

Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Energieversorgung am 04.03.2015

Hinweis: Bei den Berechnungen wurden alle Zwischenergebnisse in der technischen Notation¹ (Format ENG) dargestellt und auf drei Nachkommastellen gerundet. Für die weitere Rechnung wurde das gerundete Ergebnis verwendet.

Abhängig vom Rechenweg kann es aber dennoch zu leicht abweichenden Ergebnissen kommen!

1. Übertragbare Leistung

a. Ermitteln Sie einen Ausdruck für die **Scheinleistung** \underline{S}_2 auf Seite 2 des Systems als Funktion von U_1 , U_2 , X und δ her

$$\begin{aligned}\underline{S}_2 &= \frac{j3}{X} \cdot U_2 U_1 \cdot \cos(\delta) - \frac{j3}{X} \cdot U_2 U_1 \cdot j \cdot \sin(\delta) - \frac{j3}{X} \cdot U_2^2 = \\ &= \frac{j3}{X} \cdot U_2 U_1 \cdot \cos(\delta) + \frac{3}{X} \cdot U_2 U_1 \cdot \sin(\delta) - \frac{j3}{X} \cdot U_2^2 = \\ &= \underbrace{3 \frac{U_2 U_1}{X} \cdot \sin(\delta)}_{P_2} + j \cdot \underbrace{3 \frac{U_2}{X} \cdot (U_1 \cdot \cos(\delta) - U_2)}_{Q_2}\end{aligned}\quad (1.1)$$

b. Ermitteln Sie die **Wirk- und Blindleistung** (P_2 und Q_2) auf Seite 2 des Systems.

$$\underline{S}_2 = \underbrace{3 \frac{U_2 U_1}{X} \cdot \sin(\delta)}_{P_2} + j \cdot \underbrace{3 \frac{U_2}{X} \cdot (U_1 \cdot \cos(\delta) - U_2)}_{Q_2}\quad (1.2)$$

c. Wann wird die Wirkleistung aus Punkt a. maximal?

Wenn $\sin(\delta)$ maximal wird, d.h. bei $\delta = 90^\circ$.

d. Stellen Sie die Maschengleichung ($\sum U = 0$) auf und ermitteln Sie daraus einen Ausdruck für U_2 als Funktion von U_1 und δ .

$$\begin{aligned}\underline{U}_{(1)1} &= \underline{U}_{(1)2} + \frac{\underline{U}_{(1)2}}{R} \cdot jX \\ U_1 \cdot e^{j\delta} &= U_2 + jX \frac{U_2}{R} \\ U_1 \cdot \cos(\delta) + j \cdot U_1 \cdot \sin(\delta) &= U_2 + jX \frac{U_2}{R}\end{aligned}\quad (1.3)$$

Mit Koeffizientenvergleich:

$$\begin{aligned}U_1 \cdot \cos(\delta) &\Leftrightarrow U_2 \\ U_1 \cdot \sin(\delta) &\Leftrightarrow X \frac{U_2}{R}\end{aligned}\quad (1.4)$$

¹ http://de.wikipedia.org/wiki/Wissenschaftliche_Notation

e. Leiten Sie einen Ausdruck für die **Wirkleistung** P_2 auf Seite 2 als Funktion von U_1 , X und δ her.

$$\begin{aligned} P_2 &= 3 \frac{U_1}{X} \sin(\delta) \cdot U_2 = \\ &= 3 \frac{U_1}{X} \sin(\delta) \cdot U_1 \cdot \cos(\delta) = \\ &= 3 \frac{U_1^2}{X} \sin(\delta) \cos(\delta) = \\ &= 3 \frac{U_1^2}{2X} \sin(2\delta) \end{aligned} \tag{1.5}$$

f. Wann wird die Wirkleistung aus Punkt c. maximal?

Wenn $\sin(2\delta)$ maximal wird, d.h. bei $\delta = 45^\circ$.

2. Einpoliger Erdschluss bei zwei speisenden Transformatoren

a. Bestimmen Sie die **Werte aller Elemente der Ersatzschaltung** im Mit-, Gegen- und Nullsystem.

Generator:

$$\begin{aligned} Z_{G(1)} &= 16 \, \Omega \\ R_{G(1)} &= 0 \, \Omega \\ X_{G(1)} &= Z_{G(1)} = 21 \, \Omega \end{aligned} \tag{2.1}$$

Transformatoren:

$$\begin{aligned} Z_{T(1)} &= 4 \, \Omega \\ R_{T(1)} &= 0 \, \Omega \\ X_{T(1)} &= X_{T1(1)} = X_{T2(1)} = Z_{T(1)} = 4 \, \Omega \end{aligned} \tag{2.2}$$

