電験二種　オンライン講座

電力管理 送電（1）

2024.10.13 Sun

R05 問3

問３　等面積法を用いた過渡安定性の計算に関して，次の問に答えよ。

図 1 のように，変圧器及び 2 回線送電線を介して，同期発電機から無限大母線へ三相 3 線式で送電する系統を考える。変圧器のリアクタンスは X_t [p.u.]，送電線 1 回線当たりのリアクタンスを X_l [p.u.]，同期発電機のリアクタンスは系統じょう乱の影響によらず過渡リアクタンス X_d' [p.u.]で一定とし，いずれも抵抗や静電容量は無視する。同期発電機の内部電圧及び無限大母線の電圧の大きさはそれぞれ E_G [p.u.]及び E_0 [p.u.]で一定とし，同期発電機の発電出力(電気的出力)及びその初期値をそれぞれ P_G [p.u.]及び P_{G0} [p.u.]とする。無限大母線の電圧を位相の基準，単位法による定数は全て同一の基準容量に基づくものとして，以下の問に答えよ。

(1)　発電機内部電圧の位相角を δ_0 [rad]として，同期発電機の発電出力 P_G を表す数式を E_G，E_0，X_d'，X_t，X_l，δ_0 を用いて記載せよ。

以降の設問では，$X_t=0.10$ p.u.，$X_l=0.20$ p.u.，$X_d'=0.15$ p.u.，$E_G=E_0=1.0$ p.u.，$P_{G0}=0.8$ p.u.とする。また，発電機への機械的入力は P_{G0} に等しく，かつ，一定とする。$\pi=3.14$ として計算し，有効桁数を2桁として答えよ。なお，同期発電機が定常状態にある平衡点では発電機内部電圧の位相角は小さいとみなし，$\sin\delta\approx\delta$ の近似を用いてよい。

(2)　同期発電機の内部電圧の位相角 δ_0 [rad]を求めよ。

(3)　図 1 の送電線 1 回線で三相地絡故障が生じ，その後，当該の回線が両端の遮断器の動作により切り離されることを想定する。1 回線開放後の不安定平衡点における位相角 δ_u [rad]を求めよ。ここで，1 回線開放後の系統における発電出力と内部電圧の位相角との関係を図 2 に示す。同図の安定平衡点における位相角を δ_s [rad]とし，$\delta_u=\pi-\delta_s$ を用いること。

(4)　小問(3)の故障が生じた際，故障継続中の同期発電機の発電出力を 0 p.u.とすると，同期発電機の位相角が図 3 の δ_c [rad]に到達する前に当該の回線を開放できれば脱調を回避できる。ここで δ_c [rad]は，等面積法により同図中の面積(A)と(B)が等しくなる位相角である。$\cos\delta_c$ の値を求めよ。ただし，同期発電機の制動効果は無視する。

