

平成 30 年度

第 2 種

電力・管理

(第 1 時限目)

答案用紙記入上の重要事項及び注意事項

指示がありましたら答案用紙（記述用紙）4枚を引き抜いてください。答案用紙には、4枚とも直ちに試験地、受験番号及び生年月日を記入してください。

1. 重要事項

- a. 「選択した問の番号」欄には、必ず選択した問番号を記入してください。
記入した問番号で採点されます。問番号が未記入のものは、採点されません。
- b. 計算問題では、解に至る過程を簡潔に記入してください。
導出過程が不明瞭な答案は、0点となる場合があります。

2. 注意事項

- 記入には、濃度HBの鉛筆又はシャープペンシルを使用してください。
- 答案用紙は1問につき1枚としてください。
- 計算問題の答は、特に指定がない限り、有効数字は3桁です。なお、解答以外の数値の桁数は、誤差が出ないように多く取ってください。

例：線電流 I は

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}V \cos \theta} = \frac{10 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 200 \times 0.9} = 32.075 \text{ A} \quad (\text{答}) 32.1 \text{ A}$$

1線当たりの損失 P_L は

$$P_L = I^2 R = 32.075^2 \times 0.2 = 205.76 \text{ W} \quad (\text{答}) 206 \text{ W}$$

- 記述問題については、問題の要求を逸脱しないでください。
例：「問題文に3つ答えよ。」という要求で、4つ以上答えてはいけません。
- 氏名は記載しないでください。（答案用紙に氏名記載欄はありません。）

答案用紙は、白紙解答であっても4枚すべて提出してください。
なお、この問題冊子についてはお持ち帰りください。

第 2 種

電力・管理

問 1～問 6 の中から任意の 4 問を解答すること。(配点は 1 問題当たり 30 点)

問 1 河川の流域面積が 200 km^2 ，年間降水量が 1500 mm ，流出係数 0.7 の河川がある。この河川に最大使用水量が年間平均流量の 2 倍の自流式発電所を設置するとき，次の問に答えよ。

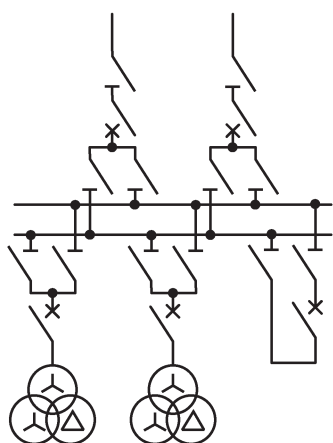
ただし，取水口標高 420 m ，水車中心標高 185 m ，放水口標高 200 m ，損失落差を総落差の 5% ，水車効率 90% ，発電機効率 98% ，1 年は 365 日とする。

- (1) この河川の年間平均流量 [m^3/s] を求めよ。
- (2) 発電所の最大出力 [kW] を求めよ。

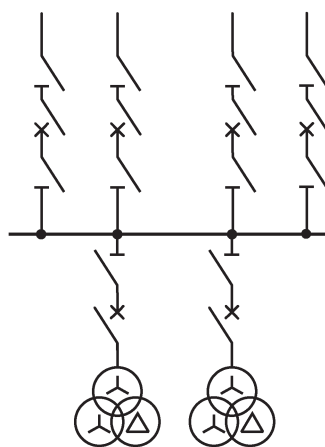
問2 変電所母線などの結線方式には、単母線方式、複母線方式(二重母線方式)、ユニット方式などがあるが、結線方式の選定の一般的な考え方と特徴について、次の問に答えよ。

- (1) 変電所の結線方式を決定する際に考慮すべきことを三つ述べよ。
- (2) 単母線方式、複母線方式、ユニット方式について、該当する単線結線図の記号を下図からそれぞれ一つ選べ。
- (3) 単母線方式、複母線方式について、それぞれの長所・短所を述べよ。

