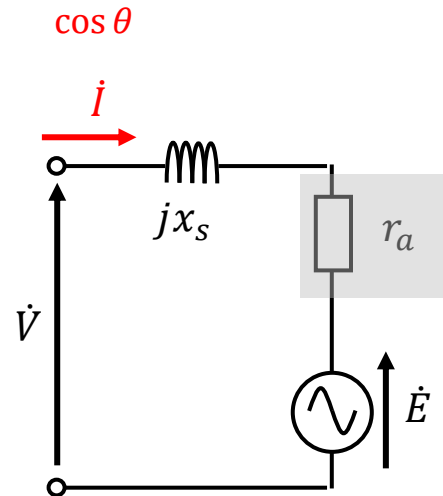


$$\dot{E} = r_a \dot{I} + jx_s \dot{I} + \dot{V} \sim jx_s \dot{I} + \dot{V}$$

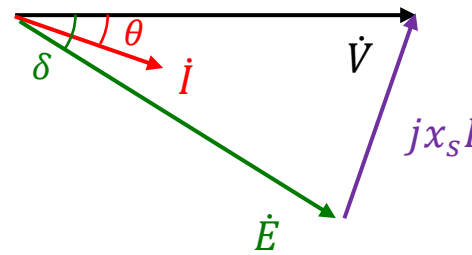


負荷角 δ : 無負荷誘導起電力と端子電圧の位相差
→ 負荷をつないだことによる誘導起電力の位相変化

同期電動機の等価回路



$$\dot{V} = r_a \dot{I} + jx_s \dot{I} + \dot{E} \sim jx_s \dot{I} + \dot{E}$$



負荷角 δ : 端子電圧と誘導起電力の位相差

電動機誘導起電力 : E [V]
電機子巻線抵抗 : r_a [Ω]
同期リアクタンス : x_s [Ω]
端子電圧 : V [V]

電験三種では
ほぼ無視

電機子電流 : I [A]
力率 : $\cos \theta$

電動機の負荷特性で決まる

同期電動機の実出力 (有効電力) P
 $P = 3VI \cos \theta$ [W]

同期電動機のトルク T

$$T = \frac{P}{\omega_s} = \frac{P}{2\pi \frac{N_s}{60}}$$

トルク : T [N · m]

同期速度 : N_s [min^{-1}]

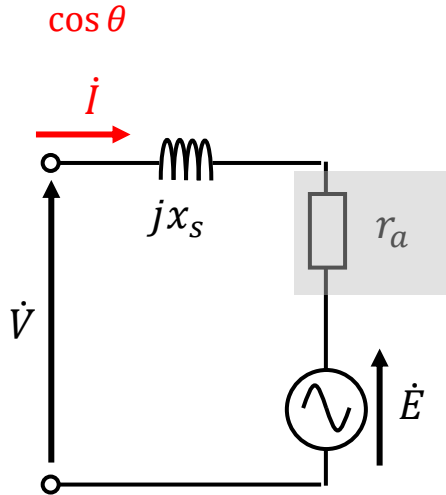
同期角周波数 : ω_s [rad/s]

