

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. Leitungsgleichungen

a. Wie groß ist der induktive Anteil der **längenbezogenen symmetrischen Betriebsreaktanz** der Leitung?

$$X'_B = 430,472 \cdot 10^{-6} \frac{\Omega}{\text{m}} \quad (1.1)$$

b. Wie groß sind **die Dämpfungs-, Phasen und Ausbreitungskonstante** der Leitung unter der zusätzlichen Annahme, dass $G' = 0 \frac{\text{S}}{\text{km}}$ und $C' = 8,5 \frac{\text{nF}}{\text{km}}$ ist? HINWEIS: Verwenden Sie die Näherung ($R \ll \omega L, G \ll \omega C$).

$$\alpha = 0,000158 \frac{1}{\text{km}} \quad (1.2)$$

$$\beta = 0,001072 \frac{\text{rad}}{\text{km}} \quad (1.3)$$

$$\gamma = \alpha + j \cdot \beta = 0,000158 \frac{1}{\text{km}} + j \cdot 0,001072 \frac{\text{rad}}{\text{km}} \quad (1.4)$$

b. Wie groß ist die **natürliche Leistung** und wie groß ist die **thermisch übertragbare Scheinleistung** der verlustlosen Leitung ($R' = 0 \frac{\Omega}{\text{km}}, G' = 0 \frac{\text{S}}{\text{km}}$).?

$$P_{\text{nat}} = 30,137 \text{ MW} \quad (1.5)$$

$$S_{\text{th}} = 122,889 \text{ MVA} \quad (1.6)$$

c. Die Leitung wird im Leerlauf betrieben. Wie groß ist die **Spannung am Ende** der verlustlosen Leitung?

$$U_2 = 115,94 \text{ kV} \quad (1.7)$$

d. Die Leitung wird an ihrem Ende mit einer dreiphasigen, induktiven Last (siehe Bild rechts) abgeschlossen und am Leitungsanfang mit Nennspannung betrieben. Wie groß ist die **Eingangsimpedanz \underline{Z}_1** der verlustlosen Leitung?

$$\underline{Z}_1 = j \cdot 162,130 \Omega \quad (1.8)$$

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

e. Die Leitung wird durch eine fremde Einwirkung an ihrem Ende kurzgeschlossen. Wie groß ist der **Kurzschlussstrom** wenn die verlustlose Leitung am Leitungsanfang mit Nennspannung betrieben wird?

Kurzschlussstrom am Anfang der Leitung:

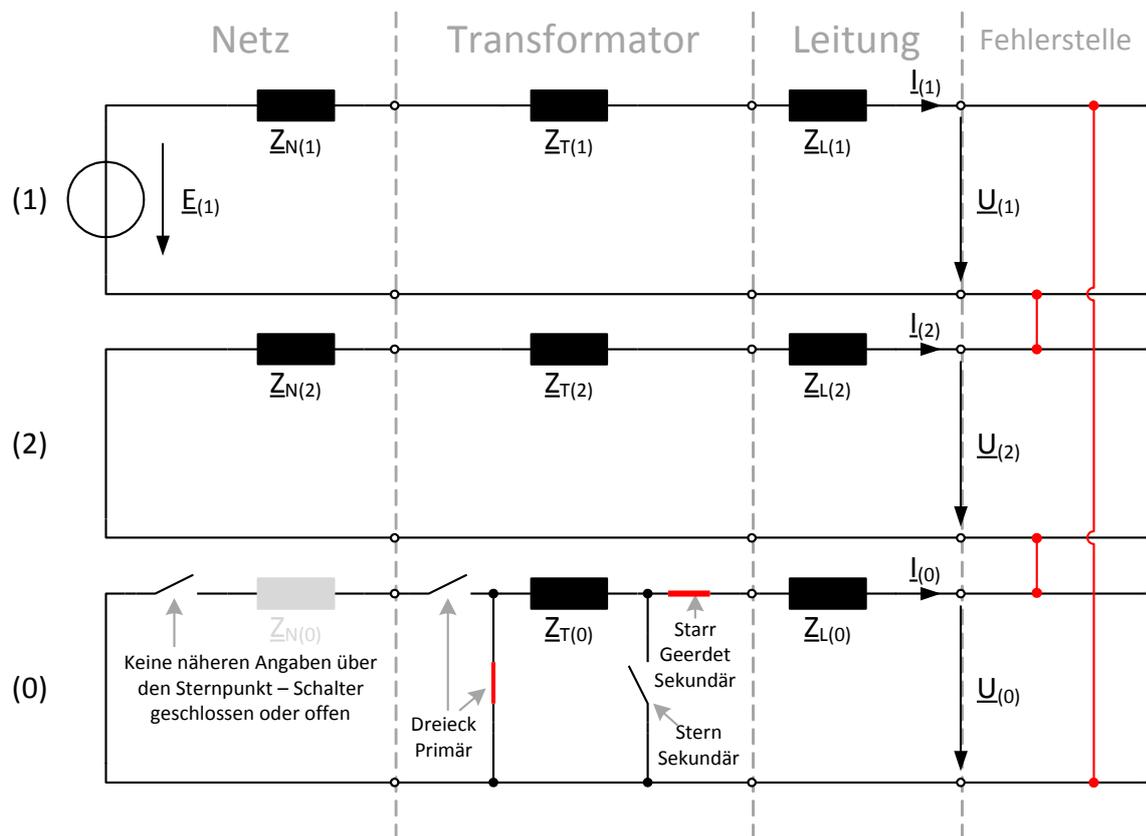
$$\begin{aligned} I_1 &= -j \cdot 474,773 \text{ A} \\ |I_1| &= 474,773 \text{ A} \end{aligned} \quad (1.9)$$