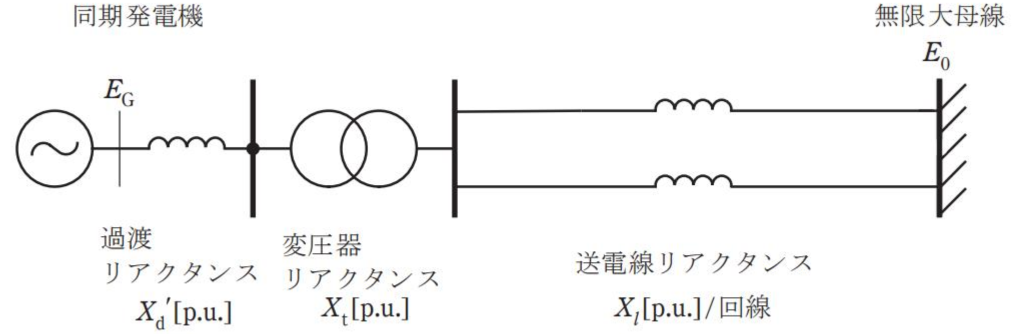


図 1

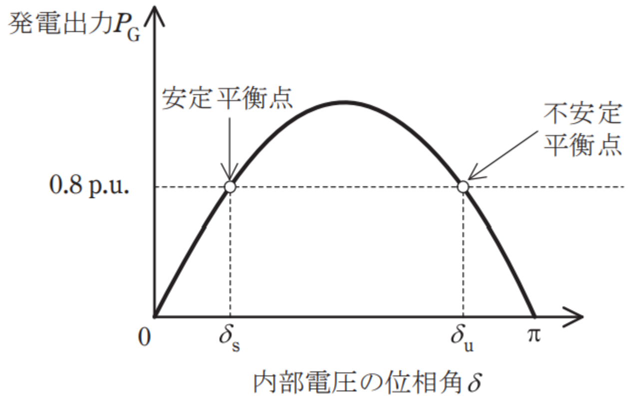


図 2

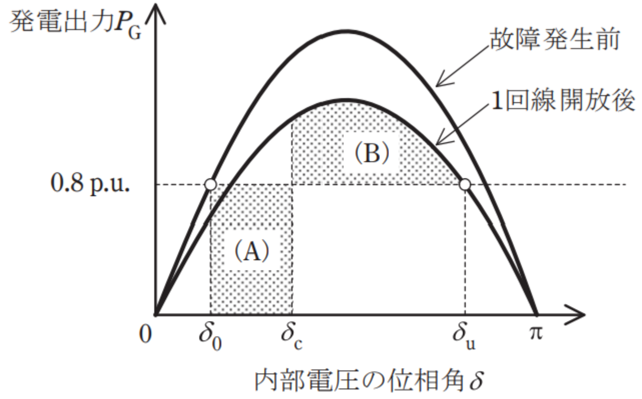


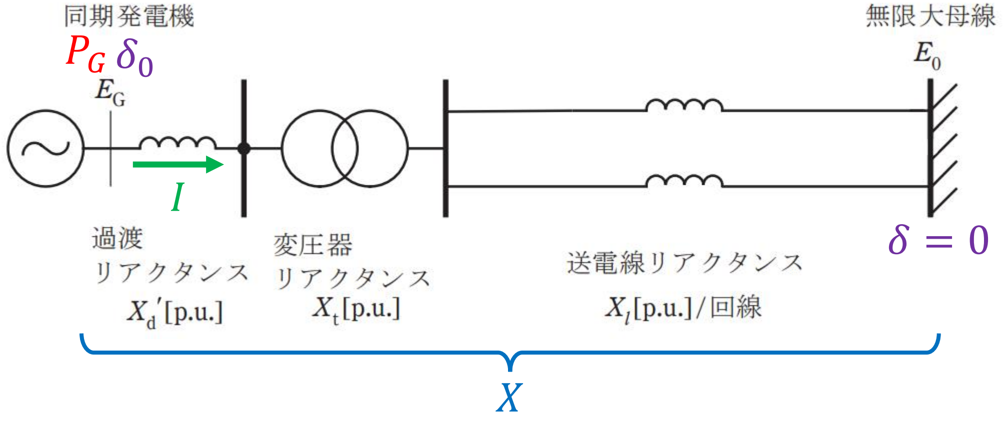
図 3

R05 問3

問３　等面積法を用いた過渡安定性の計算に関して，次の問に答えよ。

図 1 のように，変圧器及び 2 回線送電線を介して，同期発電機から無限大母線へ三相 3 線式で送電する系統を考える。変圧器のリアクタンスは X_t [p.u.]，送電線 1 回線当たりのリアクタンスを X_l [p.u.]，同期発電機のリアクタンスは系統じょう乱の影響によらず過渡リアクタンス X_d' [p.u.]で一定とし，いずれも抵抗や静電容量は無視する。同期発電機の内部電圧及び無限大母線の電圧の大きさはそれぞれ E_G [p.u.]及び E_0 [p.u.]で一定とし，同期発電機の発電出力(電気的出力)及びその初期値をそれぞれ P_G [p.u.]及び P_{G0} [p.u.]とする。無限大母線の電圧を位相の基準，単位法による定数は全て同一の基準容量に基づくものとして，以下の問に答えよ。

(1)　発電機内部電圧の位相角を δ_0 [rad]として，同期発電機の発電出力 P_G を表す数式を E_G，E_0，X_d'，X_t，X_l，δ_0 を用いて記載せよ。



電圧と電力の関係の式を作る

$$\dot{I} = \frac{\dot{E}_G - \dot{E}_0}{jX}$$

$\dot{E}_G\bar{\dot{I}} = P_G + jQ_G$ **（遅れ無効電力が正）**

※電流を共役複素数に取る場合、遅れ無効電力が正
**　電圧を共役複素数に取る場合、進み無効電力が正**

$$\dot{E}_G\bar{\dot{I}} = \dot{E}_G\overline{\frac{\dot{E}_G - \dot{E}_0}{jX}}\ \dot{E}_G\frac{\overline{\dot{E}_G} - \overline{\dot{E}_0}}{\overline{jX}} = \dot{E}_G \times \frac{\overline{\dot{E}_G} - E_0}{-jX} = j\frac{E_G^2}{X} - j\frac{E_0}{X}\dot{E}_G$$

