

電験どうでしょう管理人
KWG presents

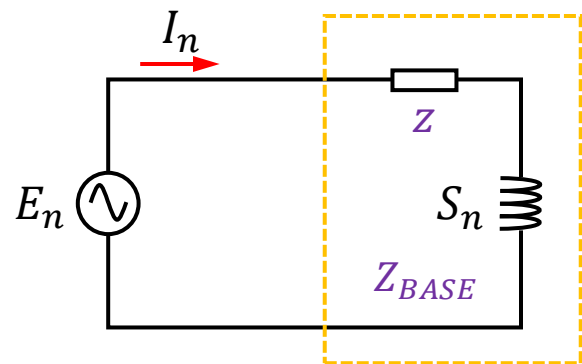
電験オンライン塾

第8回 三相短絡

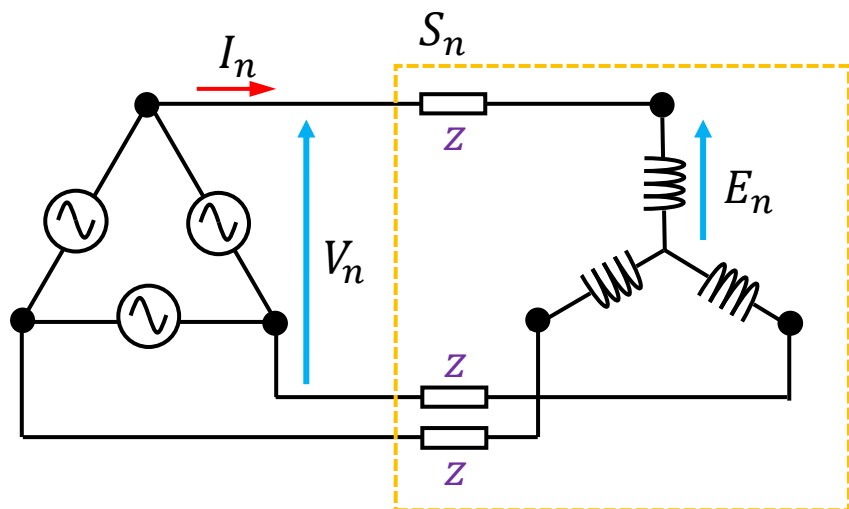
2022.03.12 Sat

パーセントインピーダンス法

変圧器の電力容量、端子電圧から得られる**基準インピーダンス**により、**内部インピーダンスの影響**の程度を表す指標



変圧器



変圧器
(Y結線と考える)

単相交流
の場合

基準インピーダンス

$$Z_{BASE} = \frac{(\text{定格電圧})^2}{(\text{定格電力})} = \frac{E_n^2}{S_n} = \frac{(\text{定格電圧})}{(\text{定格電流})} = \frac{E_n}{I_n}$$

パーセントインピーダンス

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

三相交流
の場合

基準インピーダンス

$$Z_{BASE} = \frac{\text{定格電圧 (相電圧)}}{\text{定格電流}} = \frac{E_n}{I_n} = \frac{V_n}{\sqrt{3}I_n} = \frac{V_n \times V_n}{\sqrt{3}I_n \times V_n} = \frac{V_n^2}{S_n}$$

パーセントインピーダンス

$$\%Z = \frac{z}{Z_{BASE}} \times 100 [\%] = z \times \frac{S_n}{V_n^2} \times 100 = z \times \frac{\sqrt{3}I_n}{V_n} \times 100$$

