

Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Energieversorgung am 24.06.2015

Hinweis: Bei den Berechnungen wurden alle Zwischenergebnisse in der technischen Notation<sup>1</sup> (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. Zweiphasige Leitungsunterbrechung

a. Ermitteln Sie für die einzelnen Elemente (Leitungen, Last) die **Null-, Mit- und Gegenimpedanzen** ( $\underline{Z}_{(0)}$ ,  $\underline{Z}_{(1)}$ ,  $\underline{Z}_{(2)}$ ).

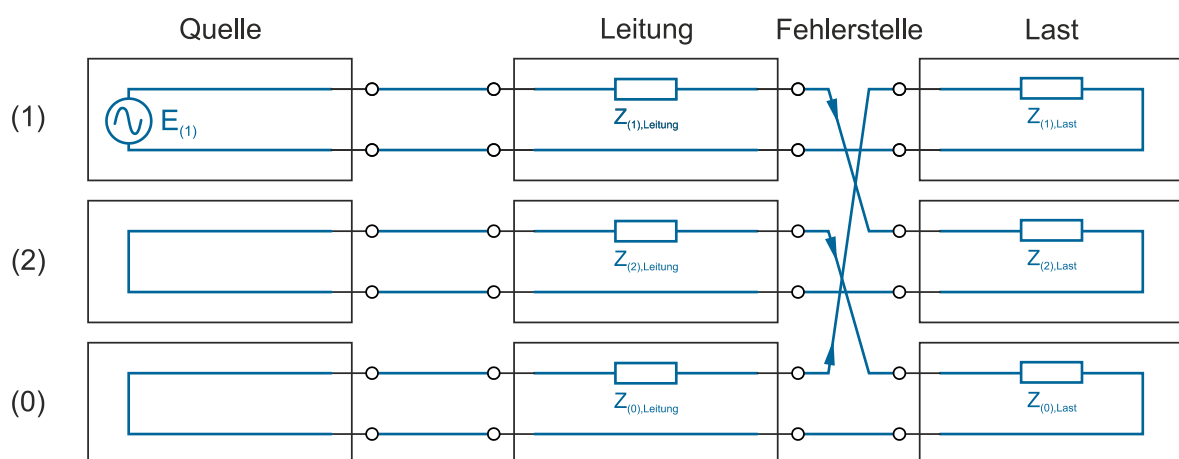
$$\begin{aligned} \underline{Z}_{(0),\text{Leitung}} &= 4 \Omega \\ \underline{Z}_{(1),\text{Leitung}} &= 1 \Omega \\ \underline{Z}_{(2),\text{Leitung}} &= 1 \Omega \end{aligned} \tag{1.1}$$

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{(0),\text{Last}} &= 21 \Omega \\ \underline{Z}_{(1),\text{Last}} &= 21 \Omega \\ \underline{Z}_{(2),\text{Last}} &= 21 \Omega \end{aligned} \tag{1.2}$$

b. Leiten Sie die **Fehlerbedingung** für die **Komponentenströme** her.

$$\underline{I}_{(0)} = \underline{I}_{(1)} = \underline{I}_{(2)} = \frac{1}{3} \cdot \underline{I}_{af} \tag{1.3}$$

c. Vervollständigen Sie das **Schaltbild für die Komponentendarstellung**, zeichnen Sie **alle Komponenten** (Ersatzspannungsquellen und Impedanzen) ein und schreiben Sie die **Fehlerbedingung der Differenzen der Komponentenspannungen** an.



$$\Delta \underline{U}_{(0)} + \Delta \underline{U}_{(1)} + \Delta \underline{U}_{(2)} = 0 \tag{1.4}$$

d. Wie groß sind die drei **Komponentenströme**  $\underline{I}_{(0)}$ ,  $\underline{I}_{(1)}$  und  $\underline{I}_{(2)}$ ?

Es wird mit dem Faktor  $c = 1$  gerechnet.

<sup>1</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Wissenschaftliche\\_Notation](http://de.wikipedia.org/wiki/Wissenschaftliche_Notation)

$$I_{(0)} = 3,347 \text{ A} \quad (1.5)$$

e. Berechnen Sie die **Komponentenspannungen am fehlerseitigen Leitungsende**  $\underline{U}_{\text{FSLtg}(0)}$ ,  $\underline{U}_{\text{FSLtg}(1)}$  und  $\underline{U}_{\text{FSLtg}(2)}$  und transformieren Sie diese in das **Phasensystem**.

$$I_{(0)} = I_{(1)} = I_{(2)} = 3,34 \text{ A}$$

$$\begin{pmatrix} \Delta \underline{U}_{\text{FSLtg}(0)} \\ \Delta \underline{U}_{\text{FSLtg}(1)} \\ \Delta \underline{U}_{\text{FSLtg}(2)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -13,36 \\ 227,6 \\ -3,34 \end{pmatrix} \text{ V} \quad (1.6)$$

$$\begin{pmatrix} \Delta \underline{U}_{\text{FSLtg}(a)} \\ \Delta \underline{U}_{\text{FSLtg}(b)} \\ \Delta \underline{U}_{\text{FSLtg}(c)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 210,9 \\ -125,49 - 200 \\ -125,49 + 200 \end{pmatrix} \text{ V} \quad (1.7)$$

f. Wie groß sind die Differenzspannungen der einzelnen Phasen an der Fehlerstelle? (**Komplexe Darstellung und Betrag**) wenn die Spannungen an den Lasten:  $\underline{U}_{\text{aLast}} = 210,86 \text{ V}$  und  $\underline{U}_{\text{bLast}} = \underline{U}_{\text{cLast}} = 0 \text{ V}$ .

