●作戦会議

(1)，(2)が変わった問題で，(3)，（4）がオーソドックスな計算問題，（5）が論述という複合問題になっている。（2）が答えられるかどうかが肝。

(1)題意よりトルク＝電力であり，定格状態から短絡状態に移行していることを理解する。

(2)例えば初速がv_0，加速度αで増速する等加速度直線運動の場合の変位xは，

$$x=\frac{1}{2}\alpha t^2+v_0 t$$

で表される。角加速度についても同様の式が成り立つので，これを利用する。
単位に注意。

(3)ここからは普通の計算問題。2 種レベルの電圧降下の計算である。

(4)故障除去時の相差角は$\delta+\Delta\delta$である。加法定理を用いて計算することを意識して，最後を想像しながら計算しよう。

(5)キーワードはすべて問題文に載っているので，あとは時間の許す限りで文章に起こし部分点を取りに行きたい。

●解答

(1)題意より電力とトルクは同じものとして扱う。

定格で運転していた状態から，短絡した時のトルクのステップ変化の大きさは，すなわち電力の変化量であり，下記のようになる。

$1.0 \times 0.9 - 0 = 0.9[\mathrm{p.u.}]$　　　・・・（答）

(2)定格運転状態から短絡状態になった場合，

角加速度$\dfrac{d\omega}{dt}$で時刻$t[\mathrm{s}]$の間だけ減速し，停止した（終速が 0 になった）ことになる。

したがって，内部相差角 δ は以下の式で表される。

$$\delta = \frac{1}{2} \cdot \frac{d\omega}{dt} t^2 \quad \cdots ①$$

また，題意の式より

$$M \frac{d\omega}{dt} = P_m - P_e$$

が成り立つ。機械的入力は変化せずに電気的出力だけが変化したので，(1)より，

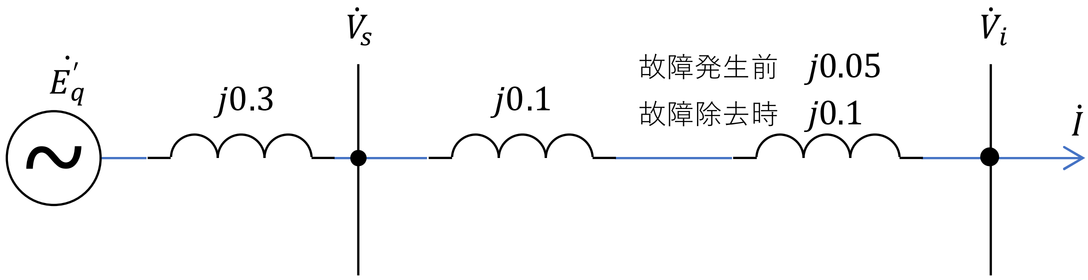
$$M \frac{d\omega}{dt} = 0.9 \rightarrow \frac{d\omega}{dt} = \frac{0.9}{M} = \frac{0.9}{7}$$

①に代入して，0.1 秒間の内部相差角増大量$\Delta\delta$を求めると，

$$\Delta\delta = \frac{1}{2} \cdot \frac{0.9}{7} \times 0.1^2 \fallingdotseq 0.00064286[\mathrm{p.u.}] \fallingdotseq 0.20196[\mathrm{rad}] \rightarrow 0.202[\mathrm{rad}] \quad \cdots (答)$$

(3)故障発生前後の関係を意識してインピーダンスマップを作成すると，下図のようになる。

ただし，単位は全て p.u.であり，V_Sは発電機端子電圧，Iは送電線の電流値である。



図

したがって，故障発生前及び故障除去後の直列合成インピーダンスjxは次のようになる。

$$\begin{cases} \text{故障発生前}：jx = j0.3 + j0.1 + j0.05 = j0.450\ [\mathrm{p.u.}] \\ \text{故障除去後}：jx = j0.3 + j0.1 + j0.1 = j0.500\ [\mathrm{p.u.}] \end{cases} \quad ・・・(答)$$

また，電流 I は，力率が 0.9 なので，

$$\dot{I} = 0.9 - j\sqrt{1 - 0.9^2} \fallingdotseq 0.9 - j0.43589$$

である。

よって，故障発生前の運転条件から，$\dot{E}_q'$，$\dot{V}_i$の大きさはそれぞれ次のようになる。

$$\begin{cases} \dot{E}_q' = \dot{V}_s + j0.3\,\dot{I} = 1.0 + j0.3(0.9 - j0.43589) \fallingdotseq 1.1308 + j0.27 \\ \dot{V}_i \ = \dot{V}_s - j0.15\,\dot{I} = 1.0 - j0.15(0.9 - j0.43589) \fallingdotseq 0.93462 - j0.135 \end{cases}$$

$$\therefore \begin{cases} E_q' \fallingdotseq 1.1626 \to 1.16[\mathrm{p.u.}] \\ V_i \fallingdotseq 0.94432 \to 0.944[\mathrm{p.u.}] \end{cases} \quad ・・・(答)$$

(4)発電機出力の公式より，故障発生前において，

$$P_e = \frac{E_q' V_i}{x} sin\delta = \frac{1.1626 \times 0.94432}{0.45} sin\delta = 0.9$$

$$\therefore sin\delta = \frac{0.9 \times 0.45}{1.1626 \times 0.94432} \fallingdotseq 0.36890$$

また，故障除去後の発電機出力をP_e'とおくと，

$$P_e' = \frac{E_q' V_i}{0.5} sin(\delta + \Delta\delta) \quad \cdot \cdot \cdot ②$$

ここで加法定理より，

$$\begin{aligned} sin(\delta + \Delta\delta) &= sin\delta cos\Delta\delta + cos\delta sin\Delta\delta \\ &\fallingdotseq 0.36890 \times \sqrt{1 - 0.20196^2} + \sqrt{1 - 0.36890^2} \times 0.20196 \\ &\fallingdotseq 0.36130 + 0.18772 = 0.54902 \end{aligned}$$

②に代入して，

$$P_e' = \frac{1.1626 \times 0.94432}{0.5} \times 0.54902 \fallingdotseq 1.2055 \rightarrow 1.21\ [\mathrm{p.u.}] \quad \cdot \cdot \cdot (答)$$

(5)高速再閉路時に故障が除去されていないと，再び短絡状態となる。本問の場合，電気的トルクのステップ変化は 0.9→0→0.9→0…と高速かつ急激に変化し，これが発電機の軸へと伝わり，軸が加速・減速を繰り返す。

軸の固有振動数は 10Hz 程度であるから，題意にもあるように振動数が 10Hz 程度の軸ねじれ振動が生ずる。このため，再閉路のタイミングが 0.1 秒程度ずれるだけで，軸の加速・減速のタイミングが逆になるため，軸への機械的疲労の影響は大きく左右される。

●参考

1)「これだけは知っておきたい　電気技術者の基本知識」.テーマ 18.大嶋輝夫・山崎靖雄 共著.電気書院

2)「これも知っておきたい　電気技術者の基本知識」.テーマ 36.大嶋輝夫・山崎靖雄 共著.電気書院