

Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Energieversorgung am 25.04.2017

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

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

1. Betriebsparameter einer 220 kV Leitung

a. Wie groß ist die **längenbezogene symmetrische Betriebsinduktivität** der Leitung?

$$L'_B = 951,073 \frac{\mu\text{H}}{\text{km}} \tag{1.1}$$

b. Wie groß ist die **komplexe Ausbreitungskonstante** $\underline{\gamma}$ unter der zusätzlichen Annahme, dass $G' = 0 \frac{\text{S}}{\text{km}}$?

$$\gamma = \alpha + j \cdot \beta = 0,101 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{km}} + j 1,061 \cdot 10^{-3} \frac{\text{rad}}{\text{km}} \tag{1.2}$$

c. Die **Leitung sei mit ihrem Wellenwiderstand abgeschlossen** ($Z_2 = Z_w$) und habe eine Ausbreitungskonstante $\underline{\gamma}$ von $2 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{km}} + j \cdot 10^{-3} \frac{\text{rad}}{\text{km}}$. Welcher **Spannungsbetrag** stellt sich am **Ende der Leitung** ein, wenn sie am Beginn mit Nennspannung betrieben wird?

Aus Umformung der Leitungsgleichungen folgt:

$$|U_2| = 124,482 \text{ kV} \tag{1.3}$$

d. Leiten Sie für die leerlaufende **Leitung** ($I_2 = 0$) **allgemein** die Abhängigkeit der Spannung am Ende der Leitung von deren Länge und der Spannung am Beginn der Leitung $\underline{U}_2 = f(\underline{U}_1, \text{Länge})$ her.

$$\begin{aligned} U_2 &= U_1 \frac{1}{\cosh(\gamma l)} \\ &= (221,996 - j \cdot 0,386) \text{ kV} = 221,994 | 0,0996 \text{ kV} \end{aligned} \tag{1.4}$$

e. Wie groß ist der **Wellenwiderstand** und die **natürliche Leistung** der Leitung, wenn sie als **verlustlose Leitung** betrachtet wird ($R' = 0 \Omega/\text{km}$, $G' = 0 \text{ S}/\text{km}$)?

$$Z_w = 281,525 \Omega \tag{1.5}$$

$$P_{nat} = 171,921 \text{ MW} \tag{1.6}$$

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

2. Einpoliger Erdschluss bei zwei speisenden Transformatoren

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

Generator:

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

Transformatoren:

$$\begin{aligned} R_{T1(1)} &= R_{T1(2)} = R_{T2(1)} = 0 \Omega \\ X_{T1(1)} &= X_{T1(2)} = X_{T2(1)} = Z_{T(1)} = 4 \Omega \end{aligned} \tag{2.2}$$

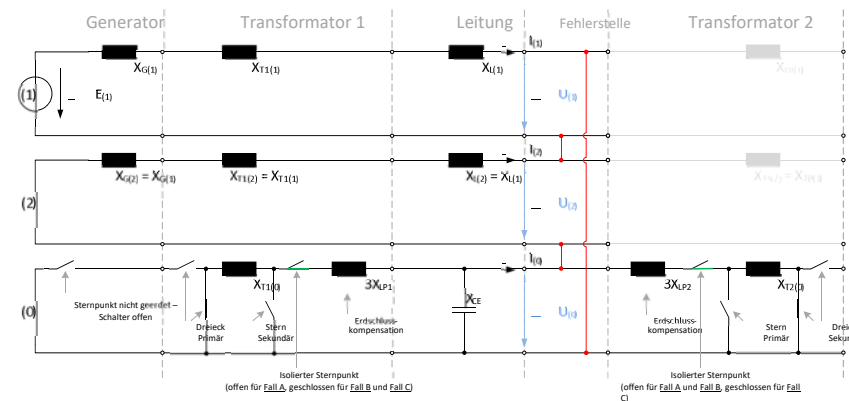
$$\begin{aligned} R_{T1(0)} &= R_{T2(0)} = 0 \Omega \\ X_{T1(0)} &= X_{T1(0)} = X_{T2(0)} = 10 \Omega \end{aligned} \tag{2.3}$$

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.

$$L_{p1} = 4,492 \text{ H} \tag{2.7}$$

- 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. Wirtschaftlichkeitsvergleich

- a. Ermitteln Sie die **Stromgestehungskosten** für das **Solarkraftwerk**.

$$k_{sol} = 0,304 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \quad (3.1)$$

- b. Wie hoch sind die **Stromgestehungskosten** des **GuD-Kraftwerks**, wenn es die gleiche Volllaststundenzahl pro Jahr aufweist, wie das Versuchskraftwerk?

$$k_{GuD} = 0,0881 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \quad (3.2)$$

- c. Wie hoch dürften die **spezifischen Errichtungskosten** vom **Solarkraftwerk maximal** sein, damit dieses mit dem konventionellen GuD-Kraftwerk konkurrieren kann? **Hinweis:** Auch die leistungsabhängigen Kosten ändern sich, sie belaufen sich weiterhin auf 5% der jeweiligen Errichtungskosten!

$$a_{sol} = 3642,34 \frac{\text{€}}{\text{kW}} \quad (3.3)$$

- d. Um zusätzliche 24 Mio. € könnte das **Solarkraftwerk** mit größeren Speichern ausgestattet werden, wodurch sich die Volllaststundenzahl um 16% erhöht. Wäre dies eine **sinnvolle Investition?** (Es gilt hier ebenso der Hinweis von Punkt c.)

$$k_{sol} = 0,285 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \quad (3.4)$$

→Die Investition ist sinnvoll!

4. Fünf Sicherheitsregeln

Siehe Skriptum

5. Theoriefragen

1a, 2a, 3c, 4a, 5a, 6b, 7a, 8c, 9a, 10a, 11c, 12b, 13b, 14a, 15b, 16b, 17c, 18a, 19a, 20c, 21c, 22c, 23b, 24a