

Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Energieversorgung am 19.04.2016

Hinweis: Bei den Berechnungen wurden alle Zwischenergebnisse in der technischen Notation (Format ENG¹) dargestellt und auf drei Nachkommastellen gerundet. Für die weitere Rechnung wurde das gerundete Ergebnis verwendet.

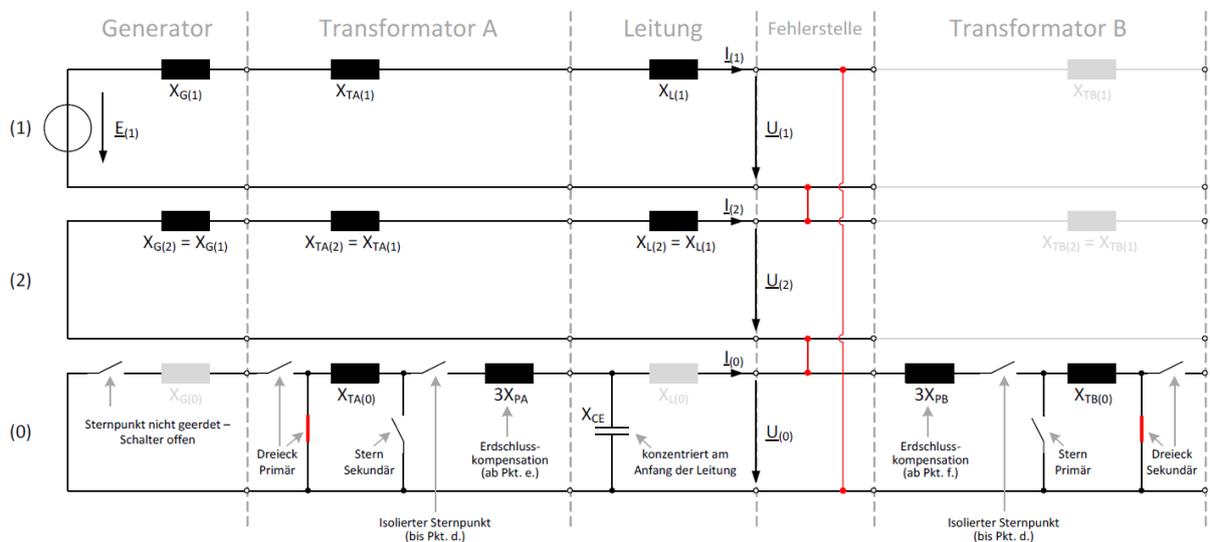
Abhängig vom Rechenweg kann es aber dennoch zu leicht abweichenden Ergebnissen kommen!

1. Einpoliger Erdschluss

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

- | | |
|----------------|--------------------------------------|
| Generator: | $R_{G(1)} = 0 \Omega$ |
| | $X_{G(1)} = 9.33 \Omega$ |
| | $Z_{G(1)} = j9.33 \Omega$ |
| Transformator: | $R_{TA(1)} = R_{TB(1)} = 0 \Omega$ |
| | $X_{TA(1)} = X_{TB(1)} = 4 \Omega$ |
| | $Z_{T(1)} = j4 \Omega$ |
| | $Z_{TA(0)} = Z_{TB(0)} = j21 \Omega$ |
| Leitung: | $Z_{L(1)} = j22.242 \Omega$ |
| | $X_{CE} = 2652.582 \Omega$ |
| | $Z_{Ges} = -j2.581 \Omega$ |