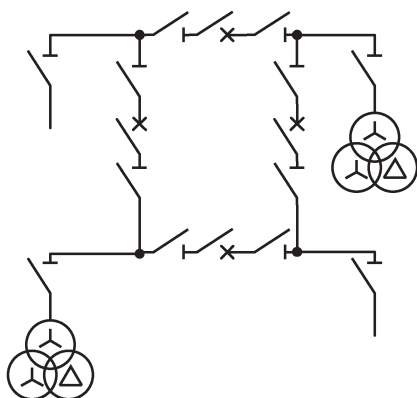
(イ)



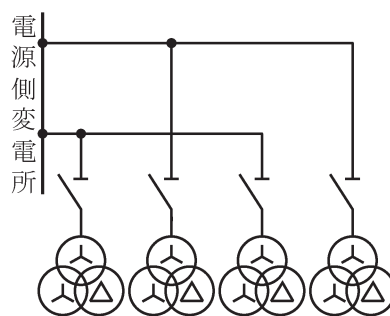
(ロ)



(ハ)

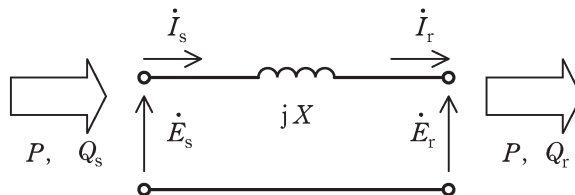


(ニ)



問3 電力円線図と無効電力損失に関して、次の間に答えよ。ただし、計算には全て単位法を用いること。

- (1) 短距離の高圧送電線は、対地容量と線路抵抗を無視すると図のような等価回路で表現できる。送受電端の電圧の大きさがともに 1.0 p.u. に保たれるとして、送電電力 P 、送電端無効電力 Q_s 、受電端無効電力 Q_r はそれぞれどのように表されるか。送受電端電圧間の位相差 δ (受電端を基準とする) と送電線リアクタンス X を用いて表せ。ただし、無効電力は遅れを正とする。
- (2) 上記の場合に、送電端複素電力 $\dot{S}_s = P + jQ_s$ 及び受電端複素電力 $\dot{S}_r = P + jQ_r$ が複素平面上で円を描くことを示せ。
- (3) 上で求めた二円はそれぞれ送電円、受電円と呼ばれており、一般に複素平面上に表された複素送電電力の線図を電力円線図と呼ぶ。送電線の亘長が2倍になり、 X が2倍になっても引き続き同一の有効電力を送電する場合、 δ が大きく開くことを送電円を用いて説明せよ。
- (4) (3)に記したように X を2倍にした送電線でも同一の有効電力を送電するとき、無効電力損失が X を2倍にする前と比べてどうなるかを送電円、受電円を用いて説明せよ。
- (5) 周波数 50 Hz 、作用インダクタンス 1.3 mH/km をもつ 10 km 一回線の送電線で 300 MW を送電する場合について送電円、受電円を描き、 $\sin\delta$ と無効電力損失 $Q_s - Q_r$ を算出せよ。単位法は基準電圧 66 kV 、基準容量 $1000 \text{ MV}\cdot\text{A}$ とし、 $\pi = 3.1416$ とする。



問4 地中配電系統の特徴について、次の問に答えよ。

- (1) 架空配電系統と比較したとき、地中配電系統のメリットとデメリットをそれぞれ二つずつ述べよ。
- (2) 地中配電系統の供給方式のうち本線予備線方式(常用予備切換方式ともいう)とスポットネットワーク方式について、常時供給している配電線路内に事故が生じた際の需要設備側の応動(操作又は自動切り換え、保護装置)を含め、それぞれ概要を述べよ。

問5 図は系統電源に接続された自家用電気設備の単線結線図である。変圧器の2次側母線には高調波を発生する負荷設備と力率改善用の直列リアクトル付進相コンデンサ設備が設置されている。 X_T, X_L, X_C は、それぞれ変圧器、直列リアクトル、進相コンデンサの基本波におけるリアクタンスの大きさ(Ω 値)である。また、電流 I_H, I_S, I_C は、それぞれ高調波発生負荷からの高調波電流、系統電源側に流出する高調波電流、進相コンデンサ設備に流入する高調波電流とする。このとき、次の問に答えよ。ただし、系統電源側のインピーダンス及び変圧器の抵抗分は無視するものとする。