$$= j\frac{E_G^2}{X} - j\frac{E_0}{X}E_G e^{j\delta_0} = j\frac{E_G^2}{X} - j\frac{E_0}{X}E_G(\cos\delta_0 + j\sin\delta_0)$$

$$P_G + jQ_G = \frac{E_0E_G}{X}\sin\delta + j\left(\frac{E_G^2}{X} - \frac{E_0E_G}{X}\cos\delta_0\right) \rightarrow P_G = \frac{E_0E_G}{X}\sin\delta$$

$$X = X_d' + X_t + \frac{X_l}{2}$$

$$P_G = \frac{E_0E_G}{X_d' + X_t + \frac{X_l}{2}}\sin\delta$$

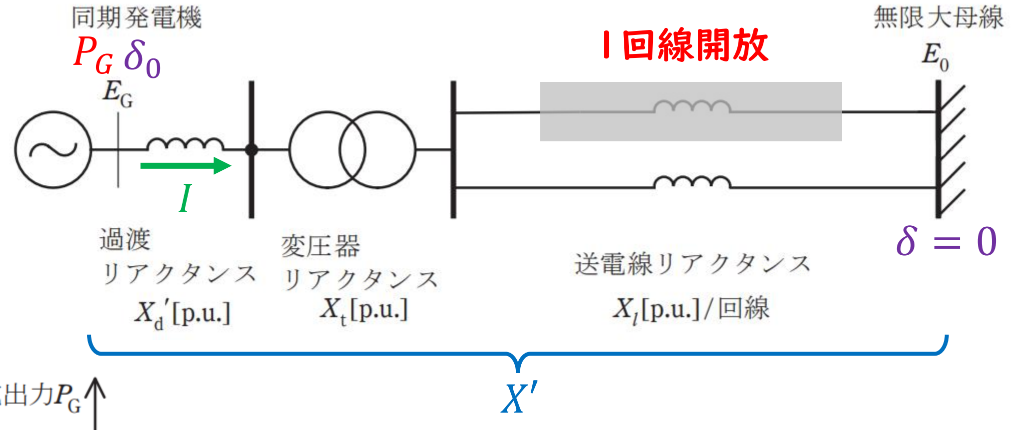
R05 問3

以降の設問では，X_t =0.10 p.u.，X_l =0.20 p.u.，X_d' =0.15 p.u.，$E_G = E_0$ =1.0 p.u.，P_{G0} =0.8 p.u.とする。また，発電機への機械的入力は P_{G0} に等しく，かつ，一定とする。π=3.14 として計算し，有効桁数を2桁として答えよ。なお，同期発電機が定常状態にある平衡点では発電機内部電圧の位相角は小さいとみなし，$\sin\delta \approx \delta$ の近似を用いてよい。

(2) 同期発電機の内部電圧の位相角 δ_0 [rad]を求めよ。

$$P_{G0} = \frac{E_0 E_G}{X_d' + X_t + \frac{X_l}{2}} \sin\delta_0 \ \rightarrow \sin\delta_0 = \frac{P_{G0}}{E_0 E_G}\left(X_d' + X_t + \frac{X_l}{2}\right)$$

$$\sin\delta_0 = \frac{0.8}{1\times 1}\left(0.15 + 0.1 + \frac{0.2}{2}\right) = 0.28 \ \rightarrow \delta_0 \sim 0.28$$



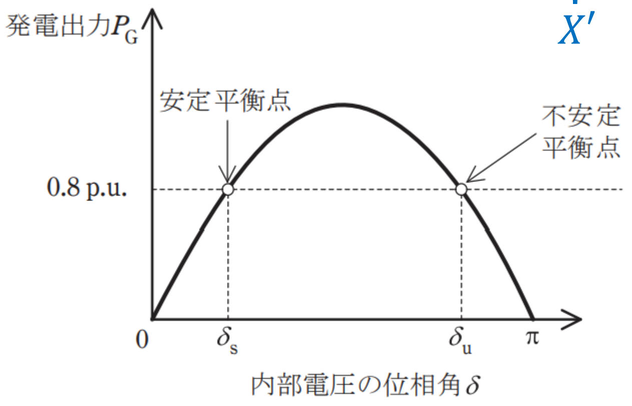


図 2

(3) 図1の送電線1回線で三相地絡故障が生じ，その後，当該の回線が両端の遮断器の動作により切り離されることを想定する。1回線開放後の不安定平衡点における位相角 δ_u [rad]を求めよ。ここで，1回線開放後の系統における発電出力と内部電圧の位相角との関係を図 2 に示す。同図の安定平衡点における位相角を δ_s [rad]とし，$\delta_u = \pi - \delta_s$ を用いること。

$$P_G' = \frac{E_0 E_G}{X_d' + X_t + X_l}\sin\delta_s$$

$$\rightarrow \sin\delta_s = \frac{P_G'}{E_0 E_G}(X_d' + X_t + X_l) = \frac{0.8}{1\times 1}(0.15 + 0.1 + 0.2)$$