パーセントインピーダンスの換算

$$\therefore \%Z' = \frac{S'_n}{S_n} \times \%Z$$

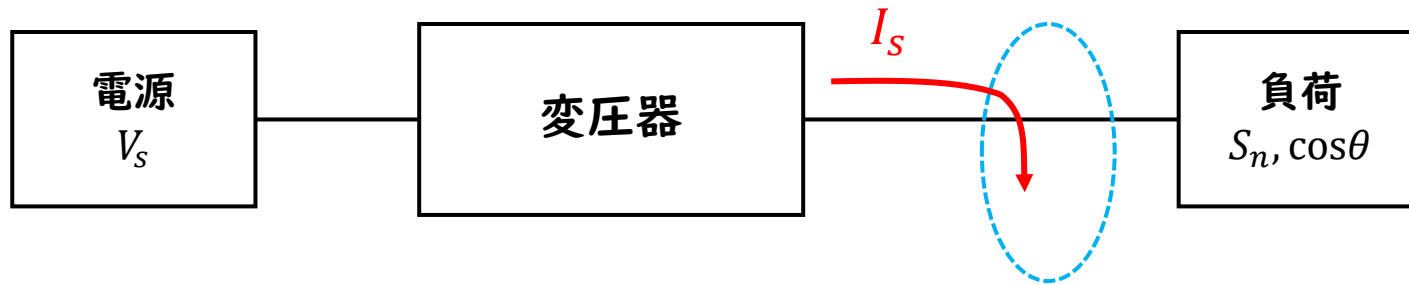
三相短絡

定格運転時



送電線で三相短絡すると、負荷に電流が流れず、**短絡電流が流れる**

三相短絡時



この短絡電流の大きさは

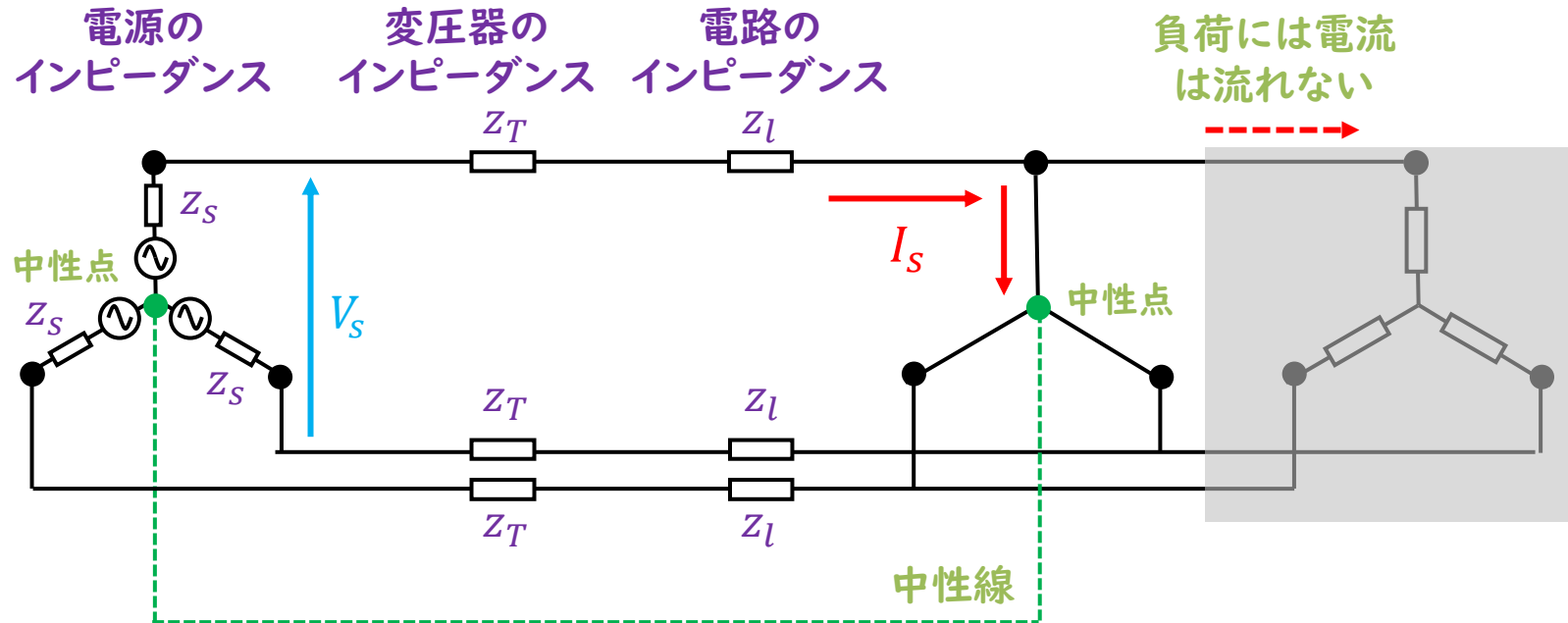
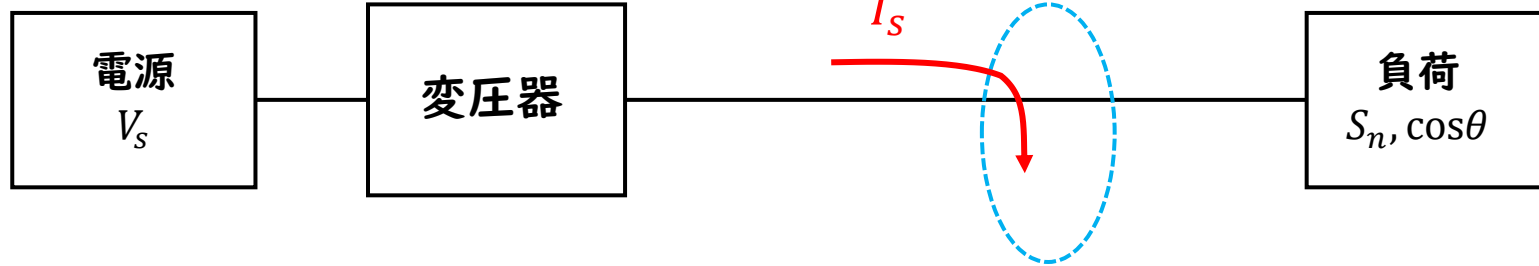
- 電源電圧
- 電源、変圧器、送電線のインピーダンス

で決まる
(定格電流よりはるかに大きい)

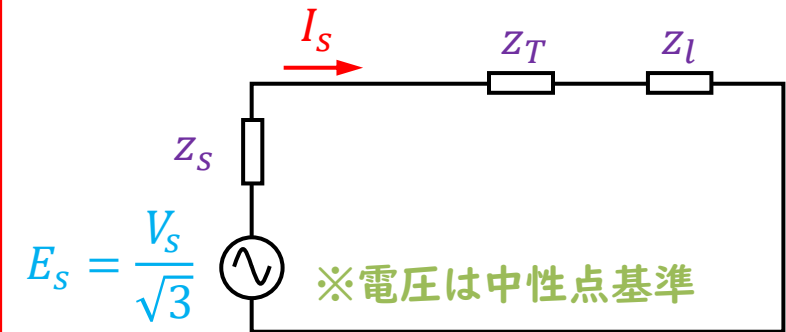
三相短絡

三相短絡時

負荷に流れず相間で
短絡電流が流れる



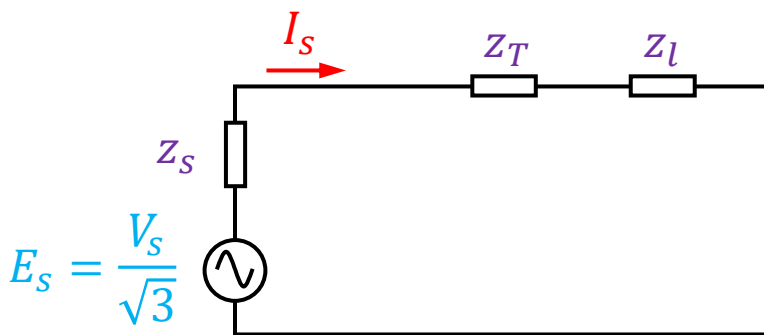
短絡電流の経路だけ抽出



$$I_s = \frac{E_s}{Z_s + Z_T + Z_l}$$

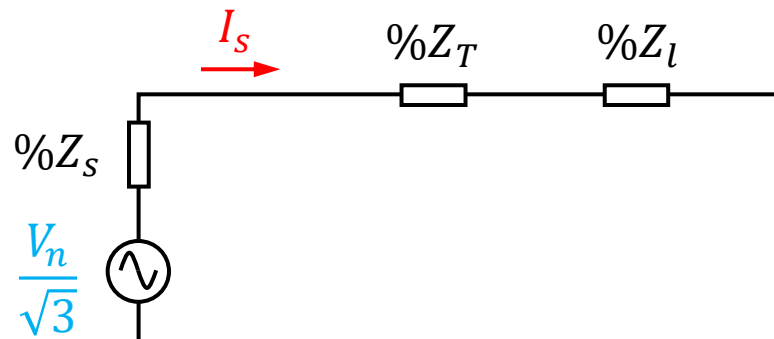
三相短絡

短絡電流の経路だけ抽出



$$I_s = \frac{E_s}{z_s + z_T + z_l}$$

パーセントインピーダンスを用いて短絡電流を表す



基準電圧と基準容量を定めて、
各素子のインピーダンスを%Zで表す

$$\%Z = \%Z_s + \%Z_T + \%Z_l$$

$$\frac{I_n}{I_s} = \frac{E_n/z}{E_n/Z_{BASE}} = \frac{\%Z}{100} \rightarrow I_s = \frac{100}{\%Z} \times I_n = \frac{100}{\%Z} \times \frac{S_n}{\sqrt{3}V_n}$$

$$\therefore I_s = \frac{100}{\%Z} \times I_n = \frac{100}{\%Z} \times \frac{S_n}{\sqrt{3}V_n}$$