$$\omega_s = 2\pi \frac{N_s}{60}$$

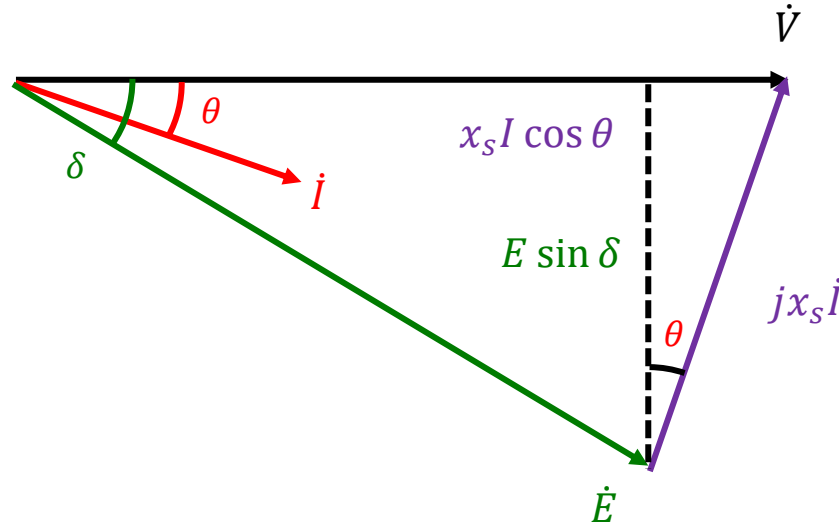
同期電動機の有効電力と負荷角 ×



同期電動機の等価回路



$$\dot{V} = jx_s \dot{I} + \dot{E}$$



同期電動機の実出力（有効電力） P

$$P = 3VI \cos \theta \quad [\text{W}]$$

$$E \sin \delta = x_s I \cos \theta$$

$$\rightarrow I \cos \theta = \frac{E \sin \delta}{x_s}$$

$$P = 3V \frac{E \sin \delta}{x_s} = 3 \frac{VE \sin \delta}{x_s}$$

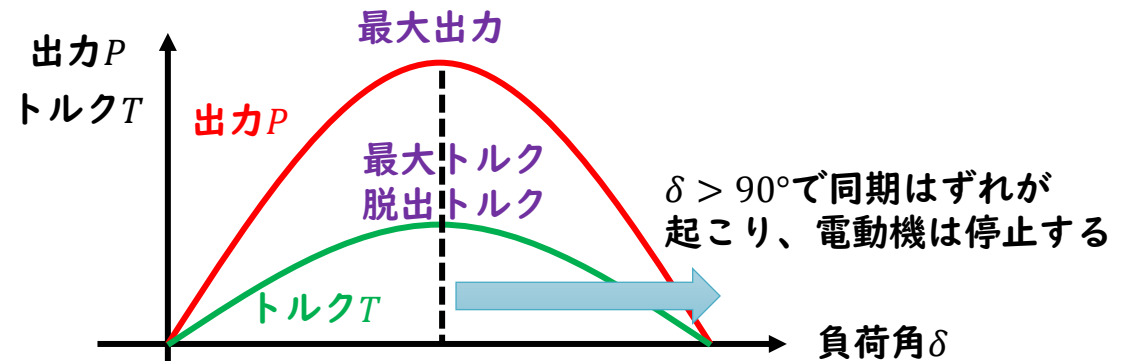
端子電圧と誘導起電力を線間電圧とすると

$$P = 3V \frac{E \sin \delta}{x_s} = \frac{V_l E_l \sin \delta}{x_s}$$

電動機誘導起電力： E [V]
 電機子巻線抵抗： r_a [Ω]
 同期リアクタンス： x_s [Ω]
 端子電圧： V [V]

電機子電流： I [A]
 力率： $\cos \theta$

負荷角 δ ：端子電圧と誘導起電力の位相差



H20 問5

定格容量3300 [kV・A]、定格電圧6600 [V]、星形結線の三相同期発電機がある。この発電機の電機子巻線の一相当たりの抵抗は0.15 [Ω]、同期リアクタンスは12.5 [Ω]である。この発電機を負荷力率100 [%]で定格運転したとき、一相当たりの内部誘導起電力 [V]の値として、最も近いのは次のうちどれか。ただし、磁気飽和は無視できるものとする。

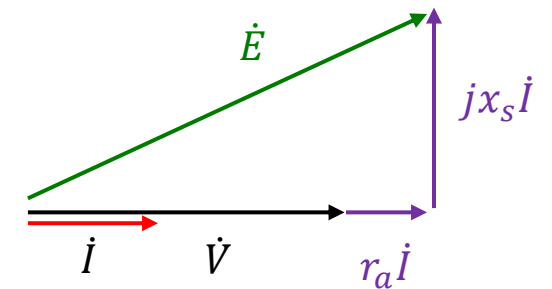
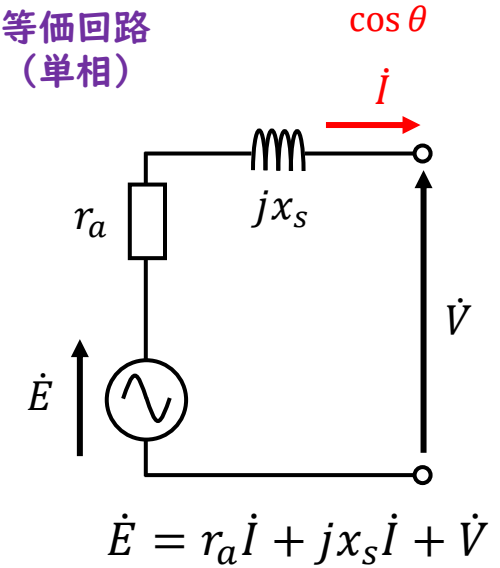
- (1) 3050 (2) 4670 (3) 5280 (4) 7460 (5) 9150