(1) n 次高調波電流源を電源とする高調波等価回路を描くとともに、 I_{Hn}, I_{Sn}, I_{Cn} それぞれに対し、電流の方向を矢印で示せ。ただし、 n 次高調波電流源の電流を I_{Hn} 、系統電源側に流出する n 次高調波電流を I_{Sn} 、進相コンデンサ設備に流入する n 次高調波電流を I_{Cn} とする。

(2) (1)の n 次高調波等価回路において、 n 次高調波電流源の電流 I_{Hn} と各部のリアクタンスの大きさを用いて、進相コンデンサ設備に流入する n 次高調波電流 I_{Cn} を表す式を示せ。

(3) I_{Cn} を表す式において、回路で共振を起こす条件式を示せ。

(4) I_{Cn} を表す式において、進相コンデンサ設備に流入する n 次高調波電流が、高調波発生源の電流よりも大きくならないようにするための条件式を示せ。

$n=5$ (第5高調波)の場合、直列リアクトルのリアクタンスの大きさは進相コンデンサのリアクタンスの大きさの何[%]以上であることが必要か示せ。

(5) 6%直列リアクトル付進相コンデンサ設備の場合、高調波発生源に第3高調波が多く含まれていた場合、進相コンデンサの容量によっては共振状態となり、第3高調波電流が異常に増大する場合がある。このとき、進相コンデンサのリアクタンスの大きさ $X_C[\Omega]$ と変圧器のリアクタンスの大きさ $X_T[\Omega]$ の関係式を示せ。また、進相コンデンサ容量は変圧器容量の何[%]か示せ。変圧器の容量を $P_T[\text{kV}\cdot\text{A}]$ 、変圧器のパーセントリアクタンス $\%X_T$ を7.5%(自己容量基準)、進相コンデンサ容量を $Q_C[\text{kvar}]$ として計算せよ。

