【正答チェック表】

日にち	(1)	(2)	(3)

【ワンポイント解説】

対称座標法を用いた二相短絡事故に関する問題です。対称座標法を用いた計算問題はパターンがあり，この問題の場合，対称座標法の定義を理解しておくことと図 1 のような対称分等価回路の描き方を理解してしまえば比較的取り組みやすい問題となります。

1.対称座標法

故障計算をする際に，非常に便利な方法で，以下のように定義されます。

零相電圧$\dot{V}_0$，正相電圧$\dot{V}_1$，逆相電圧$\dot{V}_2$とすると，各相の電圧$\dot{V}_{\mathrm{a}}$，$\dot{V}_{\mathrm{b}}$，$\dot{V}_{\mathrm{c}}$は以下のように表せます。

$$\begin{aligned}\dot{V}_{\mathrm{a}} &= \dot{V}_0+\dot{V}_1+\dot{V}_2\\ \dot{V}_{\mathrm{b}} &= \dot{V}_0+a^2\dot{V}_1+a\dot{V}_2\\ \dot{V}_{\mathrm{c}} &= \dot{V}_0+a\dot{V}_1+a^2\dot{V}_2\end{aligned}$$

零相電流$\dot{I}_0$，正相電流$\dot{I}_1$，逆相電流$\dot{I}_2$とすると，各相の電流$\dot{I}_{\mathrm{a}}$，$\dot{I}_{\mathrm{b}}$，$\dot{I}_{\mathrm{c}}$は電圧同様に以下のように表せます。

$$\begin{aligned}\dot{I}_{\mathrm{a}} &= \dot{I}_0+\dot{I}_1+\dot{I}_2\\ \dot{I}_{\mathrm{b}} &= \dot{I}_0+a^2\dot{I}_1+a\dot{I}_2\\ \dot{I}_{\mathrm{c}} &= \dot{I}_0+a\dot{I}_1+a^2\dot{I}_2\end{aligned}$$

また，対称座標法における発電機の基本式は以下の通りとなります。

$$\begin{aligned}\dot{V}_0 &= -Z_0\dot{I}_0\\ \dot{V}_1 &= \dot{E}_{\mathrm{a}}-Z_1\dot{I}_1\\ \dot{V}_2 &= -Z_2\dot{I}_2\end{aligned}$$

【解答】

(1) $\mathbf{F_1}$ 点にて二相短絡事故が発生した際に入力される電圧 $\dot{V}_{\mathrm{b}}-\dot{V}_{\mathrm{c}}$ (一次側換算値)及び距離リレーがみるインピーダンス(一次側換算値)

題意に沿って $\mathrm{F_1}$ 点にて二相短絡事故が発生した際の対称分等価回路は図 1 のようになる。二相短絡事故においては零相回路には電流は流れない。各電圧電流はそれぞれ図 1 の通りとする。

図 1 より， $\mathrm{F_1}$ 点の各電圧電流に関して，

$$\dot{V}_{1\mathrm{f1}} = \dot{V}_{2\mathrm{f1}} \quad \cdots\cdots ①$$
$$\dot{I}_{1\mathrm{f1}} = -\dot{I}_{2\mathrm{f1}} \quad \cdots\cdots ②$$

の関係があることがわかる。各インピーダンスが正相，逆相共に同じであることから，

$$\dot{I}_{11} = -\dot{I}_{21} \quad \cdots\cdots ③$$

となる。

ワンポイント解説「1.対称座標法」より，距離リレーにかかる電圧 $\dot{V}_{\mathrm{b}}$ 及び $\dot{V}_{\mathrm{c}}$ は，零相電圧が零であるので，

$$\dot{V}_{\mathrm{b}} = a^2\dot{V}_1+a\dot{V}_2 \quad \cdots\cdots ④$$
$$\dot{V}_{\mathrm{c}} = a\dot{V}_1+a^2\dot{V}_2 \quad \cdots\cdots ⑤$$