H20 問5

定格容量3300 [kV・A]、定格電圧6600 [V]、星形結線の三相同期発電機がある。この発電機の電機子巻線の一相当たりの抵抗は0.15 [Ω]、同期リアクタンスは12.5 [Ω]である。この発電機を負荷力率100 [%]で定格運転したとき、一相当たりの内部誘導起電力 [V]の値として、最も近いのは次のうちどれか。ただし、磁気飽和は無視できるものとする。

- (1) 3050 (2) 4670 (3) 5280 (4) 7460 (5) 9150

等価回路
(単相)



H20 問5

定格容量3300 [kV・A]、定格電圧6600 [V]、星形結線の三相同期発電機がある。この発電機の電機子巻線の一相当たりの抵抗は0.15 [Ω]、同期リアクタンスは12.5 [Ω]である。この発電機を負荷力率100 [%]で定格運転したとき、一相当たりの内部誘導起電力 [V]の値として、最も近いのは次のうちどれか。ただし、磁気飽和は無視できるものとする。

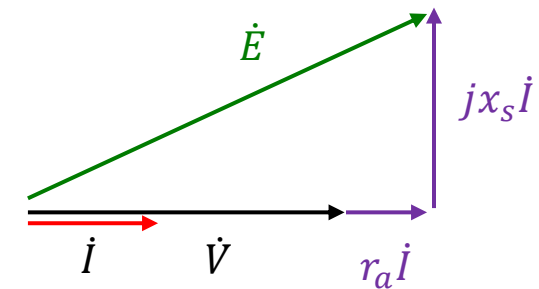
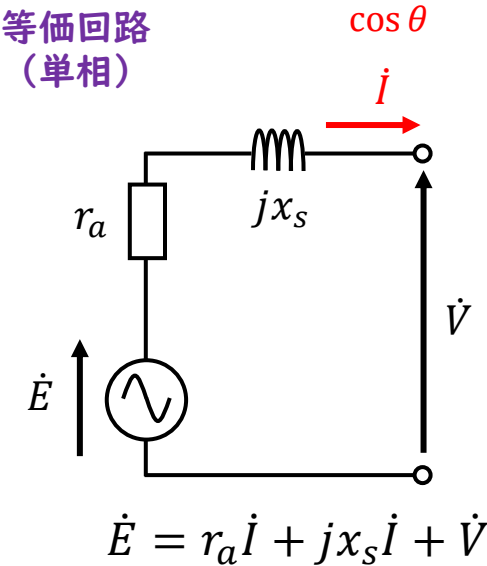
- (1) 3050 (2) 4670 (3) 5280 (4) 7460 (5) 9150

$$\dot{E} = \dot{V} + r_a \dot{I} + jx_s \dot{I}$$

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3}V_n} = \frac{3300 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6600} = 288.7 \text{ A}$$

$$E = \sqrt{(V + r_a I_n)^2 + (x_s I_n)^2} = \sqrt{(6600/\sqrt{3} + 0.15 \times 288.7)^2 + (12.5 \times 288.7)^2} = 5280 \text{ V}$$

等価回路
(単相)



H19 問15

6極、定格周波数60 [Hz]、電機子巻線がY結線の円筒形三相同期電動機がある。この電動機の一相当たりの同期リアクタンスは3.52 [Ω]であり、また、電機子抵抗は無視できるものとする。端子電圧（線間）440 [V]、定格周波数の電源に接続し、励磁電流を一定に保ってこの電動機を運転したとき、次の(a)及び(b)に答えよ。