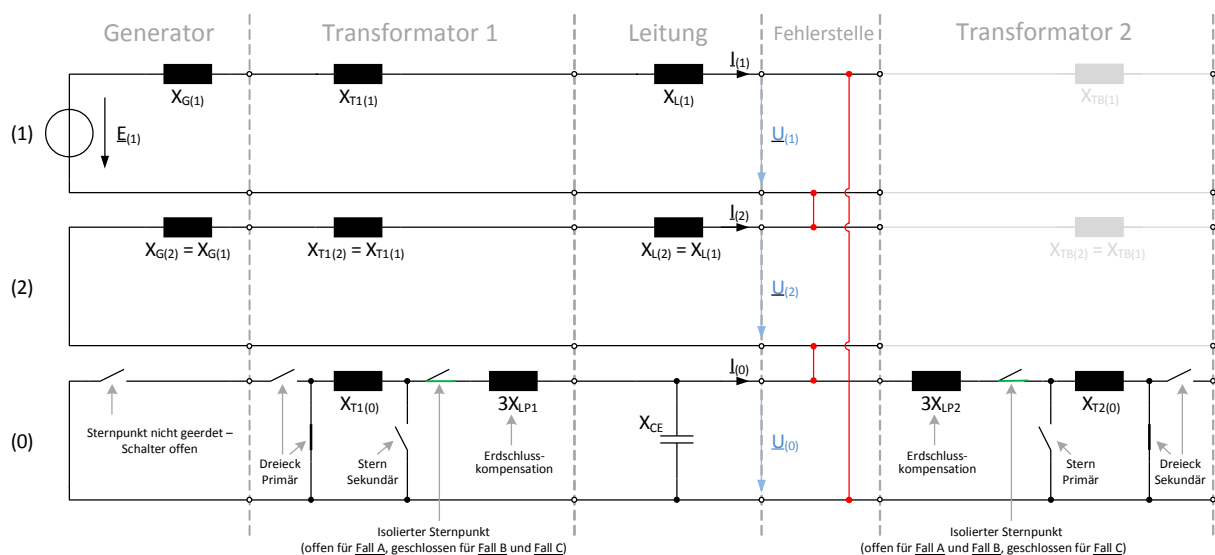
$$\begin{aligned} R_{T1(0)} = R_{T2(0)} &= 0 \, \Omega \\ X_{T(0)} = X_{T1(0)} = X_{T2(0)} &= 10 \, \Omega \end{aligned} \tag{2.3}$$

Leitung:

$$X_{L(1)} = 23,562 \, \Omega \tag{2.4}$$

$$X_{CE} = 4,244 \cdot 10^3 \, \Omega \tag{2.5}$$

b. Zeichnen Sie die **Ersatzschaltbilder** für diesen Fehlerfall mit allen Elementen im Komponentensystem (Spannungen, Ströme, Impedanzen) für die drei Fälle der Sternpunktbehandlung.



c. Wie groß ist der **Betrag des einpoligen Erdschlussstroms I''_{k1p}** im **Fall A** ($c = 1,1$)?

$$I''_{k1p} = 9,166 \, \text{A} \tag{2.6}$$

d. Berechnen Sie im **Fall B** die benötigte **Induktivität L_{P1} der Petersenspule**, sodass der einpolige Erdschlussstrom I''_{k1p} Null wird.

$$X_{L_{P1}} = 1,411 \cdot 10^3 \, \Omega \quad (2.7)$$

e. Im **Fall B** sei die Induktivität $L_{P1} = 4,5 \, \text{H}$, damit der einpolige Erdschlussstrom I''_{k1p} Null wird. Wie groß muss dann im **Fall C** die **Gesamtreaktanz der beiden Petersenspulen** sein, sodass I''_{k1p} ebenfalls Null wird?

Die Petersenspulen der beiden Trafos bilden eine Parallelschaltung. In Summe muss aber wieder die Resonanzbedingung erfüllt werden. Unter Vernachlässigung der Nullsystemreaktanzen der Trafosternpunkte resultiert somit der gleiche Wert für die Summen-Reaktanz der beiden Spulen wie für die einzelne Petersenspule unter Punkt d.

3. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eines Solarkraftwerks

a. Wie hoch sind die **Volllaststunden** für dieses Kraftwerk?

$$T_m = 2862,07 \frac{\text{h}}{\text{a}} \quad (3.1)$$

b. Wie hoch sind die **jährlich fälligen Zahlungen** (Rückzahlung Förderkredit + laufende Kosten)?

$$K = 115,756 \text{ Mio. \$} \quad (3.2)$$

c. Wie hoch ist der **Barwert der Aufwendungen am Ende der Laufzeit**? Die Anzahlung (Rest der Investitionskosten) wird zum Zeitpunkt der Errichtung getätigt, der Restwert nach Laufzeitende soll vernachlässigt werden.

$$B_{20} = 5.726,294 \text{ Mio. \$} \quad (3.3)$$

d. Wie hoch muss der **Energiepreis** (in \$/kWh) der gelieferten Energie mindestens sein, damit der erwartete Gewinn am Ende der Laufzeit erwirtschaftet wird?

$$p = 0,219 \frac{\text{\$}}{\text{kWh}} \quad (3.4)$$

4. Fünf Sicherheitsregeln

Siehe Skriptum

5. Theoriefragen

1a, 2a, 3c, 4b, 5c, 6c, 7c, 8c, 9b, 10a, 11c, 12b, 13d, 14b, 15a, 16b