電力 R02 問8

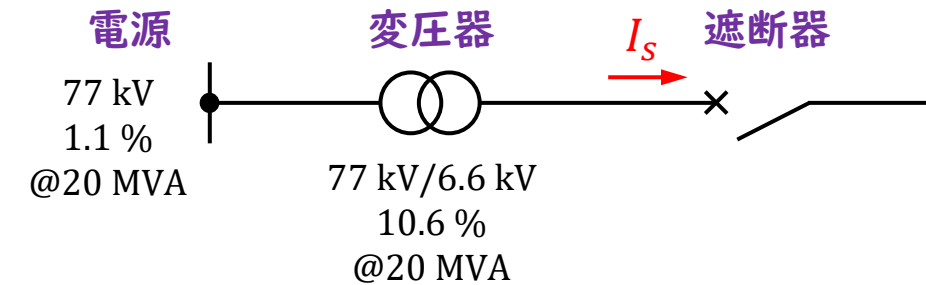


問8 定格容量 $20 \text{ MV}\cdot\text{A}$ 、一次側定格電圧 77 kV 、二次側定格電圧 6.6 kV 、百分率インピーダンス 10.6% (基準容量 $20 \text{ MV}\cdot\text{A}$) の三相変圧器がある。三相変圧器の一次側は 77 kV の電源に接続され、二次側は負荷のみが接続されている。三相変圧器の一次側から見た電源の百分率インピーダンスは、 1.1% (基準容量 $20 \text{ MV}\cdot\text{A}$) である。抵抗分及びその他の定数は無視する。三相変圧器の二次側に設置する遮断器の定格遮断電流の値 $[\text{kA}]$ として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 1.5 (2) 2.6 (3) 6.0 (4) 20.0 (5) 260.0

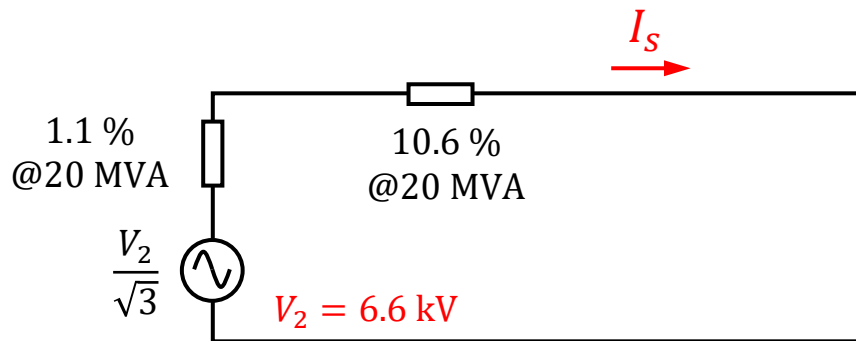
導出のポイント

問8 定格容量 20 MV・A、一次側定格電圧 77 kV、二次側定格電圧 6.6 kV、百分率インピーダンス 10.6 % (基準容量 20 MV・A) の三相変圧器がある。三相変圧器の一次側は 77 kV の電源に接続され、二次側は負荷のみが接続されている。三相変圧器の一次側から見た電源の百分率インピーダンスは、1.1 % (基準容量 20 MV・A) である。抵抗分及びその他の定数は無視する。三相変圧器の二次側に設置する遮断器の定格遮断電流の値 [kA] として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。



$$\frac{I_n}{I_s} = \frac{E_n/z}{E_n/Z_{BASE}} = \frac{\%Z}{100} \rightarrow I_s = \frac{100}{\%Z} \times I_n = \frac{100}{\%Z} \times \frac{S_n}{\sqrt{3}V_n}$$

$$I_s = \frac{100}{\%Z} \times \frac{S_n}{\sqrt{3}V_2} = \frac{100}{1.1 + 10.6} \times \frac{20 \text{ M}}{\sqrt{3} \times 6.6 \text{ k}} = 14.95 \text{ kA}$$



定格遮断電流：
短絡電流を遮断できるように、**短絡電流よりも大きくする**

→14.95 kAよりも大きくする

電力 R02 問8



問8 定格容量 $20 \text{ MV}\cdot\text{A}$ 、一次側定格電圧 77 kV 、二次側定格電圧 6.6 kV 、百分率インピーダンス 10.6% (基準容量 $20 \text{ MV}\cdot\text{A}$) の三相変圧器がある。三相変圧器の一次側は 77 kV の電源に接続され、二次側は負荷のみが接続されている。三相変圧器の一次側から見た電源の百分率インピーダンスは、 1.1% (基準容量 $20 \text{ MV}\cdot\text{A}$) である。抵抗分及びその他の定数は無視する。三相変圧器の二次側に設置する遮断器の定格遮断電流の値 $[\text{kA}]$ として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 1.5 (2) 2.6 (3) 6.0 (4) 20.0 (5) 260.0

電力 R01 問8

問8 図1のように、定格電圧66kVの電源から三相変圧器を介して二次側に遮断器が接続された三相平衡系統がある。三相変圧器は定格容量7.5MV・A、変圧比66kV/6.6kV、百分率インピーダンスが自己容量基準で9.5%である。また、三相変圧器一次側から電源側をみた百分率インピーダンスは基準容量10MV・Aで1.9%である。過電流継電器(OCR)は変流比1000A/5Aの計器用変流器(CT)の二次側に接続されており、整定タップ電流値5A、タイムレバー位置1に整定されている。図1のF点で三相短絡事故が発生したとき、過電流継電器の動作時間[s]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、三相変圧器二次側からF点までのインピーダンス及び負荷は無視する。また、過電流継電器の動作時間は図2の限時特性に従い、計器用変流器の磁気飽和は考慮しないものとする。