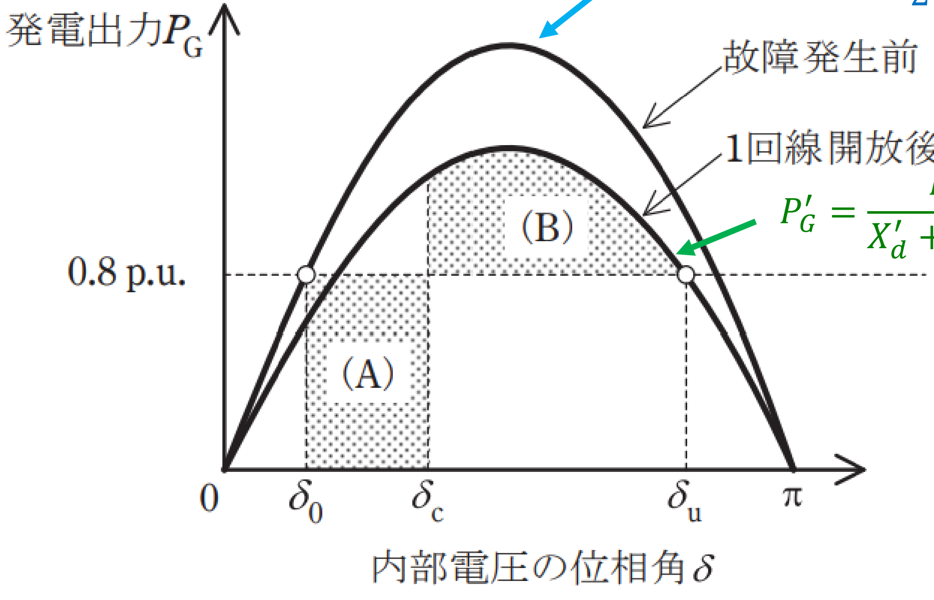
$$\sin\delta_s = 0.36 = \sin\delta_u = \sin(\pi - \delta_s)$$

$$\rightarrow \delta_u = \pi - \delta_s \sim 3.14 - 0.36 = 2.78$$

R05 問3

(4)　小問(3)の故障が生じた際，故障継続中の同期発電機の発電出力を 0 p.u.とすると，同期発電機の位相角が図3の δ_c [rad]に到達する前に当該の回線を開放できれば脱調を回避できる。ここで δ_c [rad]は，等面積法により同図中の面積(A)と(B)が等しくなる位相角である。$\cos\delta_c$ の値を求めよ。ただし，同期発電機の制動効果は無視する。

$$P_G = \frac{E_0E_G}{X_d' + X_t + \frac{X_l}{2}}\sin\delta$$



$$P_G' = \frac{E_0E_G}{X_d' + X_t + X_l}\sin\delta_s$$

図3

(A)の面積S_A

$$S_A = 0.8 \times (\delta_c - \delta_0)$$

(B)の面積S_B

$$S_B = \int_{\delta_c}^{\delta_u} P_G' - 0.8\mathrm{d}\delta = \int_{\delta_c}^{\delta_u} \frac{E_0E_G}{X_d' + X_t + X_l}\sin\delta\ \mathrm{d}\delta - 0.8(\delta_u - \delta_c)$$

$$= \frac{E_0E_G}{X_d' + X_t + X_l}[-\cos\delta]_{\delta_c}^{\delta_u} - 0.8(\delta_u - \delta_c)$$

$$= \frac{E_0E_G}{X_d' + X_t + X_l}(\cos\delta_c - \cos\delta_u) - 0.8(\delta_u - \delta_c)$$

$$\cos\delta_c - \cos(\pi - \delta_s) = \cos\delta_c + \cos\delta_s = \cos\delta_c + \sqrt{1 - \sin^2\delta_s}$$

$S_A = S_B$より

$$0.8 \times (\delta_c - \delta_0) = \frac{E_0E_G}{X_d' + X_t + X_l}\left(\cos\delta_c + \sqrt{1 - \sin^2\delta_s}\right) - 0.8(\delta_u - \delta_c)$$

$$0.8 \times (\delta_u - \delta_0) = \frac{1 \times 1}{0.15 + 0.1 + 0.2}\left(\cos\delta_c + \sqrt{1 - 0.36^2}\right)$$

$$\rightarrow \cos\delta_c = 0.45 \times 0.8 \times (2.78 - 0.28) - \sqrt{1 - 0.36^2} = -0.3295$$