(a) この電動機の同期速度を角速度[rad/s]で表した値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 12.6 (2) 48 (3) 63 (4) 126 (5) 253

(b) 無負荷誘導起電力（線間）が400 [V]、負荷角が60 [$^{\circ}$]のとき、この電動機のトルク [$\text{N}\cdot\text{m}$]の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 115 (2) 199 (3) 345 (4) 597 (5) 1034

H19 問15

6極、定格周波数60 [Hz]、電機子巻線がY結線の円筒形三相同期電動機がある。この電動機の一相当たりの同期リアクタンスは3.52 [Ω]であり、また、電機子抵抗は無視できるものとする。端子電圧（線間）440 [V]、定格周波数の電源に接続し、励磁電流を一定に保ってこの電動機を運転したとき、次の(a)及び(b)に答えよ。

(a) この電動機の同期速度を角速度[rad/s]で表した値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 12.6 (2) 48 (3) 63 (4) 126 (5) 253

(b) 無負荷誘導起電力（線間）が400 [V]、負荷角が60 [$^\circ$]のとき、この電動機のトルク [N・m]の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 115 (2) 199 (3) 345 (4) 597 (5) 1034

$$\begin{aligned}\omega_s &= 2\pi \frac{N_s}{60} = 2\pi \times \frac{1}{60} \times \frac{120f}{p} \\ &= 2\pi \times \frac{1}{60} \times \frac{120 \times 60}{6} = 125.6 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

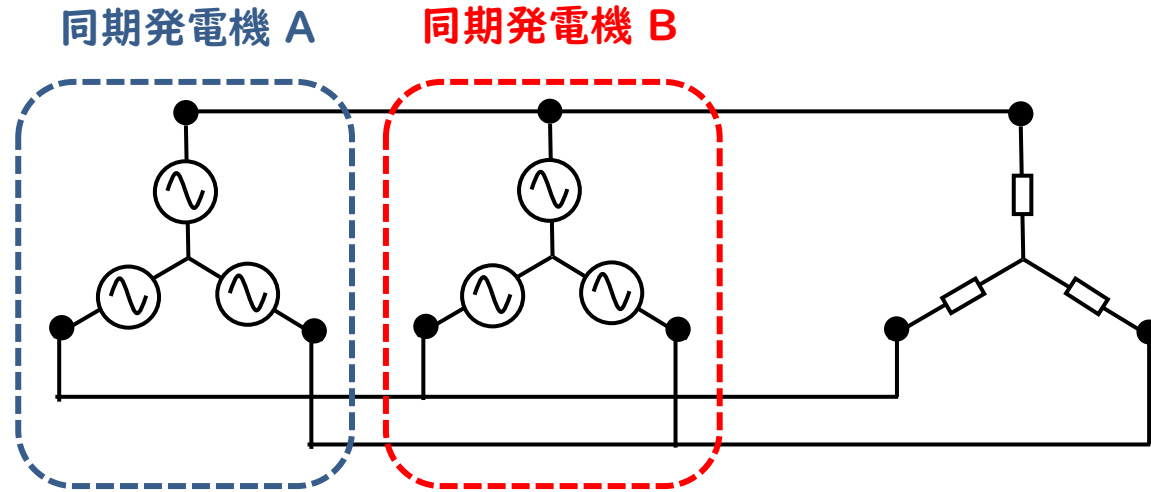
同期電動機の出力Pは

$$P = 3 \frac{VE \sin \delta}{x_s} = \frac{V_l E_l \sin \delta}{x_s} = \frac{440 \times 400 \times \sin 60^\circ}{3.52} = 43301 \text{ W}$$

電動機トルクTは

$$T = \frac{P}{\omega_s} = \frac{43301}{125.6} = 344.8 \sim 345 \text{ N} \cdot \text{m}$$

同期発電機の並列運転 ×



それぞれの同期発電機の起電力の

- 大きさが等しい → 回転子の界磁巻線の励磁電流で調整
- 位相が一致している → 回転子の回転速度を調整
- 周波数が等しい → 回転子の回転速度を調整
- 相順が等しい