- (1) 0.29 (2) 0.34 (3) 0.38 (4) 0.46 (5) 0.56

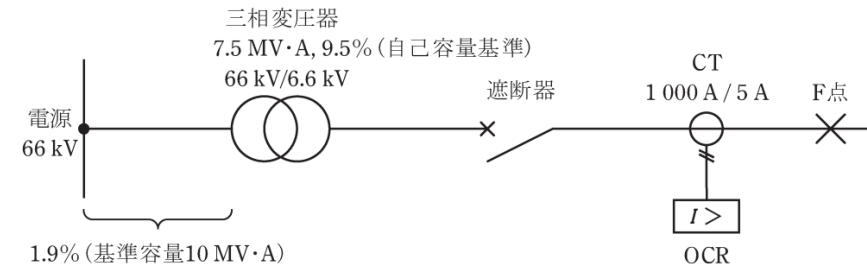


図1 系統図

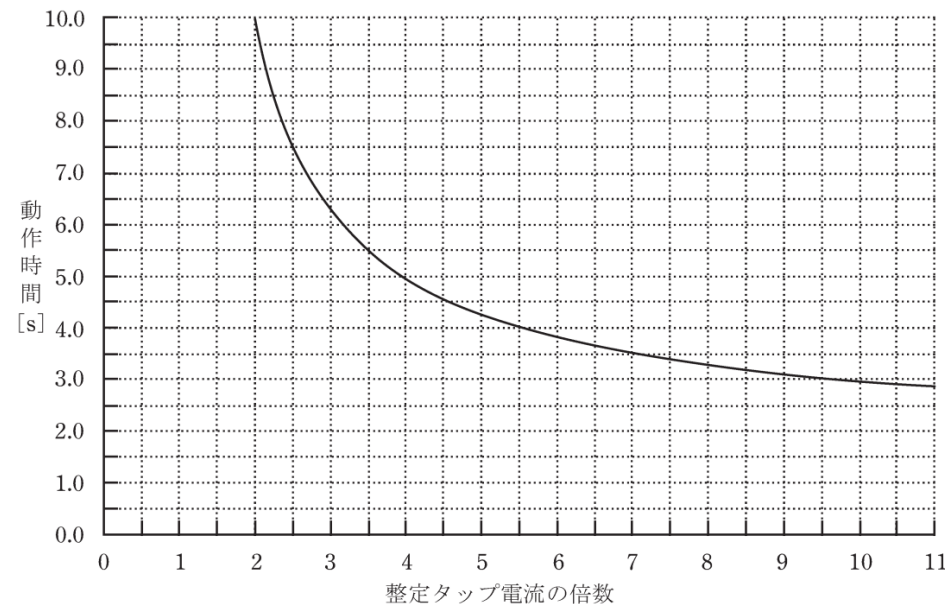


図2 過電流継電器の限時特性(タイムレバー位置10)

導出のポイント

問8 図1のように、定格電圧66kVの電源から三相変圧器を介して二次側に遮断器が接続された三相平衡系統がある。三相変圧器は定格容量7.5MV・A、変圧比66kV/6.6kV、百分率インピーダンスが自己容量基準で9.5%である。また、三相変圧器一次側から電源側をみた百分率インピーダンスは基準容量10MV・Aで1.9%である。過電流継電器(OCR)は変流比1000A/5Aの計器用変流器(CT)の二次側に接続されており、整定タップ電流値5A、タイムレバー位置1に整定されている。図1のF点で三相短絡事故が発生したとき、過電流継電器の動作時間[s]として、最も近いものを次の(1)~(5)のうちから一つ選べ。

ただし、三相変圧器二次側からF点までのインピーダンス及び負荷は無視する。また、過電流継電器の動作時間は図2の限時特性に従い、計器用変流器の磁気飽和は考慮しないものとする。

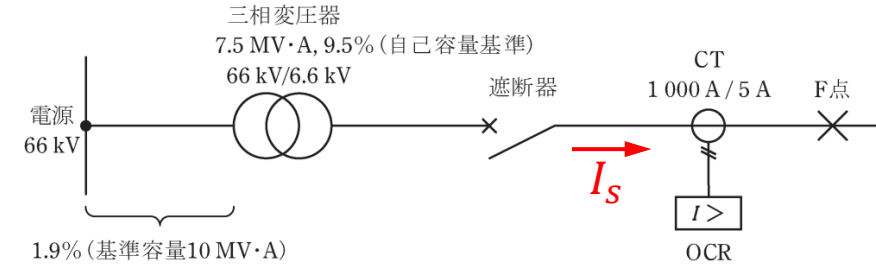
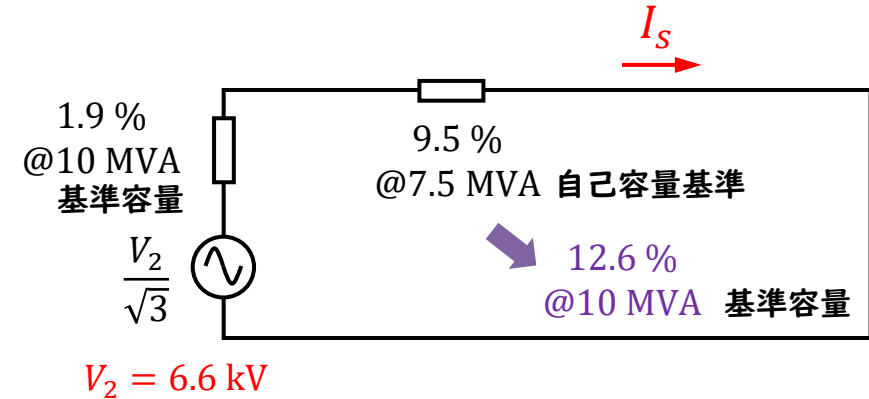


図1 系統図



パーセントインピーダンスの換算 $\%Z' = \frac{S'_n}{S_n} \times \%Z$

$$\%Z' = \frac{S'_n}{S_n} \times \%Z = \frac{10}{7.5} \times 9.5 = 12.7\%$$

$$\frac{I_n}{I_s} = \frac{E_n/z}{E_n/Z_{BASE}} = \frac{\%Z}{100} \rightarrow I_s = \frac{100}{\%Z} \times I_n = \frac{100}{\%Z} \times \frac{S_n}{\sqrt{3}V_n}$$

$$I_s = \frac{100}{\%Z} \times \frac{S_n}{\sqrt{3}V_2} = \frac{100}{1.9 + 12.7} \times \frac{10 \text{ M}}{\sqrt{3} \times 6.6 \text{ k}} = 6 \text{ kA}$$

導出のポイント

問8 図1のように、定格電圧 66 kV の電源から三相変圧器を介して二次側に遮断器が接続された三相平衡系統がある。三相変圧器は定格容量 7.5 MV・A、変圧比 66 kV/6.6 kV、百分率インピーダンスが自己容量基準で 9.5% である。また、三相変圧器一次側から電源側をみた百分率インピーダンスは基準容量 10 MV・A で 1.9% である。過電流継電器 (OCR) は変流比 1 000 A/5 A の計器用変流器 (CT) の二次側に接続されており、整定タップ電流値 5 A、タイムレバー位置 1 に整定されている。図1の F 点で三相短絡事故が発生したとき、過電流継電器の動作時間 [s] として、最も近いものを次の (1) ~ (5) のうちから一つ選べ。