R05 問4

問４　配電系統の電圧に関して，次の問に答えよ。

図１のように，こう長 4 km の三相高圧配電線の末端に 300 kW の三相負荷，力率改善後の力率(進み) 90 %の需要家が接続されている。

(1)　需要家端の線間電圧を 6 600 V とするとき，送電端電圧を求めよ。

なお，1 相当たりの線路抵抗及びリアクタンスを，それぞれ 0.2 Ω/km，0.6 Ω/km とする。

また，電圧計算の近似式を用いること。

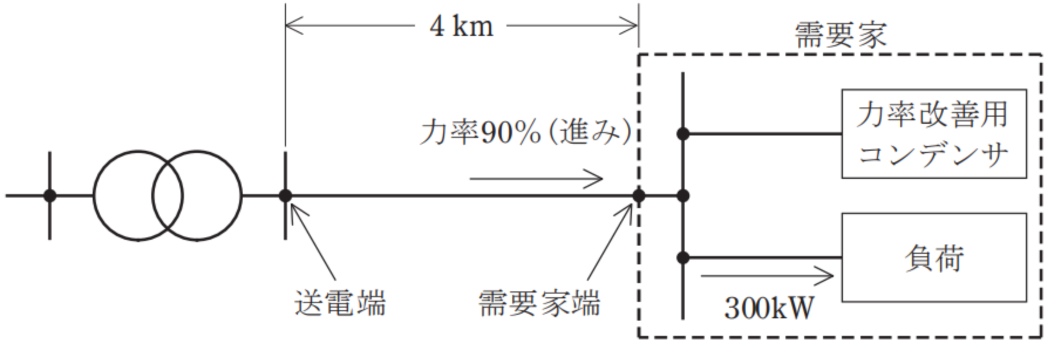


図１

(2)　小問(1)の系統において，図２のように，需要家の構内に新たに分散型電源を設置した。送電端の線間電圧が 6 600 V である場合，送電端と需要家端の電圧を同じ電圧 (6 600 V) に保つために需要家端に設置が必要なリアクトル容量 Q_1[kvar] を求めよ。分散型電源の出力は 500 kW，力率は 100 %とする。