※電圧波形（瞬時値）が同じである必要がある

H13 問4



回転速度 $600 [\text{min}^{-1}]$ で運転している極数12の同期発電機がある。この発電機に極数8の同期発電機を平行運転させる場合、極数8の発電機の回転速度 $[\text{min}^{-1}]$ の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 400 (2) 450 (3) 660 (4) 900 (5) 1200

H13 問4

回転速度600 [min⁻¹]で運転している極数12の同期発電機がある。この発電機に極数8の同期発電機を平行運転させる場合、極数8の発電機の回転速度[min⁻¹]の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 400 (2) 450 (3) 660 (4) 900 (5) 1200

それぞれの同期発電機の起電力の

- ・大きさが等しい →回転子の界磁巻線の励磁電流で調整
- ・位相が一致している →回転子の回転速度を調整
- ・周波数が等しい →回転子の回転速度を調整
- ・相順が等しい

※電圧波形（瞬時値）が同じである必要がある

発電機の起電力の周波数 f は

$$N_s = \frac{120f}{p} \rightarrow f = \frac{pN_s}{120} = \frac{12 \times 600}{120} = 60 \text{ Hz}$$

平行運転では周波数が一致するので、

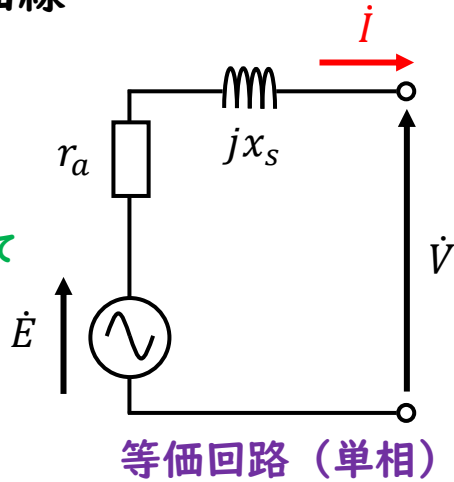
$$N'_s = \frac{120f}{p'} = \frac{120 \times 60}{8} = 900 \text{ min}^{-1}$$