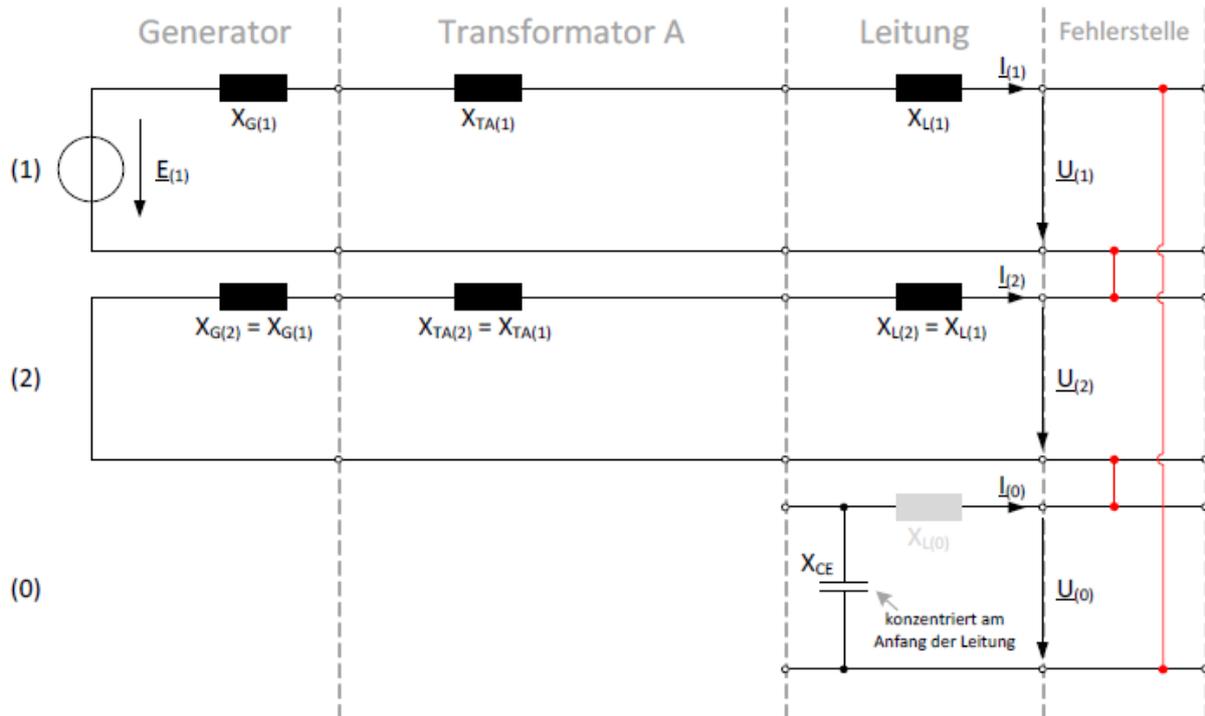
b. Zeichnen Sie das **Ersatzschaltbild** im Komponentensystem (Spannungen, Ströme, Impedanzen) für das isolierte Netz.



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

Für Punkt c. ist folgende Schaltung gültig (weglassen aller nichtrelevanten Elemente aus der vorhergehenden Darstellung von Punkt b.):

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



$$I_{k1p}'' = 14.761 \text{ A}$$

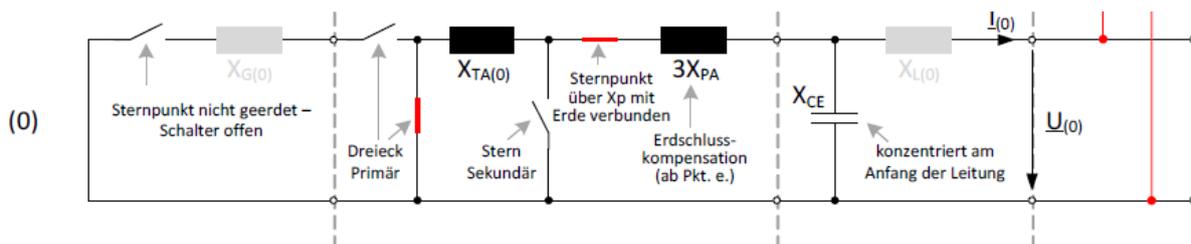
d. Leiten Sie **allgemein** die Ausdrücke für die drei **Komponentenspannungen** $\underline{U}_{(0)}$, $\underline{U}_{(1)}$ und $\underline{U}_{(2)}$ am Kurzschlussort her.

$$\underline{U}_{(1)} = \frac{\underline{E}_{(1)} \cdot (\underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_{(0)})}{2 \cdot \underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_{(0)}}$$

$$\underline{U}_{(2)} = - \frac{\underline{E}_{(1)} \cdot \underline{Z}_{(1)}}{2 \cdot \underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_{(0)}}$$

$$\underline{U}_{(0)} = - \frac{\underline{E}_{(1)} \cdot \underline{Z}_{(0)}}{2 \cdot \underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_{(0)}}$$