なお，電圧計算の近似式を用いること。

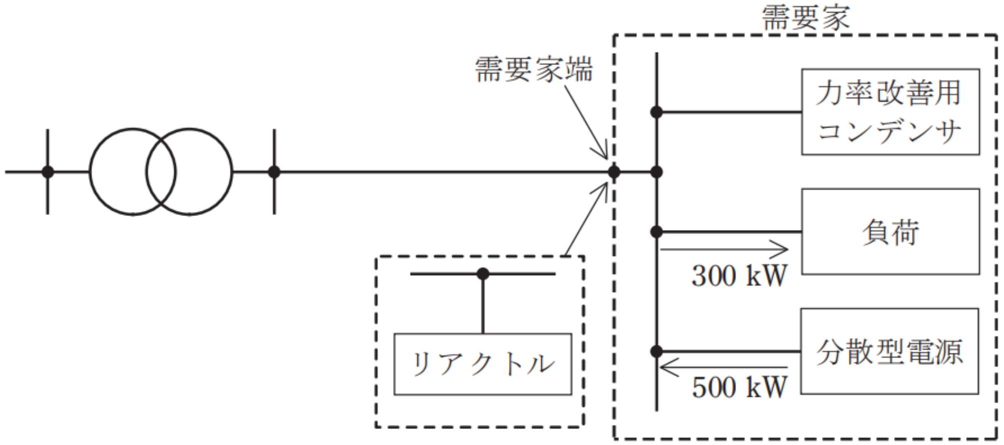


図２

R05 問4

問４　配電系統の電圧に関して，次の問に答えよ。

図１のように，こう長 4 km の三相高圧配電線の末端に 300 kW の三相負荷，力率改善後の力率(進み) 90 %の需要家が接続されている。

(1) 需要家端の線間電圧を 6 600 V とするとき，送電端電圧を求めよ。

なお，1 相当たりの線路抵抗及びリアクタンスを，それぞれ 0.2 Ω/km，0.6 Ω/km とする。

また，電圧計算の近似式を用いること。

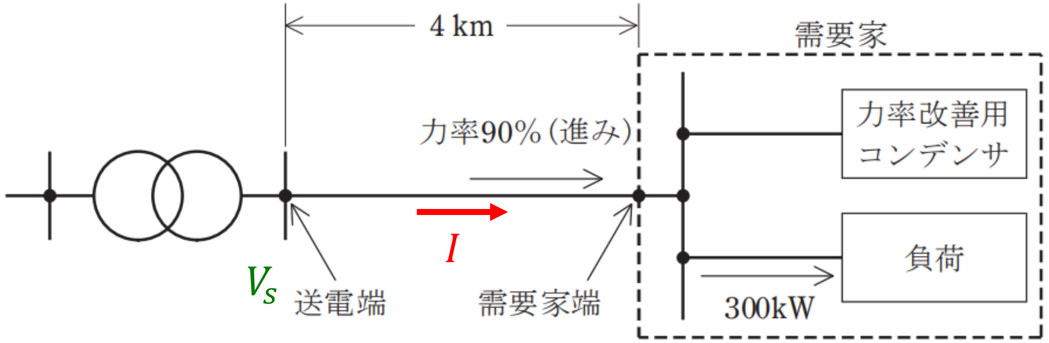
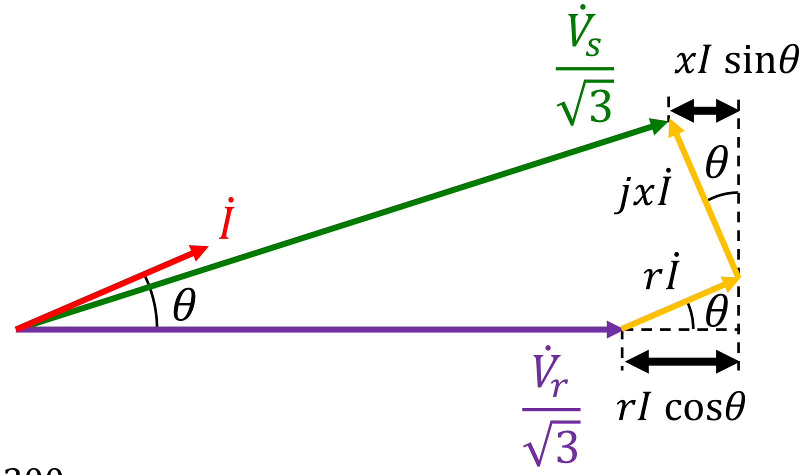


図 1　V_r



$$S=\frac{P}{\cos\theta}=\frac{300}{0.9}=333.33\ \mathrm{kVA}$$

$$Q_c=\sqrt{S^2-P^2}=\sqrt{333.33^2-300^2}$$
$$=145.30\ \mathrm{kvar}$$

$$I=\frac{S}{\sqrt{3}V_r}=\frac{333.33\times10^3}{\sqrt{3}\times6600}=29.159\ \mathrm{A}$$

$$\frac{V_s}{\sqrt{3}}\sim\frac{V_r}{\sqrt{3}}+rI\cos\theta-xI\sin\theta\ \rightarrow V_s-V_r=\sqrt{3}I(r\cos\theta-x\sin\theta)$$

$$V_s-V_r=\sqrt{3}\times29.159\times\left(0.2\times4\times0.9-0.6\times4\times\sqrt{1-0.9^2}\right)$$
$$=-16.47\ \mathrm{V}$$

$$V_s=V_r-16.47=6600-16.47=6583.5\ \mathrm{V}$$

R05 問4

(2) 小問(1)の系統において，図2のように，需要家の構内に新たに分散型電源を設置した。送電端の線間電圧が 6 600 V である場合，送電端と需要家端の電圧を同じ電圧 (6 600 V) に保つために需要家端に設置が必要なリアクトル容量 Q_1[kvar]を求めよ。分散型電源の出力は 500 kW，力率は 100 %とする。