$$\begin{pmatrix} \Delta \underline{U}_{(a)} \\ \Delta \underline{U}_{(b)} \\ \Delta \underline{U}_{(c)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,04 \\ -125,49 - j200 \\ -125,49 - j200 \end{pmatrix} \text{ V} \quad (1.8)$$

$$\begin{pmatrix} |\Delta \underline{U}_{(a)}| \\ |\Delta \underline{U}_{(b)}| \\ |\Delta \underline{U}_{(c)}| \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,04 \\ 236,11 \\ 236,11 \end{pmatrix} \text{ V} \quad (1.9)$$

Da nicht mit dem exakten Wert von  $I_{(0)} = I_{(1)} = I_{(2)}$  gerechnet wird ist die Differenzspannung an der Fehlerstelle für die Phase a nicht genau 0.

## 2. Betriebsparameter einer 380kV-Leitung (24 Punkte)

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

$$L'_B = 919,131 \frac{\mu\text{H}}{\text{km}} \quad (2.1)$$

b. Wie groß ist die **längenbezogene symmetrische Betriebskapazität** der Leitung?

$$C'_B = 12,327 \frac{\text{nF}}{\text{km}} \quad (2.2)$$

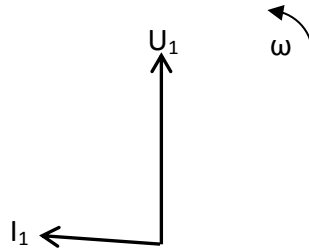
c. Wie groß ist die **komplexe Ausbreitungskonstante**  $\underline{\gamma}$  unter der zusätzlichen Annahme, dass  $G' = 0 \frac{\text{S}}{\text{km}}$ ?

$$\gamma = 1,318 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{km}} + j1,058 \cdot 10^{-3} \frac{\text{rad}}{\text{km}} \quad (2.3)$$

d. Leiten Sie für die leerlaufende und verlustlose Leitung ( $R' = 0 \frac{\Omega}{\text{km}}$ ,  $G' = 0 \frac{\text{S}}{\text{km}}$ ) **allgemein** die Scheinleistung am Leitungsanfang als Funktion  $\underline{S}_1 = f(U_1, Z_w, \text{Länge})$  her.

$$\underline{S}_1 = -j \cdot \frac{U_1^2 \tan(\beta \ell)}{Z_w} \quad (2.4)$$

e. Skizzieren Sie qualitativ das **Zeigerdiagramm** der leerlaufenden Leitung im Verbraucherzählpeilsystem (Strom & Spannung am Anfang der Leitung) und begründen Sie Ihre Darstellung.



Es handelt sich hier um einen Extremfall: eine unter Spannung gesetzte, aber unbelastete Leitung verhält sich kapazitiv. Dann fließt nämlich nur der geringe Ladestrom durch die Induktivitäten, während die Kapazitäten bereits voll aufgeladen sind.

f. Wie groß ist die **thermische Dauerstrombelastbarkeit** eines Einzeleleiters  $I_{th}$ , wenn angenommen wird, dass die natürliche Leistung der verlustlosen Leitung der thermisch übertragbaren Scheinleistung entspricht?

$$I_{th} = 267,787 \text{ A} \quad (2.5)$$

g. Wie groß sind der induktive und der kapazitive Anteil der **Blindleistung** der Leitung wenn die verlustlose Leitung mit  $I_{th}$  aus Punkt f. belastet wird?

$$Q_L = 123,021 \text{ Mvar} \quad (2.6)$$

$$Q_C = -123,021 \text{ Mvar} \quad (2.7)$$

Die **gesamte Blindleistung** einer natürlich betriebenen Leitung ist gleich null, weil sich der **induktive und kapazitive Anteil der Blindleistung** gegenseitig kompensieren!

### 3. Wirtschaftlichkeitsrechnung (24 Punkte)

a. Berechnen Sie die **maximalen Investitionskosten pro kW**, sodass die Anlage über den Förderzeitraum eine Rendite von 7% erzielt.

$$a = 1138 \frac{\text{€}}{\text{kW}} \quad (3.1)$$

b. Berechnen Sie die **maximalen Investitionskosten pro kW** in Österreich, sodass die Anlage über den Förderzeitraum eine Rendite von 7% erzielt.

$$a = 1027 \frac{\text{€}}{\text{kW}} \quad (3.2)$$

c. In welchem Land, Deutschland oder Österreich, ist die Fördersituation besser? (mit Begründung)

Da die Förderung in Deutschland höhere Investitionskosten der Anlagen deckt ist die Fördersituation in Deutschland besser

d. Wie hoch muss die **Volllaststundenzahl** einer Windkraftanlage sein, damit die Windkraftanlage ebenfalls die gleiche Rendite von 7% wie eine Photovoltaikanlage erzielt,

$$T_{wm} = 1138 \frac{h}{a} \quad (3.3)$$

#### 4. Fünf Sicherheitsregeln (4 Punkte)

Siehe Skriptum

#### 5. Theoriefragen

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