ただし、三相変圧器二次側から F 点までのインピーダンス及び負荷は無視する。また、過電流継電器の動作時間は図2の限時特性に従い、計器用変流器の磁気飽和は考慮しないものとする。

CTの二次側電流

$$I = \frac{5}{1000} \times I_s = \frac{5}{1000} \times 6000 = 30 \text{ A}$$

整定タップ電流5Aより倍数は $30 \text{ A} \div 5 \text{ A} = 6$ 倍

グラフはタイムレバー位置10なので、
タイムレバー位置1は1/10より、0.38 sとなる

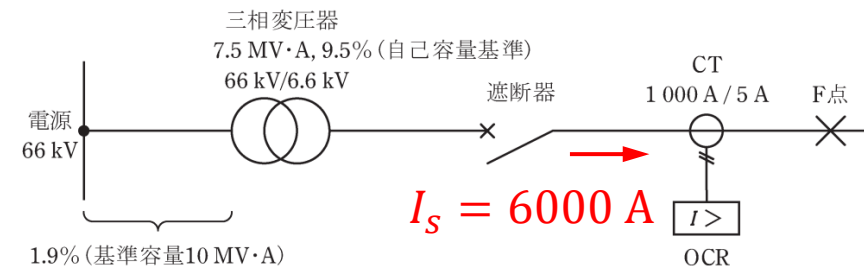


図1 系統図

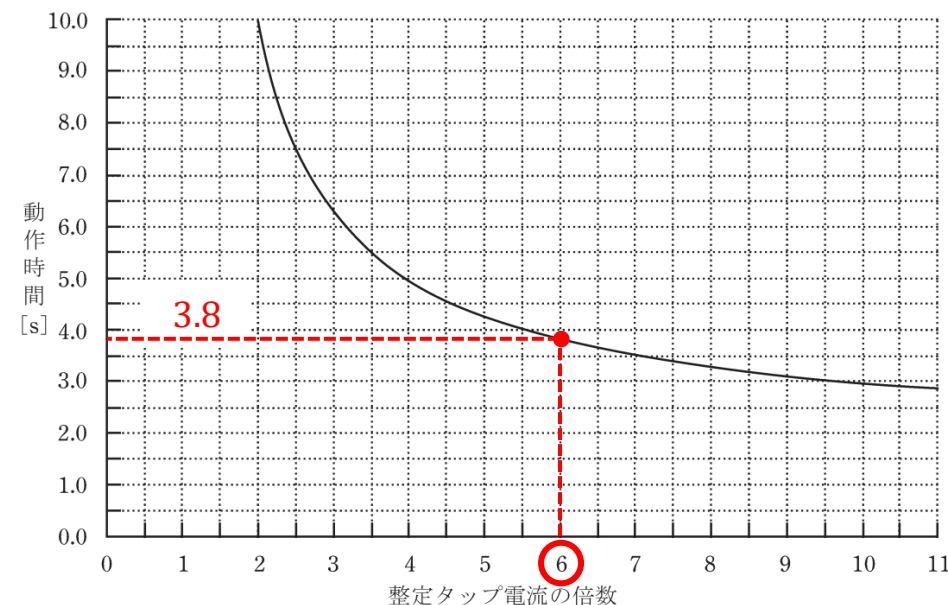


図2 過電流継電器の限時特性(タイムレバー位置10)

電力 R01 問8

問8 図1のように、定格電圧66kVの電源から三相変圧器を介して二次側に遮断器が接続された三相平衡系統がある。三相変圧器は定格容量7.5MV・A、変圧比66kV/6.6kV、百分率インピーダンスが自己容量基準で9.5%である。また、三相変圧器一次側から電源側をみた百分率インピーダンスは基準容量10MV・Aで1.9%である。過電流継電器(OCR)は変流比1000A/5Aの計器用変流器(CT)の二次側に接続されており、整定タップ電流値5A、タイムレバー位置1に整定されている。図1のF点で三相短絡事故が発生したとき、過電流継電器の動作時間[s]として、最も近いものを次の(1)~(5)のうちから一つ選べ。

ただし、三相変圧器二次側からF点までのインピーダンス及び負荷は無視する。また、過電流継電器の動作時間は図2の限時特性に従い、計器用変流器の磁気飽和は考慮しないものとする。

- (1) 0.29 (2) 0.34 (3) 0.38 (4) 0.46 (5) 0.56

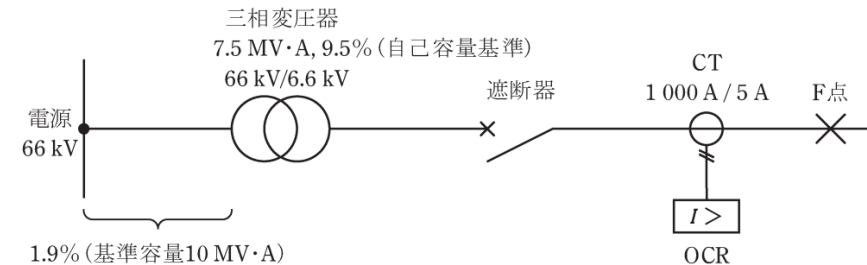


図1 系統図

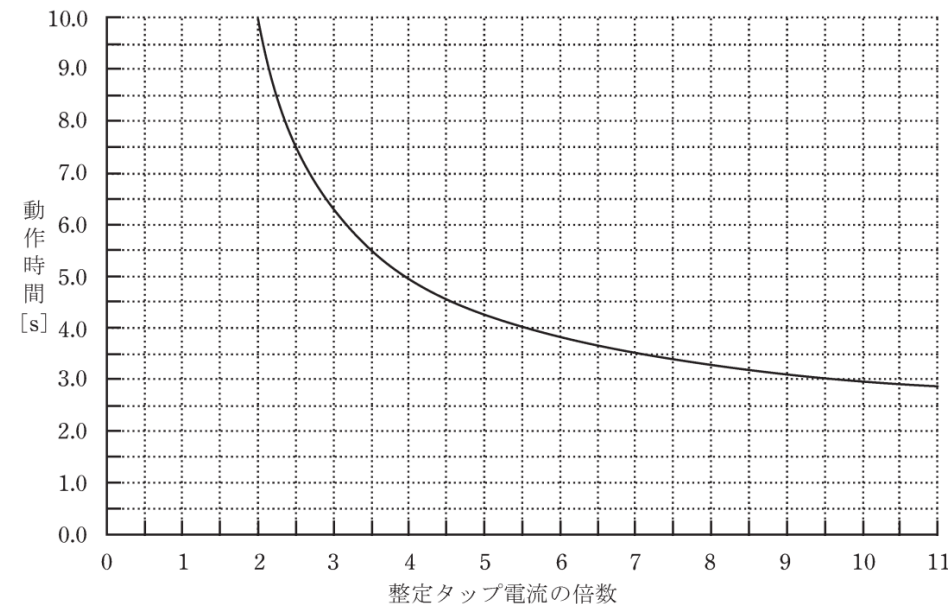
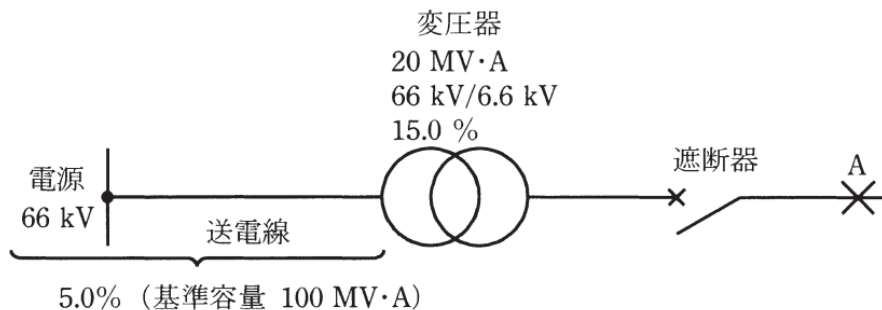