無負荷飽和曲線と三相短絡曲線



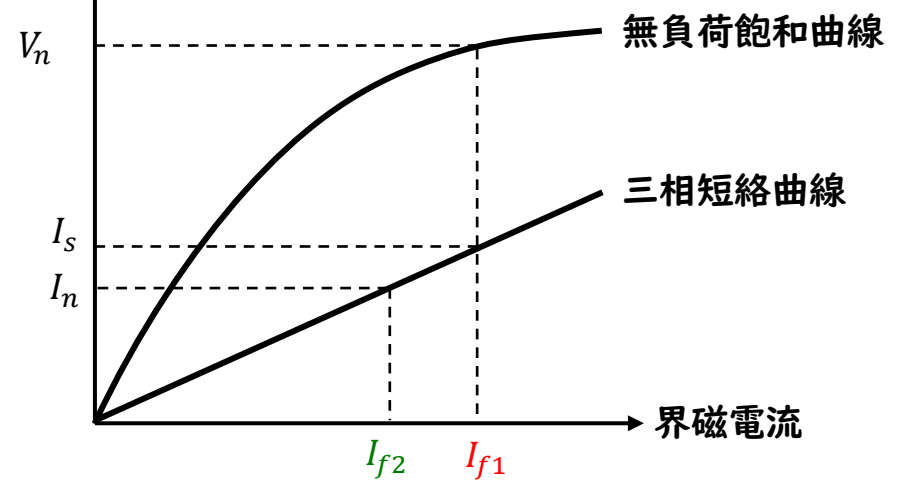
無負荷飽和曲線

界磁電流を増やして
誘導起電力を増加



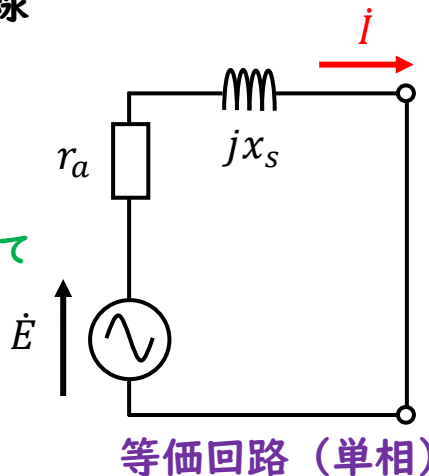
無負荷で端子電圧
を測定

端子電圧
電機子電流



三相短絡曲線

界磁電流を増やして
誘導起電力を増加



出力端子を短絡して
電機子電流を測定

$$\text{短絡比 } K_s = \frac{\text{(無負荷時に定格電圧を発生させる界磁電流 } I_{f1})}{\text{(短絡時に定格電流を発生させる界磁電流 } I_{f2})}$$

短絡比 K_s と %Z の関係

$$K_s = \frac{I_{f1}}{I_{f2}} = \frac{I_s}{I_n} = \frac{100}{\%Z}$$

同期機に関する%インピーダンス



基準インピーダンス

$$Z_{BASE} = \frac{(\text{線間電圧})^2}{(\text{定格電力})} = \frac{V_n^2}{S_n} = \frac{(\text{相電圧})}{(\text{定格電流})} = \frac{V_n/\sqrt{3}}{I_n} = \frac{V_n}{\sqrt{3}I_n}$$

%インピーダンス

$$\%Z = \frac{(\text{実インピーダンス})}{(\text{基準インピーダンス})} \times 100 = \frac{z}{Z_{BASE}} \times 100 [\%]$$

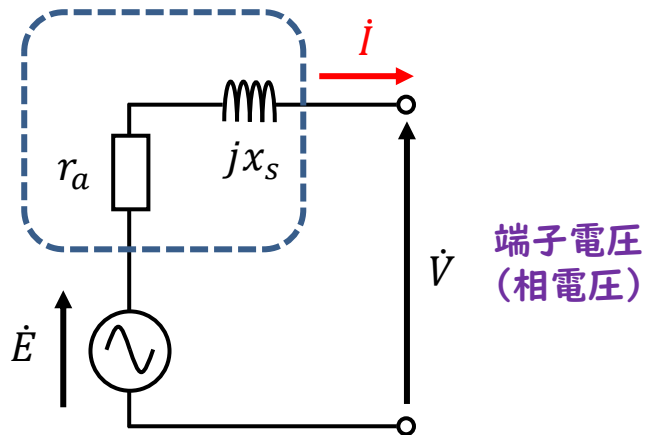
$$\begin{aligned} \%Z &= \frac{z}{Z_{BASE}} \times 100 = 100 \times \frac{z}{Z_{BASE}} \times \frac{V_n/\sqrt{3}}{V_n/\sqrt{3}} \\ &= 100 \times \frac{V_n/\sqrt{3}}{Z_{BASE}} \times \frac{z}{V_n/\sqrt{3}} = 100 \times \frac{V_n/\sqrt{3}}{Z_{BASE}} \times \frac{z}{V_n/\sqrt{3}} \end{aligned}$$

$$\%Z = 100 \times I_n \times \frac{1}{I_s} \rightarrow \frac{I_s}{I_n} = K_s = \frac{100}{\%Z}$$