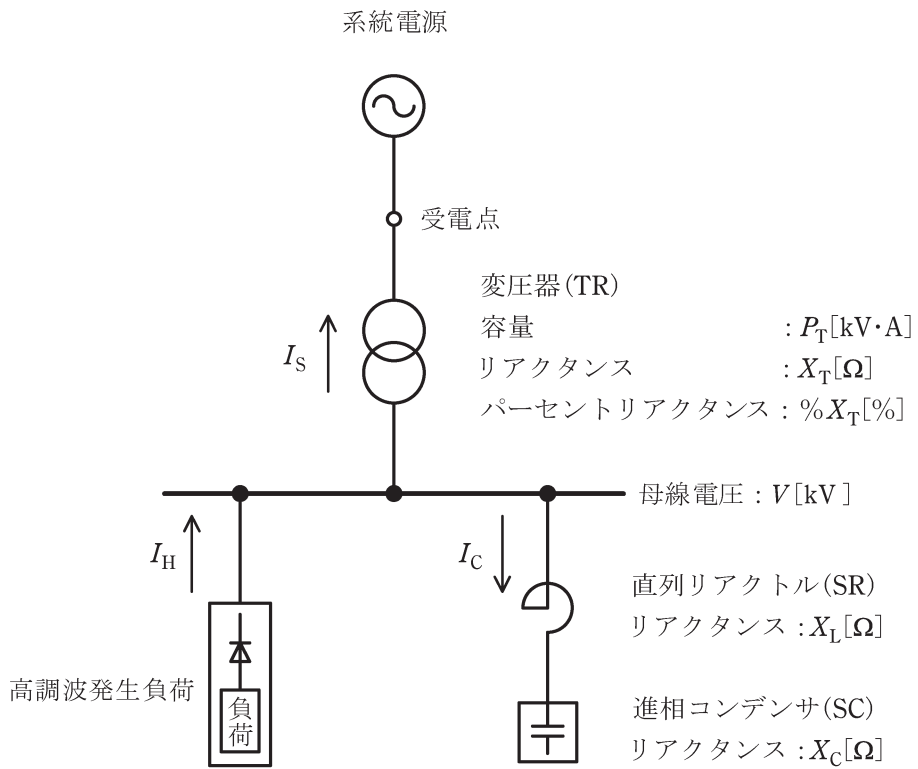


図 自家用電気設備と高調波電流

問6 次の問は、送配電系統の中性点接地方式に関するものである。

- (1) 中性点接地方式には、①非接地方式、②直接接地方式、③抵抗接地方式、④消弧リアクトル接地方式などがある。

我が国の以下の電圧の送配電系統に対し、上記のうち、どの中性点接地方式が広く用いられているか答えよ。

a 高圧配電系統

b 154 kV の送電系統

- (2) 消弧リアクトル接地方式の仕組みと目的についてそれぞれ述べよ。
(3) 抵抗接地方式について、直接接地方式と比較した場合の長所、短所をそれぞれ一つずつ述べよ。

平成 30 年度第二種電気主任技術者二次試験 標準解答

配点：一題当たり 30 点

電力・管理科目 4 題×30 点＝120 点

機械・制御科目 2 題×30 点＝ 60 点

<電力・管理科目>

[問 1 の標準解答]

(1) 河川への年間総流入量 V は「流域面積×年間降水量×流出係数」であることから $V = 200 \times 10^6 \times 1500 \times 10^{-3} \times 0.7 = 210 \times 10^6$ であるので、河川の年間平均流量 Q_a [m^3/s] は、以下により求められる。

$$Q_a = \frac{200 \times 10^6 \times 1.5 \times 0.7}{365 \times 24 \times 60 \times 60} = 6.6591 \rightarrow 6.66 \text{ m}^3/\text{s} \quad \cdots (\text{答})$$

(2)

発電機出力 P_m [kW] = $9.8 \times Q(\text{使用水量}) \times H(\text{有効落差}) \times \eta_w(\text{水車効率}) \times \eta_g(\text{発電機効率})$
で求められ、題意より最大使用水量は $Q_m = Q_a \times 2$ であることから、

$$\begin{aligned} P &= 9.8 Q_m H \eta_w \eta_g \\ &= 9.8 \times 6.6591 \times 2 \times (420 - 200) \times (1 - 0.05) \times 0.9 \times 0.98 \\ &= 24059 \rightarrow 24100 \text{ kW} \quad \cdots (\text{答}) \end{aligned}$$

[問 2 の標準解答]

(1)

- ・送電線事故時，母線事故時の系統への影響・供給信頼性
- ・変化する電源，送電線工事に対応する適応性
- ・送電線や変圧器の増設工事における安全性
- ・点検等による停止の難易など系統運用操作の容易性
- ・設置スペースなども含めた経済性

(2)

- ・単母線方式：(甲)
- ・複母線方式：(イ)
- ・ユニット方式：(ニ)

(3)

単母線方式

所要機器及びスペースが少なくすみ、経済的に有利となる一方で、母線事故があった場合に当該母線が停止となり、また、母線側断路器等の点検のために、全停電となる場合があるなど、供給信頼性は低い。

複母線方式

母線切換のための断路器、鉄構等の設備が増え、所要面積が増加する一方で、機器点検や系統運用が容易となり、母線事故が発生しても、接続されている送電線や変圧器を他の母線に直ちに変更することができるなど、供給信頼性が高い。

[問3の標準解答]

(1) 図より、送電線を通る電流 $\dot{I}_s = \dot{I}_r = \dot{I}$ は受電端電圧を位相の基準にとると、

$$\dot{I} = \frac{\dot{E}_s - \dot{E}_r}{jX} = \frac{e^{j\delta} - 1}{jX} = \frac{\sin \delta}{X} + j \frac{1 - \cos \delta}{X}$$

と表され、送電端複素電力 \dot{S}_s 、受電端複素電力 \dot{S}_r は、

$$\dot{S}_s = P_s + jQ_s = \dot{E}_s \dot{I}^* = e^{j\delta} \left(\frac{\sin \delta}{X} - j \frac{1 - \cos \delta}{X} \right) = \frac{\sin \delta}{X} + j \frac{1 - \cos \delta}{X}$$

$$\dot{S}_r = P_r + jQ_r = \dot{E}_r \dot{I}^* = \frac{\sin \delta}{X} - j \frac{1 - \cos \delta}{X}$$