図2 過電流継電器の限時特性(タイムレバー位置10)

電力 H25 問17

問17 図に示すように、定格電圧 66 [kV] の電源から送電線と三相変圧器を介して、二次側に遮断器が接続された系統を考える。三相変圧器の電気的特性は、定格容量 20 [MV・A]、一次側線間電圧 66 [kV]、二次側線間電圧 6.6 [kV]、自己容量基準での百分率リアクタンス 15.0 [%] である。一方、送電線から電源側をみた電気的特性は、基準容量 100 [MV・A] の百分率インピーダンスが 5.0 [%] である。このとき、次の(a)及び(b)の問に答えよ。

ただし、百分率インピーダンスの抵抗分は無視するものとする。



(a) 基準容量を 10 [MV・A] としたとき、変圧器の二次側から電源側をみた百分率リアクタンス [%] の値として、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 2.0 (2) 8.0 (3) 12.5 (4) 15.5 (5) 20.0

(b) 図の A で三相短絡事故が発生したとき、事故電流 [kA] の値として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。ただし、変圧器の二次側から A までのインピーダンス及び負荷は、無視するものとする。

- (1) 4.4 (2) 6.0 (3) 7.0 (4) 11 (5) 44

導出のポイント

問17 図に示すように、定格電圧 66 [kV] の電源から送電線と三相変圧器を介して、二次側に遮断器が接続された系統を考える。三相変圧器の電気的特性は、定格容量 20 [MV・A]、一次側線間電圧 66 [kV]、二次側線間電圧 6.6 [kV]、自己容量基準での百分率リアクタンス 15.0 [%] である。一方、送電線から電源側をみた電気的特性は、基準容量 100 [MV・A] の百分率インピーダンスが 5.0 [%] である。このとき、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

ただし、百分率インピーダンスの抵抗分は無視するものとする。

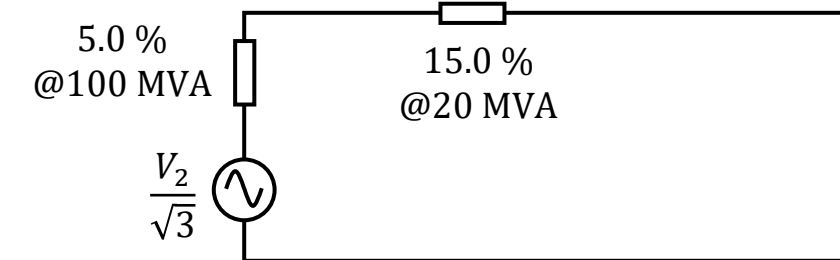
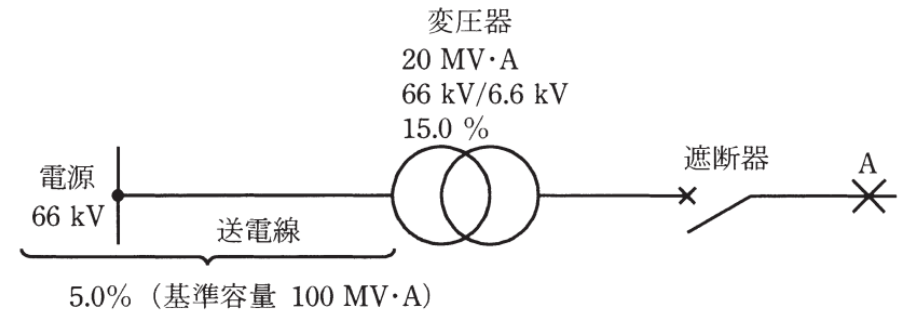
(a) 基準容量を 10 [MV・A] としたとき、変圧器の二次側から電源側をみた百分率リアクタンス [%] の値として、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

$$\text{パーセントインピーダンスの換算} \quad \%Z' = \frac{S'_n}{S_n} \times \%Z$$

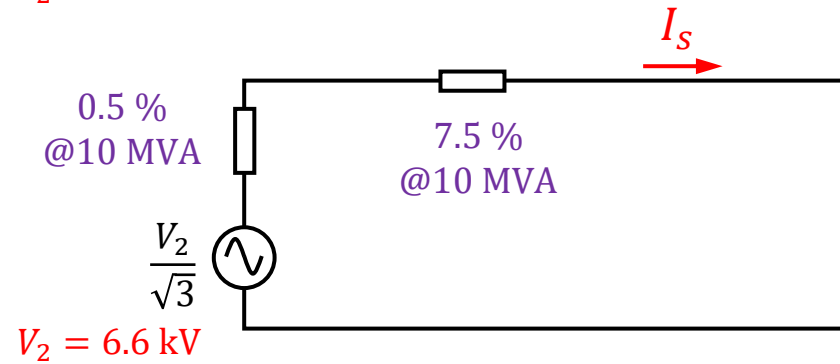
$$\%X'_S = \frac{S'_n}{S_n} \times \%X_S = \frac{10}{100} \times 5.0 = 0.5 \%$$