三相短絡電流： I_s [A]
短絡比： K_s

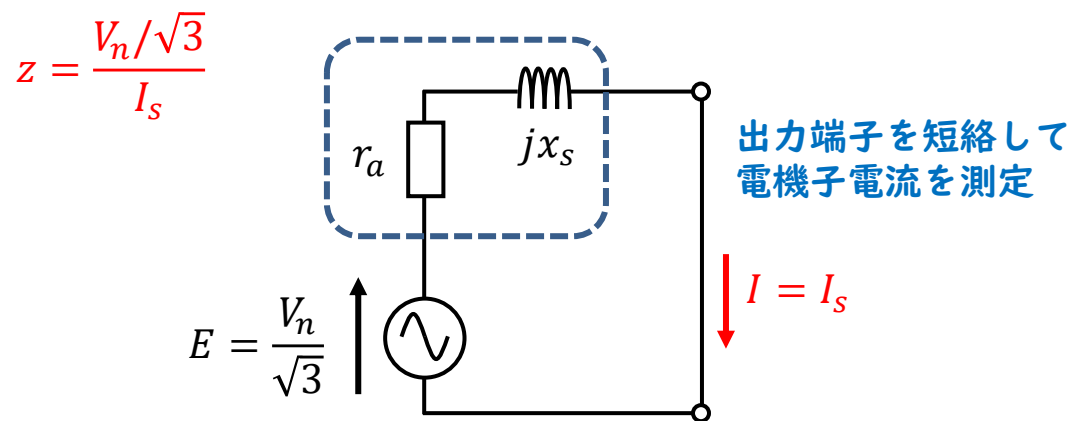
等価回路 (単相)

z : 同期インピーダンス



短絡試験と同期インピーダンス

z : 同期インピーダンス



H19 問5

定格速度、励磁電流480 [A]、無負荷で運転している三相同期発電機がある。この状態で、無負荷電圧（線間）を測ると12600 [V]であった。つぎに、96 [A]の励磁電流を流して短絡試験を実施したところ、短絡電流は820 [A]であった。この同期発電機の同期インピーダンス[Ω]の値として、最も近いのは次のうちどれか。
ただし、磁気飽和は無視できるものとする。

- (1) 1.77 (2) 3.07 (3) 15.4 (4) 44.4 (5) 76.8

H19 問5

定格速度、励磁電流480 [A]、無負荷で運転している三相同期発電機がある。この状態で、無負荷電圧（線間）を測ると12600 [V]であった。つぎに、96 [A]の励磁電流を流して短絡試験を実施したところ、短絡電流は820 [A]であった。この同期発電機の同期インピーダンス[Ω]の値として、最も近いのは次のうちどれか。
ただし、磁気飽和は無視できるものとする。

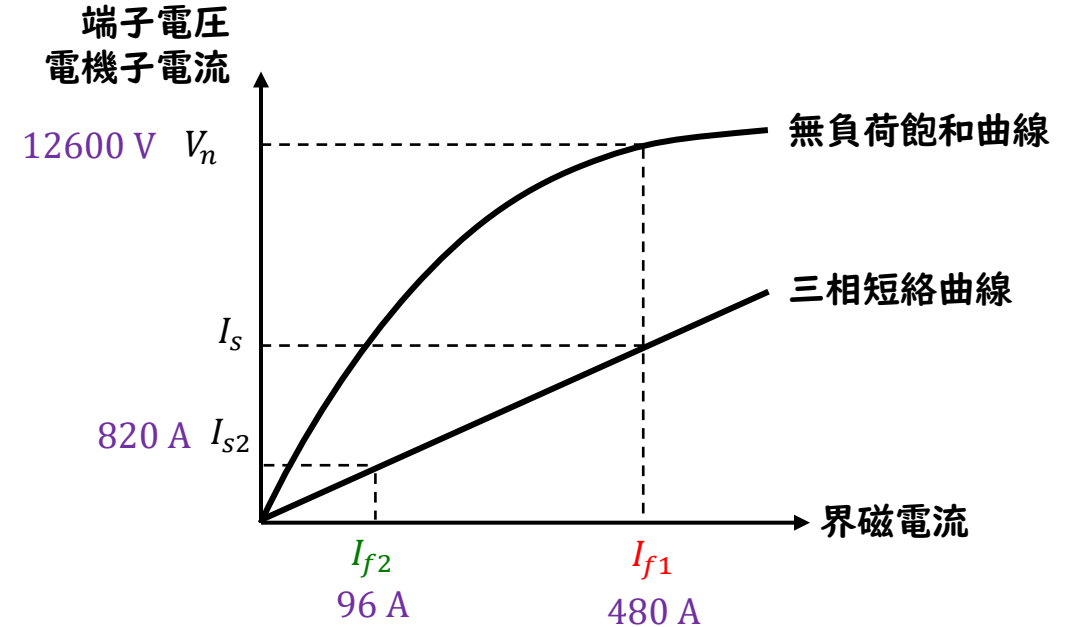
- (1) 1.77 (2) 3.07 (3) 15.4 (4) 44.4 (5) 76.8