Kurzschlussstrom am Ende der Leitung:

$$\begin{aligned} I_2 &= -j \cdot 500,429 \text{ A} \\ |I_2| &= 500,429 \text{ A} \end{aligned} \quad (1.10)$$

2. Einpoliger Kurzschluss

a. Zeichnen Sie das **relevante Ersatzschaltbild** dieses Fehlerfalls im Komponentensystem (**Spannungen, Ströme, alle Impedanzen**).



b. Bestimmen Sie die wirksame **Gesamtreaktanz** der Ersatzschaltung im Mit-, Gegen- und Nullsystem.

$$X_{ges} = 27,12 \Omega \quad (2.1)$$

c. Wie groß ist der **einpolige Erdkurzschlussstrom** ($c = 1,1$)?

$$I_a = -j \cdot 2107,584 \text{ A} \quad (2.2)$$

Der Kurzschlussstrom kann auch direkt ausgedrückt werden:

$$I''_{k1p} = 2107,584 \text{ A} \quad (2.3)$$

d. Wie groß sind die **Phasenspannungen und Phasenströme** am Kurzschlussort?

$$I_a = -j \cdot 2107,584 \text{ A} \quad (2.4)$$

$$I_b = 0 \text{ A} \quad (2.5)$$

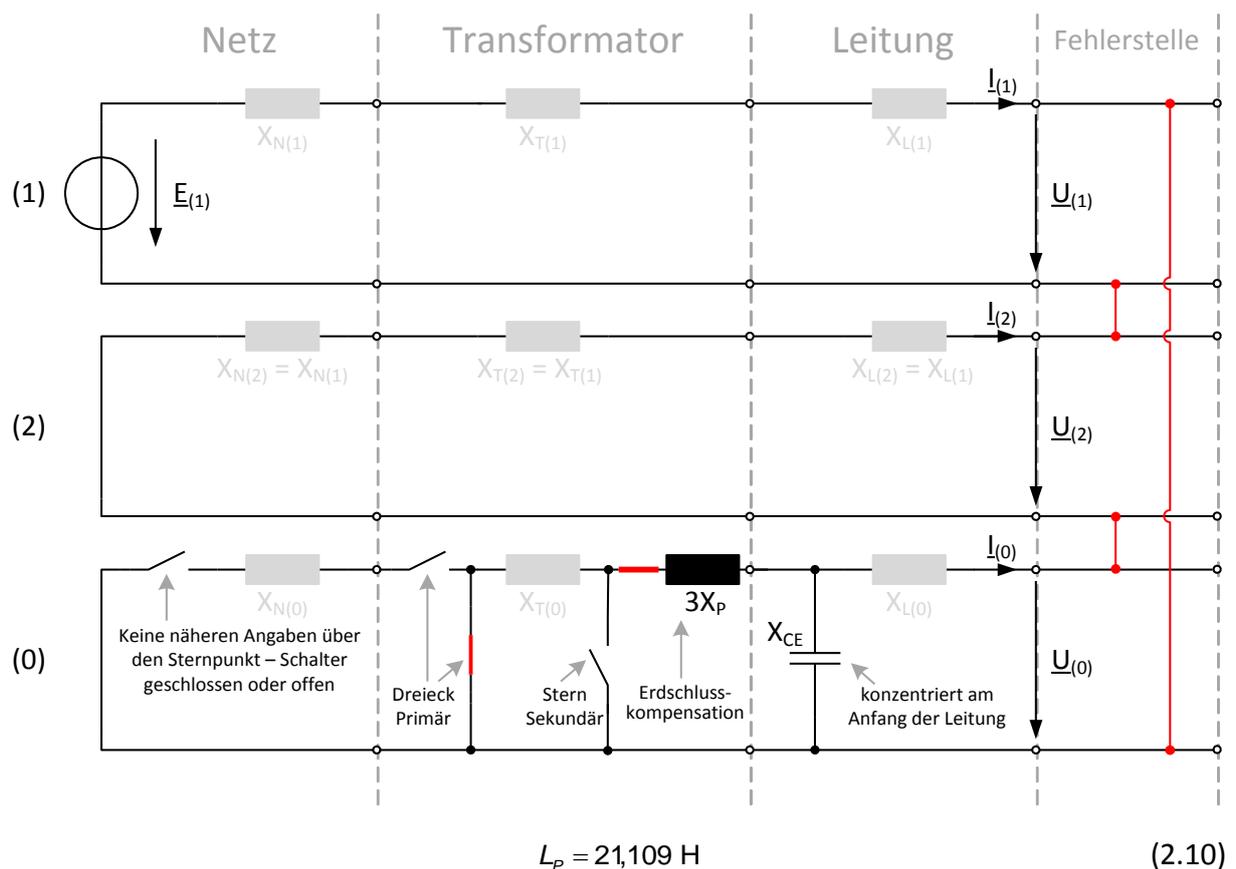
$$I_c = 0 \text{ A} \quad (2.6)$$

$$\underline{U}_a = 0 \text{ V} \quad (2.7)$$

$$\underline{U}_b = (-14753,088 - j \cdot 16500) \text{ V} \quad (2.8)$$

$$\underline{U}_c = (-14753,088 + j \cdot 16500) \text{ V} \quad (2.9)$$

e. Welchen **Induktivitätswert** müsste theoretisch eine Petersenspule bei idealer Kompensation aufweisen?