$$\%X'_T = \frac{S'_n}{S_n} \times \%X_T = \frac{10}{20} \times 15.0 = 7.5 \%$$

$$\%X_{all} = \%X'_S + \%X'_T = 0.5 + 7.5 = 8.0 \%$$



$$V_2 = 6.6 \text{ kV}$$



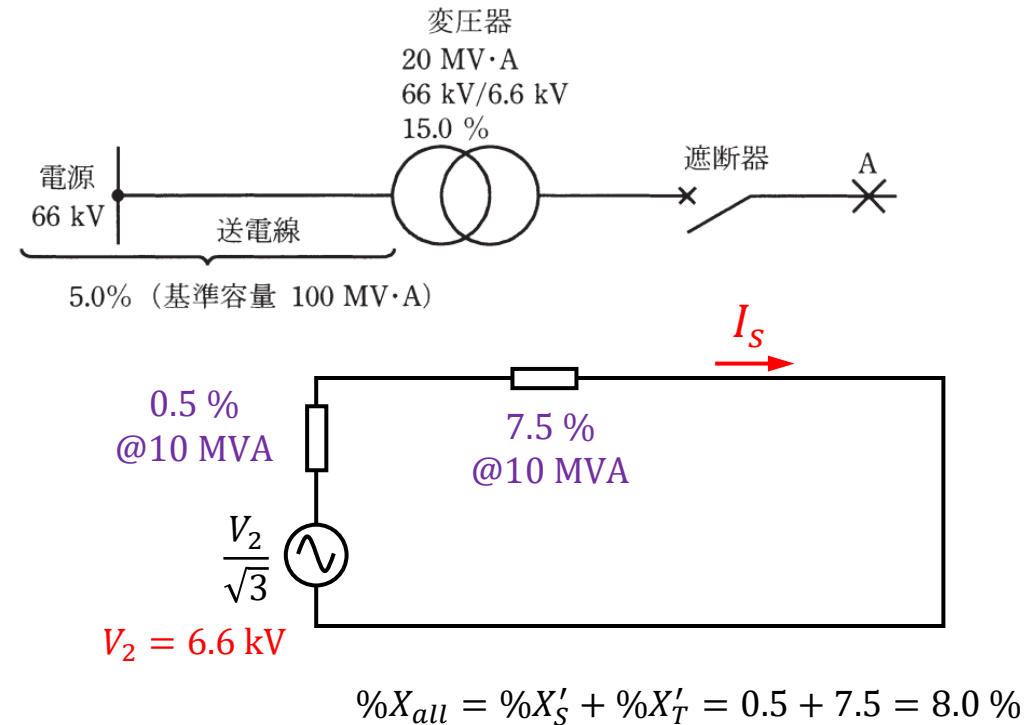
$$V_2 = 6.6 \text{ kV}$$

導出のポイント

問17 図に示すように、定格電圧 66 [kV] の電源から送電線と三相変圧器を介して、二次側に遮断器が接続された系統を考える。三相変圧器の電気的特性は、定格容量 20 [MV・A]、一次側線間電圧 66 [kV]、二次側線間電圧 6.6 [kV]、自己容量基準での百分率リアクタンス 15.0 [%] である。一方、送電線から電源側をみた電気的特性は、基準容量 100 [MV・A] の百分率インピーダンスが 5.0 [%] である。このとき、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

ただし、百分率インピーダンスの抵抗分は無視するものとする。

(b) 図の A で三相短絡事故が発生したとき、事故電流 [kA] の値として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。ただし、変圧器の二次側から A までのインピーダンス及び負荷は、無視するものとする。



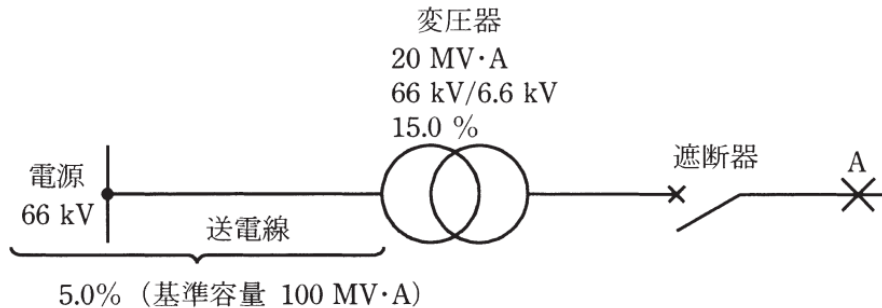
$$\frac{I_n}{I_s} = \frac{E_n/z}{E_n/Z_{BASE}} = \frac{\%Z}{100} \rightarrow I_s = \frac{100}{\%Z} \times I_n = \frac{100}{\%Z} \times \frac{S_n}{\sqrt{3}V_n}$$

$$I_s = \frac{100}{\%X_{all}} \times \frac{S'_n}{\sqrt{3}V_2} = \frac{100}{8.0} \times \frac{10 \text{ M}}{\sqrt{3} \times 6.6 \text{ k}} = 10.9 \text{ kA}$$

電力 H25 問17

問17 図に示すように、定格電圧 66 [kV] の電源から送電線と三相変圧器を介して、二次側に遮断器が接続された系統を考える。三相変圧器の電気的特性は、定格容量 20 [MV・A]、一次側線間電圧 66 [kV]、二次側線間電圧 6.6 [kV]、自己容量基準での百分率リアクタンス 15.0 [%] である。一方、送電線から電源側をみた電気的特性は、基準容量 100 [MV・A] の百分率インピーダンスが 5.0 [%] である。このとき、次の(a)及び(b)の問に答えよ。

ただし、百分率インピーダンスの抵抗分は無視するものとする。



(a) 基準容量を 10 [MV・A] としたとき、変圧器の二次側から電源側をみた百分率リアクタンス [%] の値として、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 2.0 (2) 8.0 (3) 12.5 (4) 15.5 (5) 20.0

(b) 図の A で三相短絡事故が発生したとき、事故電流 [kA] の値として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。ただし、変圧器の二次側から A までのインピーダンス及び負荷は、無視するものとする。

- (1) 4.4 (2) 6.0 (3) 7.0 (4) 11 (5) 44

電力 H23 問16

問16 変電所に設置された一次電圧 66 [kV]，二次電圧 22 [kV]，容量 50 [MV・A] の三相変圧器に，22 [kV] の無負荷の線路が接続されている。その線路が，変電所から負荷側 500 [m] の地点で三相短絡を生じた。

三相変圧器の結線は，一次側と二次側が Y - Y 結線となっている。

ただし，一次側からみた変圧器の 1 相当りの抵抗は 0.018 [Ω]，リアクタンスは 8.73 [Ω]，故障が発生した線路の 1 線当たりのインピーダンスは $(0.20 + j0.48)$ [Ω/km] とし，変圧器一次電圧側の線路インピーダンス及びその他の値は無視するものとする。次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) 短絡電流 [kA] の値として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 0.83 (2) 1.30 (3) 1.42 (4) 4.00 (5) 10.5