となるので，

$$\dot{V}_{\mathrm{b}}-\dot{V}_{\mathrm{c}} = (a^2-a)(\dot{V}_1-\dot{V}_2)$$

となる。ここで，図 1 より，

$$\begin{aligned}\dot{V}_1 &= \dot{V}_{1\mathrm{f1}}+\dot{Z}_{\mathrm{f1}}\dot{I}_{11}\\ \dot{V}_2 &= \dot{V}_{2\mathrm{f1}}+\dot{Z}_{\mathrm{f1}}\dot{I}_{21}\end{aligned}$$

となるので，これを代入すると，

$$\dot{V}_{\mathrm{b}}-\dot{V}_{\mathrm{c}} = (a^2-a)(\dot{V}_{1\mathrm{f1}}+\dot{Z}_{\mathrm{f1}}\dot{I}_{11}-\dot{V}_{2\mathrm{f1}}-\dot{Z}_{\mathrm{f1}}\dot{I}_{21})$$

となり，①及び③の関係を用いると，

$$\begin{aligned}\dot{V}_{\mathrm{b}}-\dot{V}_{\mathrm{c}} &= (a^2-a)(\dot{V}_{1\mathrm{f1}}+\dot{Z}_{\mathrm{f1}}\dot{I}_{11}-\dot{V}_{1\mathrm{f1}}+\dot{Z}_{\mathrm{f1}}\dot{I}_{11})\\ &= 2(a^2-a)\dot{Z}_{\mathrm{f1}}\dot{I}_{11}\end{aligned}$$

となる。距離リレーの電流 $\dot{I}_{\mathrm{b1}}$ 及び $\dot{I}_{\mathrm{c1}}$ は，

$$\dot{I}_{\mathrm{b1}} = a^2\dot{I}_{11}+a\dot{I}_{21} = (a^2-a)\dot{I}_{11} \quad \cdots ⑥$$
$$\dot{I}_{\mathrm{c1}} = a\dot{I}_{11}+a^2\dot{I}_{21} = -(a^2-a)\dot{I}_{11} \quad \cdots ⑦$$

であるから，

$$\dot{V}_{\mathrm{b}}-\dot{V}_{\mathrm{c}} = 2\dot{Z}_{\mathrm{f1}}\dot{I}_{\mathrm{b1}}$$

と求められる。また，距離リレーが見るインピーダンス $\dot{Z}_{\mathrm{R}}$ は，

$$\begin{aligned}\dot{Z}_{\mathrm{R}} &= \frac{\dot{V}_{\mathrm{b}}-\dot{V}_{\mathrm{c}}}{\dot{I}_{\mathrm{b1}}-\dot{I}_{\mathrm{c1}}}\\ &= \frac{2\dot{Z}_{\mathrm{f1}}\dot{I}_{\mathrm{b1}}}{2\dot{I}_{\mathrm{b1}}}\\ &= \dot{Z}_{\mathrm{f1}}\end{aligned}$$

と求められる。

(2) $\mathbf{F_2}$ 点にて二相短絡事故が発生した際に入力される電圧 $\dot{V}_b - \dot{V}_c$ (一次側換算値)及び距離リレーがみるインピーダンス(一次側換算値)

題意に沿って F_2 点にて二相短絡事故が発生した際の対称分等価回路は図 2 のようになる。各電圧電流はそれぞれ図 2 の通りとする。

図 2 より，F_2 点の各電圧電流に関する関係式は(1)と同様となる。すなわち，

$$\dot{V}_{1f2} = \dot{V}_{2f2} \quad \cdots\cdots ①'$$
$$\dot{I}_{1f2} = -\dot{I}_{2f2} \quad \cdots\cdots ②'$$
$$\dot{I}_{11} = -\dot{I}_{21} \quad \cdots\cdots ③'$$
$$\dot{V}_b = a^2\dot{V}_1 + a\dot{V}_2 \quad \cdots\cdots ④'$$
$$\dot{V}_c = a\dot{V}_1 + a^2\dot{V}_2 \quad \cdots\cdots ⑤'$$
$$\dot{I}_{b1} = (a^2 - a)\dot{I}_{11} \quad \cdots\cdots ⑥'$$
$$\dot{I}_{c1} = -(a^2 - a)\dot{I}_{11} \quad \cdots\cdots ⑦'$$