なお，電圧計算の近似式を用いること。

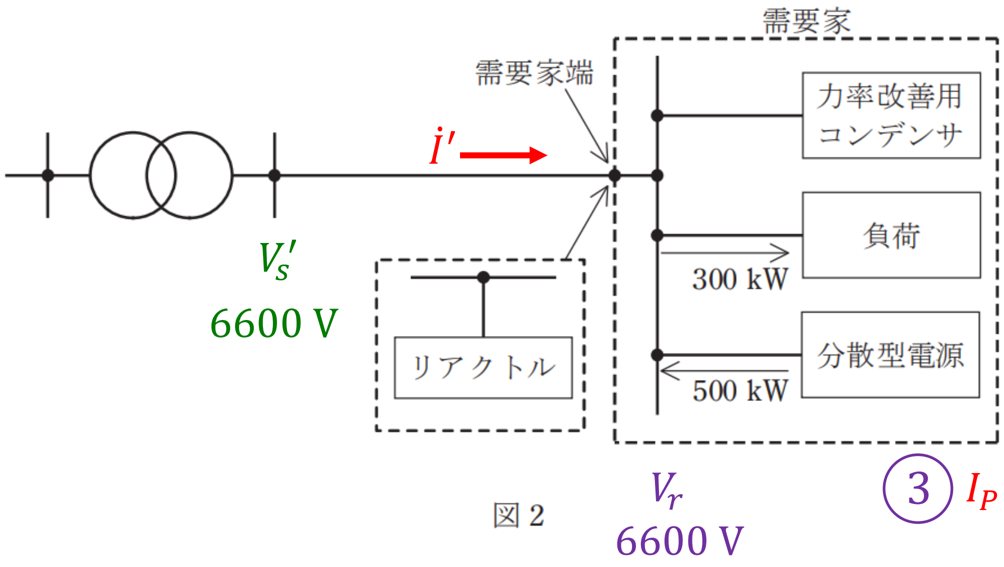
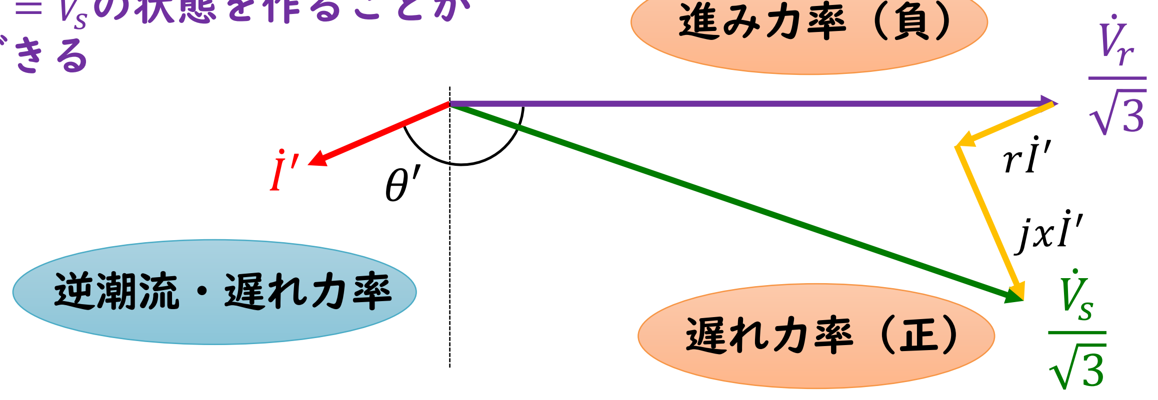


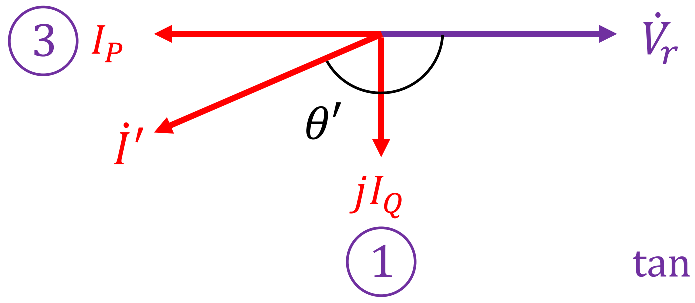
図 2

逆潮流・遅れ力率となるとき、$V_r = V_s$の状態を作ることができる



$$V_s - V_r = \sqrt{3}I'(r\cos\theta' + x\sin\theta') = 0 \ \rightarrow \ r\cos\theta' + x\sin\theta' = 0$$

$$-r\cos\theta' = x\sin\theta' \rightarrow \frac{\sin\theta'}{\cos\theta'} = -\frac{r}{x} \ \rightarrow \ \tan\theta' = -\frac{4\times 0.2}{4\times 0.6} = -\frac{1}{3}$$



$\dot{I}' = I_P + jI_Q$

I_P **：逆潮流の有効電力成分**

I_Q **：遅れ無効電力の成分**

$$\tan\theta' = -\frac{1}{3} \rightarrow I_P : I_Q = 3 : 1 \ \rightarrow I_Q = \frac{1}{3}I_P$$