Aufgrund der Annahme, dass der betrachtete Netzabschnitt nur 10 km groß ist, ergibt sich eine große kapazitive Nullreaktanz die zu unrealistischen Werten von L_p führt.

f. Wie groß ist jetzt der **einpolige Erdkurzschlussstrom** ($c = 1,1$)?

Durch die ideale Kompensation kommt es zu einer Parallelresonanz und damit strebt der Nullwiderstand gegen Unendlich. Dadurch wird der Stromfluss durch das Nullsystem und damit auch der gesamte einpolige Erdkurzschlussstrom zu Null.

3. Wirtschaftlichkeitsvergleich

a. Ermitteln Sie die **Stromgestehungskosten** für das **Solkraftwerk**.

$$k_{Sol} = 0,287 \text{ €/kWh} \quad (3.1)$$

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

$$k_{GuD} = 0,096 \text{ €/kWh} \quad (3.2)$$

c. Wie hoch dürften die **spezifischen Errichtungskosten** vom **Solkraftwerk 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!

$$a_{Sol} = 3667 \text{ €/kW} \quad (3.3)$$

d. Um zusätzliche 24 Mio. € könnte das **Solkraftwerk** 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.)

$$k'_{Sol} = 0,275 \text{ €/kWh} \quad (3.4)$$

→ Die Investition ist sinnvoll!

4. Fünf Sicherheitsregeln

Siehe Skriptum

5. Theoriefragen

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