となる。また，図 2 の等価回路より，

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_{1f2} + \dot{Z}_2\dot{I}_{11} + \dot{Z}_{f2}\dot{I}_{1f2} \quad \cdots ⑧$$
$$\dot{V}_2 = \dot{V}_{2f2} + \dot{Z}_2\dot{I}_{21} + \dot{Z}_{f2}\dot{I}_{2f2} \quad \cdots ⑨$$

となる。④′，⑤′，⑧，⑨の関係式より，

$$\begin{aligned}&\dot{V}_b - \dot{V}_c \\ &= (a^2 - a)(\dot{V}_1 - \dot{V}_2) \\ &= (a^2 - a)(\dot{V}_{1f2} + \dot{Z}_2\dot{I}_{11} + \dot{Z}_{f2}\dot{I}_{1f2} - \dot{V}_{2f2} - \dot{Z}_2\dot{I}_{21} - \dot{Z}_{f2}\dot{I}_{2f2})\end{aligned}$$

となり，①′，②′，③′ の関係式より，

$$\dot{V}_b - \dot{V}_c = (a^2 - a)(2\dot{Z}_2\dot{I}_{11} + 2\dot{Z}_{f2}\dot{I}_{1f2})$$

と整理され，さらに分流の法則により，

$$\dot{I}_{11} = \frac{\dot{Z}_3 + \dot{Z}_4}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3 + \dot{Z}_4}\dot{I}_{1f2}$$

の関係があるので，

$$\dot{V}_b - \dot{V}_c = 2(a^2 - a)\left(\dot{Z}_2 + \dot{Z}_{f2}\frac{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3 + \dot{Z}_4}{\dot{Z}_3 + \dot{Z}_4}\right)\dot{I}_{11}$$

となり，さらに⑥′ の関係式より，

$$\begin{aligned}\dot{V}_b - \dot{V}_c &= 2\left(\dot{Z}_2 + \dot{Z}_{f2}\frac{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3 + \dot{Z}_4}{\dot{Z}_3 + \dot{Z}_4}\right)\dot{I}_{b1} \\ &= 2(\dot{Z}_2 + \dot{Z}_{f2})\dot{I}_{b1} + 2\dot{Z}_{f2}\frac{\dot{Z}_2}{\dot{Z}_3 + \dot{Z}_4}\dot{I}_{b1} \\ &= 2\{(\dot{Z}_2 + \dot{Z}_{f2})\dot{I}_{b1} + \dot{Z}_{f2}\dot{I}_{b2}\}\end{aligned}$$

と求められる。また，距離リレーが見るインピーダンス $\dot{Z}_R$ は，

$$\begin{aligned}\dot{Z}_R &= \frac{\dot{V}_b - \dot{V}_c}{\dot{I}_{b1} - \dot{I}_{c1}} \\ &= \frac{2\left(\dot{Z}_2 + \dot{Z}_{f2}\frac{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3 + \dot{Z}_4}{\dot{Z}_3 + \dot{Z}_4}\right)\dot{I}_{b1}}{2\dot{I}_{b1}} \\ &= \dot{Z}_2 + \dot{Z}_{f2}\frac{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3 + \dot{Z}_4}{\dot{Z}_3 + \dot{Z}_4}\end{aligned}$$

と求められる。

(3)(2)の事故が発生したときに，距離リレーは動作域にあるかどうか

(2)の解答式に各値を代入すると，

$$\begin{aligned}\dot{Z}_R &= \mathrm{j}3.5 + \mathrm{j}2.5 \times \frac{\mathrm{j}3.5 + \mathrm{j}2.0 + \mathrm{j}1.0}{\mathrm{j}2.0 + \mathrm{j}1.0} \\ &\fallingdotseq \mathrm{j}8.9167\ [\Omega]\end{aligned}$$

となり，二次側に換算すると，

$$\mathrm{j}8.9167 \times \frac{110}{77000} \times \frac{600}{5} \fallingdotseq \mathrm{j}1.5286 \quad \rightarrow \quad 1.53\ [\Omega]$$

となるので，整定値 5.0 [Ω] 以下なので動作域にある。