(b) 短絡前に，22 [kV] に保たれていた三相変圧器の母線の線間電圧は，三相短絡故障したとき，何 [kV] に低下するか。電圧 [kV] の値として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 2.72 (2) 4.71 (3) 10.1 (4) 14.2 (5) 17.3

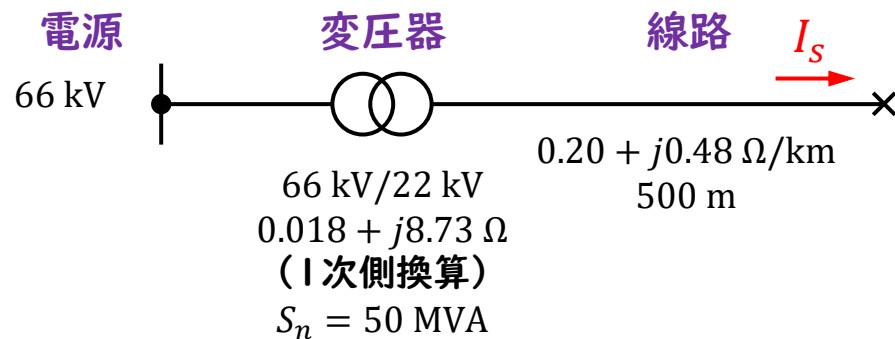
導出のポイント

問16 変電所に設置された一次電圧 66 [kV]，二次電圧 22 [kV]，容量 50 [MV·A] の三相変圧器に，22 [kV] の無負荷の線路が接続されている。その線路が，変電所から負荷側 500 [m] の地点で三相短絡を生じた。

三相変圧器の結線は，一次側と二次側が Y - Y 結線となっている。

ただし，一次側からみた変圧器の 1 相当りの抵抗は 0.018 [Ω]，リアクタンスは 8.73 [Ω]，故障が発生した線路の 1 線当たりのインピーダンスは (0.20 + j0.48) [Ω/km] とし，変圧器一次電圧側の線路インピーダンス及びその他の値は無視するものとする。次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) 短絡電流 [kA] の値として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。



変圧器の巻線比

$$a = \frac{66}{22} = 3$$

変圧器のインピーダンスを二次側換算

$$z_T = \frac{1}{a^2} (0.018 + j8.73) = \frac{1}{9} \times (0.018 + j8.73) = 0.002 + j0.97 \Omega$$

線路のインピーダンス

$$z_l = 0.5 \times (0.20 + j0.48) = 0.10 + j0.24 \Omega$$

合成インピーダンス

$$z = z_T + z_l = 0.002 + j0.97 + 0.10 + j0.24 = 0.102 + j1.21 \Omega$$

$$z = \sqrt{(0.102)^2 + (1.21)^2} = 1.214 \Omega$$

短絡電流

$$I_s = \frac{E_2}{z} = \frac{V_2/\sqrt{3}}{z} = \frac{22000/\sqrt{3}}{1.214} = 10.46 \text{ kA}$$

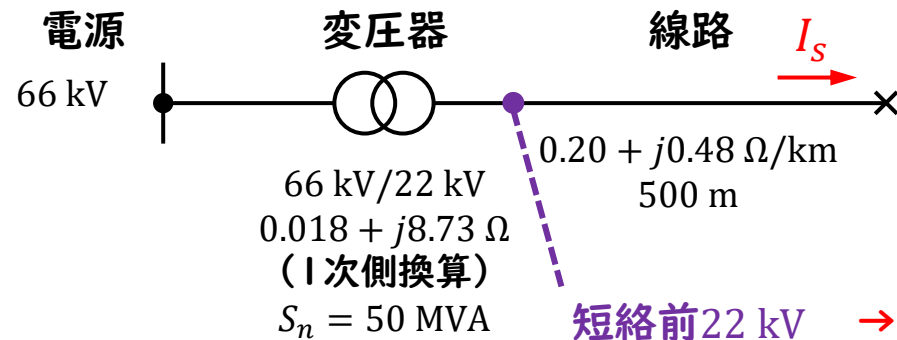
導出のポイント

問16 変電所に設置された一次電圧 66 [kV]，二次電圧 22 [kV]，容量 50 [MV・A] の三相変圧器に，22 [kV] の無負荷の線路が接続されている。その線路が，変電所から負荷側 500 [m] の地点で三相短絡を生じた。

三相変圧器の結線は，一次側と二次側が Y - Y 結線となっている。

ただし，一次側からみた変圧器の 1 相当りの抵抗は 0.018 [Ω]，リアクタンスは 8.73 [Ω]，故障が発生した線路の 1 線当たりのインピーダンスは $(0.20 + j0.48)$ [Ω/km] とし，変圧器一次電圧側の線路インピーダンス及びその他の値は無視するものとする。次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(b) 短絡前に，22 [kV] に保たれていた三相変圧器の母線の線間電圧は，三相短絡故障したとき，何 [kV] に低下するか。電圧 [kV] の値として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。



短絡時線路で生じる電圧降下 (中性点基準)

$$\Delta V = z_l I_s = \sqrt{0.10^2 + 0.24^2} \times 10.46 \text{ k} = 2.72 \text{ kV}$$

電圧降下が中性点基準なので線間電圧にするため $\sqrt{3}$ 倍する

$$V_s = \sqrt{3} \Delta V = \sqrt{3} \times 2.72 \text{ k} = 4.71 \text{ kV}$$

電力 H23 問16

問16 変電所に設置された一次電圧 66 [kV]，二次電圧 22 [kV]，容量 50 [MV·A] の三相変圧器に，22 [kV] の無負荷の線路が接続されている。その線路が，変電所から負荷側 500 [m] の地点で三相短絡を生じた。

三相変圧器の結線は，一次側と二次側が Y - Y 結線となっている。

ただし，一次側からみた変圧器の 1 相当りの抵抗は 0.018 [Ω]，リアクタンスは 8.73 [Ω]，故障が発生した線路の 1 線当たりのインピーダンスは $(0.20 + j0.48)$ [Ω/km] とし，変圧器一次電圧側の線路インピーダンス及びその他の値は無視するものとする。次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) 短絡電流 [kA] の値として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 0.83 (2) 1.30 (3) 1.42 (4) 4.00 (5) 10.5

(b) 短絡前に，22 [kV] に保たれていた三相変圧器の母線の線間電圧は，三相短絡故障したとき，何 [kV] に低下するか。電圧 [kV] の値として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 2.72 (2) 4.71 (3) 10.1 (4) 14.2 (5) 17.3

ご聴講ありがとうございました
ございました!!