R05 問4

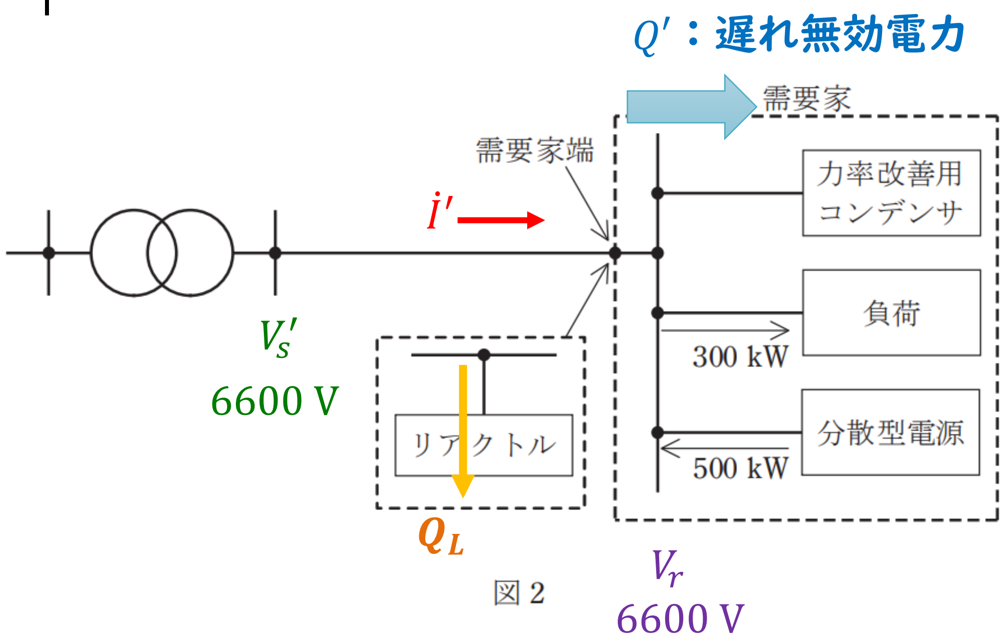
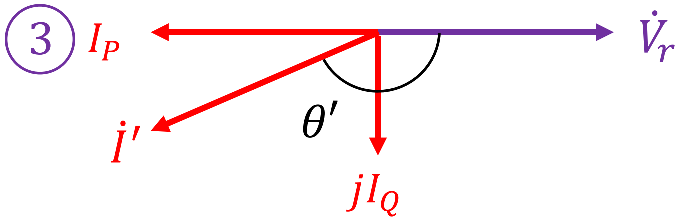


図 2



$\dot{I}' = I_P + jI_Q$

I_P：逆潮流の有効電力成分

I_Q：遅れ無効電力の成分

$\tan\theta' = -\frac{1}{3} \rightarrow I_P : I_Q = 3 : 1 \rightarrow I_Q = \frac{1}{3} I_P$

$$I_P = \frac{P'}{\sqrt{3}V_r} = \frac{(500-300)\times 10^3}{\sqrt{3}\times 6600} = 17.495\ \text{A}$$

$$I_P : I_Q = 3 : 1 \rightarrow I_Q = \frac{1}{3} I_P = 5.8318\ \text{A}$$

$$Q' = \sqrt{3}V_r I_Q = \sqrt{3}\times 6600 \times 5.8318 = 66.666\ \text{kvar}$$

$$Q' = Q_L - Q_C \rightarrow Q_L = Q' + Q_c = 66.666 + 145.30 = 211.966\ \text{kvar}$$

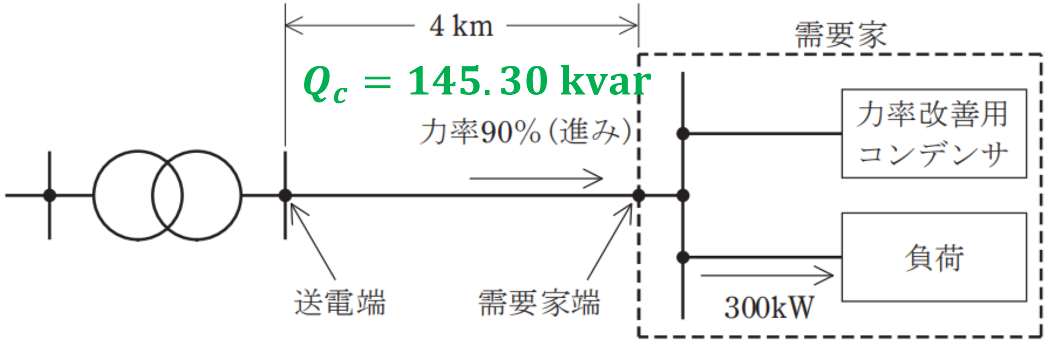


図 1

ご聴講ありがとうございました!!