であるから、次のようになる。

$$P = P_s = P_r = \frac{\sin \delta}{X}, \quad Q_s = \frac{1 - \cos \delta}{X}, \quad Q_r = \frac{\cos \delta - 1}{X} \quad \dots \quad (\text{答})$$

(2) 小問(1)で得られた式より以下が成立する。

$$XP = \sin \delta, \quad 1 - XQ_s = \cos \delta, \quad 1 + XQ_r = \cos \delta$$

三角関数について成り立つ恒等式より,

$$(XP)^2 + (1 - XQ_s)^2 = \sin^2 \delta + \cos^2 \delta = 1$$

$$(XP)^2 + (1 + XQ_r)^2 = \sin^2 \delta + \cos^2 \delta = 1$$

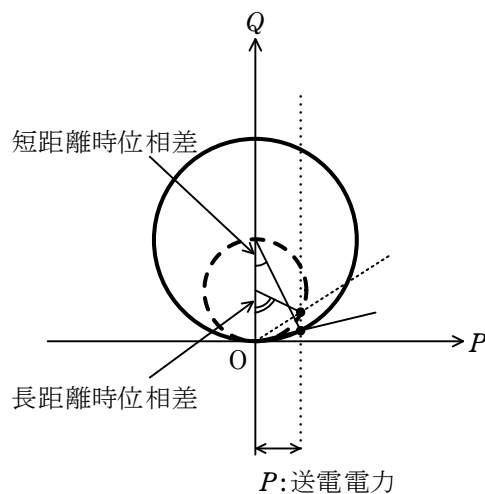
よって,

$$P^2 + \left(Q_s - \frac{1}{X}\right)^2 = \frac{1}{X^2}, \quad P^2 + \left(Q_r + \frac{1}{X}\right)^2 = \frac{1}{X^2}$$

が成り立つ。これらはともに半径 $\frac{1}{X}$ の円を表している。なお、それらの中心は

前者では $\left(0, \frac{1}{X}\right)$, 後者では $\left(0, -\frac{1}{X}\right)$ である。

(3) X が 2 倍になったときの送電円を, X が元の値のときの送電円とともに描くと次のようになる。円の中心の Y 座標は $\frac{1}{X}$ で, 前者が点線, 後者が実線の円に対応している。両者同一の送電電力 P を送電するので, これら円と垂直線 $P = \text{一定}$ との交点が動作点に対応するが, このうちの上側の交点は位相差 δ が 90 度を超える不安定な平衡点なので採用せず, 下側 (Q の小さい側) の交点が実際の動作点である。 X が 2 倍の小さな円において δ が大きく開いていることは図より明らかである。



(4) 小問(3)で述べたように二つの交点のうち P 軸(水平軸)に近いほうが動作点になる。よって, 送電円の動作点と受電円の動作点の間の Q 軸に平行な距離は, X が大きい場合に極めて大きくなる。すなわち X が 2 倍のとき無効電力損失は元比べて大きくなる。

(5) X の値は SI 単位系で, $X = 2\pi \times 50 \times 13 \times 10^{-3} = 4.084\ 08\ \Omega$ であり, インピーダンスの基準値は,

$$Z_{\text{base}} = \frac{66^2}{1\ 000} = 4.356\ \Omega$$

であるから, 単位法では,

$$X = \frac{4.084\ 08}{4.356} = 0.937\ 576\ \text{p.u.}$$

これを用いて送電円の中心の Y 座標を計算すると、

$$\frac{1}{X} = \frac{1}{0.937\ 576} = 1.066\ 580$$

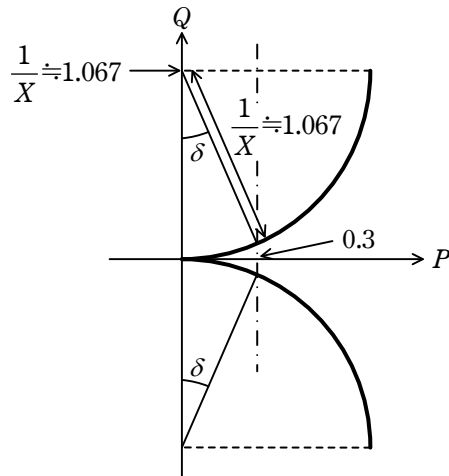
であるので、送電円は半径 1.067 を持ち水平軸に接する円である。送電電力は単位法で 0.3 p.u. であるから垂直軸から右に 0.3 の位置に垂直一点鎖線を引いて表すことができ、送電円を水平軸対称に折り返した受電円とともに示すと下のとおり。動作点は円と直線の交点で水平軸に近い方であるから $\sin\delta$ (δ は電圧位相差) は、