短絡電流 I_s は

$$I_s = \frac{I_{s2}}{I_{f2}} \times I_{f1} = \frac{820}{96} \times 480 = 4100 \text{ A}$$

同期インピーダンス Z_s は

$$Z_s = \frac{V_n / \sqrt{3}}{I_s} = \frac{12600}{\sqrt{3} \times 4100} = 1.77 \text{ } \Omega$$



H15 問4

三相同期発電機があり、無負荷で端子電圧（線間）15.2 [kV]を発生させるのに必要な界磁電流は500 [A]である。この界磁電流を100 [A]にして短絡試験を行ったとき、短絡電流860 [A]が流れた。界磁電流が500 [A]のとき、この発電機の同期インピーダンス[Ω]の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 0.55 (2) 2.04 (3) 3.53 (4) 6.86 (5) 10.2

H15 問4

三相同期発電機があり、無負荷で端子電圧（線間）15.2 [kV]を発生させるのに必要な界磁電流は500 [A]である。この界磁電流を100 [A]にして短絡試験を行ったとき、短絡電流860 [A]が流れた。界磁電流が500 [A]のとき、この発電機の同期インピーダンス[Ω]の値として、最も近いのは次のうちどれか。

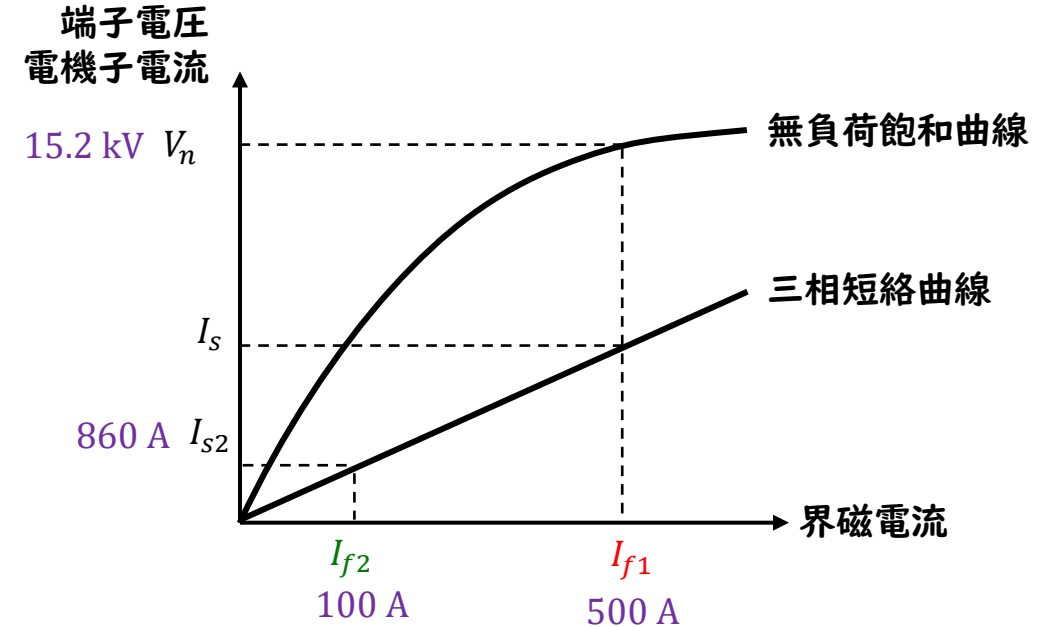
- (1) 0.55 (2) 2.04 (3) 3.53 (4) 6.86 (5) 10.2

短絡電流 I_s は

$$I_s = \frac{I_{s2}}{I_{f2}} \times I_{f1} = \frac{860}{100} \times 500 = 4300 \text{ A}$$

同期インピーダンス Z_s は

$$Z_s = \frac{V_n / \sqrt{3}}{I_s} = \frac{15200}{\sqrt{3} \times 4300} = 2.04 \text{ } \Omega$$



ご聴講ありがとうございました!!