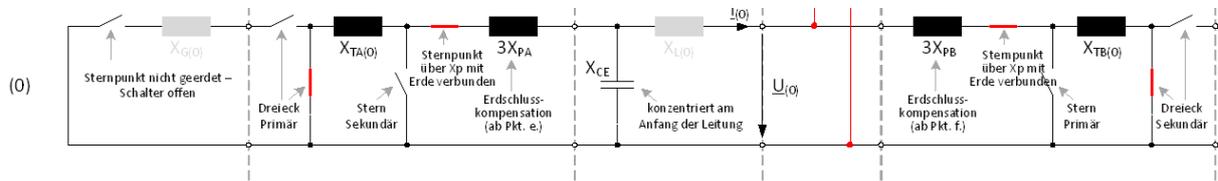
e. Anstelle der isolierten Erdung wird in den Sternpunkt des Transformators A eine Peter- sen-Spule gegen Erde geschaltet (LP). **Zeichnen Sie nur das Nullsystem des kompensier- ten Netzes** und berechnen Sie anschließend die **benötigte Induktivität L_P** der Spule, so- dass der einpolige Erdschlussstrom I_{k1p}'' Null wird.



$$L_{PA} = 3.73 \text{ H}$$

$$X_{PA} = 1.17 \cdot 10^3 \text{ } \Omega$$

f. Anstelle der isolierten Erdung des Transformators B wird in den Sternpunkt des Transformators B eine weitere Petersen-Spule gegen Erde geschaltet (L_{P2}). **Zeichnen Sie nur das Nullsystem des kompensierten Netzes** und ermitteln Sie anschließend die **Summenreaktanz der beiden Spulen**, sodass der einpolige Erdschlussstrom I''_{k1p} 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 e.

2. Betriebsparameter einer 380kV-Leitung

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

$$L_B' = 850.15 \frac{\mu H}{km}$$

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

$$C_B' = 13.28 \frac{1}{km} \cdot nF$$

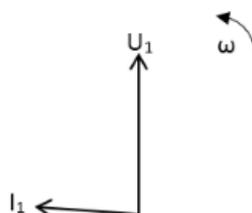
c. Wie groß ist die komplexe Ausbreitungskonstante $\underline{\gamma}$ unter der zusätzlichen Annahme, dass $G' = 0 \frac{S}{km}$? Verwenden Sie die Näherung für die Dämpfungs- und Phasenkonstante ($R' \ll \omega L', G' \ll \omega C'$):

$$\gamma = 88.94 \cdot 10^{-6} + j1.056 \cdot 10^{-3} \frac{1}{km}$$

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

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

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?

$$I_{th, ein} = 217 \text{ A}$$

- g. Wie groß ist der induktive Anteil der **Blindleistung** der Leitung wenn die verlustlose Leitung mit I_{th} belastet wird?

$$Q_{Gesamtsystem} = 108.46 \text{ MVar}$$

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

3. Barwertvergleich von Leitungssystemen

- a. Wie groß sind die **jährlichen Energieverluste** für beide Leitungssysteme?

$$V_{E,FL} = 28,277 \cdot 10^6 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

$$V_{E,KA} = 7,778 \cdot 10^6 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

- b. Wie groß sind die **jährlichen Aufwendungen** für den leistungsabhängigen Anteil der Verlustkosten für beide Leitungssysteme?

$$K_{P,FL} = 1,463 \cdot 10^6 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

$$K_{P,KA} = 382,5 \cdot 10^3 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

- c. Wie groß sind die **jährlichen Zahlungen** für beide Leitungssysteme in den ersten 9 Jahren und in den restlichen 16 Jahren?

$$Z_{FL,9a} = 4,096 \cdot 10^6 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

$$Z_{KA,9a} = 1,105 \cdot 10^6 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

$$Z_{FL,16a} = 3,276 \cdot 10^6 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

$$Z_{KA,16a} = 879,736 \cdot 10^3 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

d. Wie groß ist der **Barwert der 110kV Freileitung** zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme?

$$B_{0,FL} = 58,597 \cdot 10^6 \text{ €}$$

e. Wie groß ist der **Barwert des 110kV Kabels** zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme?

$$B_{0,KA} = 25,699 \cdot 10^6 \text{ €} \quad (0.1)$$

f. Welches Leitungssystem ist **wirtschaftlich günstiger** bezogen auf den Betrachtungszeitpunkt von 25 Jahren?

Aufgrund des deutlich niedrigeren Barwerts ist wirtschaftlich das Kabelsystem vorzuziehen!

4. Fünf Sicherheitsregeln

Siehe Skriptum

5. Theoriefragen

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