$$\frac{0.3}{1.066\ 580} = 0.281\ 273 \rightarrow 0.281 \dots \quad (\text{答})$$

また、送電端無効電力は、

$$1.066\ 580 - \sqrt{1.066\ 580^2 - 0.3^2} = 0.043\ 060 \text{ p.u.}$$

なので、無効電力損失は、その 2 倍で 0.086 1 p.u. である。… (答)



[問4の標準解答]

(1)

(メリット) 都市の美観が向上する。

同一ルートにケーブルを多数条施設可能なため、都市部など高需要密度地域への供給が可能となる。

暴風雨、雷、火災などの災害に対して信頼性が向上する。

設備の安全性が向上する。 など

(デメリット) 建設費が高額

新設や増設など需要変動への即応が困難

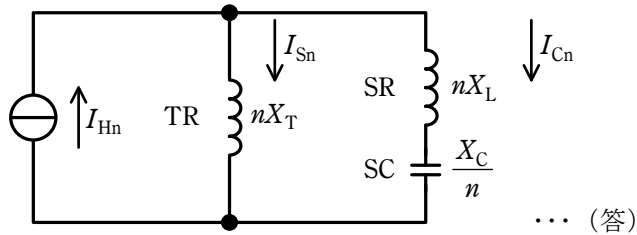
事故復旧・改修に時間がかかる。 など

(2) 本線予備線方式は、2回線の異なる配電線に接続し、停電時に常用予備切換をする方式である。通常あらかじめ定められた常用線から受電しているが、配電系統が事故停止した場合、需要家構内事故でないこと、及び予備線に電圧があることを条件に、受電用遮断器又は断路器を手動又は自動で切り換える。そのとき一定時間の停電を伴う欠点があるが、スポットネットワーク方式より簡単な設備構造となる。

スポットネットワーク方式は、一般的に20kV級電源変電所から3回線の配電線から受電する方式であり、都市部の高層ビルや大工場等の大容量で高信頼度が求められる地域に適用される。このスポットネットワーク方式は受電用遮断器を省略し、変圧器の二次側にネットワークプロテクタを設置し、各種事故に対して事故区間を適確に切り離し、負荷には無停電で供給を行うことができる。したがって保護装置が複雑で建設費が高くなる一方、一次側配電線又は変圧器が事故停止しても、設備容量を常時供給する容量の1.5倍で設計しておけば残った設備により無停電で供給できるので、供給信頼性が高い。

[問5の標準解答]

(1)



高調波発生源を電源とする n 次高調波等価回路

(2) n 次高調波等価回路より,

$$I_{Cn} = \frac{nX_T}{nX_T + \left(nX_L - \frac{X_C}{n}\right)} \times I_{Hn} \quad \dots \text{(答)}$$

(3) I_{Cn} の式において、共振を起こし電流が異常に増大するおそれがあるのは、分母 = 0 のときである。

$$\text{共振を起こす条件式は、} nX_T + \left(nX_L - \frac{X_C}{n}\right) = 0 \quad \dots \text{(答)}$$

(4) I_{Cn} の式において、進相コンデンサ設備に流入する高調波電流が、高調波発生源の電流よりも大きくならないためには、次式が成立することである。

$$\text{条件式は、} nX_L - \frac{X_C}{n} \geq 0 \quad \dots \text{(答)}$$

$$n=5 \text{ のとき、} X_L \geq \frac{X_C}{n^2} = \frac{X_C}{25} = 0.04X_C \rightarrow 4.00\% \text{ 以上} \quad \dots \text{(答)}$$

(5) 6%直列リアクトル付のとき、 $X_L = 0.06X_C$

高調波発生源からの第3高調波電流を I_{H3} とすると、進相コンデンサ設備に流入する第3高調波電流 I_{C3} は、

$$I_{C3} = \frac{3X_T}{3X_T + \left(3 \times 0.06X_C - \frac{X_C}{3}\right)} \times I_{H3}$$

$$= \frac{3X_T}{3X_T - \frac{0.46}{3}X_C} \times I_{H3}$$

共振状態となるのは、 $3X_T - \frac{0.46}{3}X_C = 0$ すなわち、 $X_C = \frac{9}{0.46}X_T$ のときである。… (答)

ここで、母線の電圧を V [kV]、進相コンデンサ設備に流入する電流を I_C [A] とおくと、進相コンデンサの容量 Q_C [kvar] とリアクタンス X_C [Ω] は、次の関係式が成立する。

$$I_C = \frac{V}{\sqrt{3}} \times \frac{10^3}{X_C} \text{ [A]}$$

$$Q_C = \sqrt{3} \times V \times I_C = \sqrt{3} \times V \times \frac{V}{\sqrt{3}} \times \frac{10^3}{X_C} = \frac{V^2 \times 10^3}{X_C}$$

また、変圧器に流れる電流を I_S [A] とおくと、変圧器の容量 P_T [kV·A]、リアクタンス X_T [Ω]、パーセントリアクタンス $\%X_T$ [%] は、次の関係式が成立する。

$$I_S = \frac{P_T}{\sqrt{3} \times V} \text{ [A]}$$

$$\%X_T = \frac{\sqrt{3} \times I_S \times X_T \times 10^{-3}}{V} \times 100 = \frac{\sqrt{3} \times \frac{P_T}{\sqrt{3} \times V} \times X_T \times 10^{-3}}{V} \times 100 = \frac{P_T \times X_T}{10 \times V^2}$$

よって、

$$X_T = \frac{10 \times V^2 \times \%X_T}{P_T}$$

したがって、

$$Q_C = \frac{V^2 \times 10^3}{\frac{9}{0.46} \times \frac{10 \times V^2 \times 7.5}{P_T}} = \frac{0.46 \times 10^2 \times P_T}{9 \times 7.5} = 0.68148P_T \rightarrow 68.1\% \dots \text{ (答)}$$

(別解) JIS C 4902-1:2010 高圧及び特別高圧進相コンデンサ設備及び付属機器
第 1 部:コンデンサの規程に則り, 進相コンデンサの電圧を $\frac{V}{1-\frac{6}{100}} = \frac{V}{0.94}$ に置き換えて計算すると,

$$Q_c = 0.771\ 25P_T \rightarrow 77.1\ \% \cdots (\text{答})$$

[問 6 の標準解答]

(1) a 非接地方式, b 抵抗接地方式

(2)

(仕組み)

1 線地絡時に故障点から大地を通して, 対地静電容量に流れ込む電流を打ち消すようなインダクタンスをもつ消弧リアクトルを中性点に設置し並列共振回路とすることで, 地絡故障時のアークを消弧する。

(目的)

線路を遮断せず, そのまま電力の供給を続けること。

(3) 下記のうち, 長所, 短所それぞれいずれか 1 項目記載してあればよい。

(長所)

- ① 抵抗接地方式は直接接地方式に比べ, 地絡故障時の電流が小さいため, 通信線に対する電磁誘導障害が少ない。
- ② 抵抗接地方式は直接接地方式に比べ, 地絡故障時の電流が小さいため, 機器や故障点に与える機械的ショックが小さい。
- ③ 抵抗接地方式は直接接地方式に比べ, 地絡故障時の過渡安定度が大きい。

(短所)

- ① 抵抗接地方式は直接接地方式に比べ, 地絡時の健全相の電圧上昇が大きく機器の絶縁レベルを高くとる必要がある。
- ② 抵抗接地方式は直接接地方式に比べ, 接地機器の価格が高い。
- ③ 抵抗接地方式は地絡事故時の地絡電流を抑制するので, 地絡リレーの事故検出機能は直接接地方式に比べ低い。