

Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Energieversorgung am 29.04.2014

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. Leitungsgleichungen

- a. Berechnen Sie die **Ausbreitungskonstanten**, den **Wellenwiderstand** und die **natürliche Leistung** der Leitung.

$$\alpha = 1,61 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{km}}$$

$$\beta = 10,55 \cdot 10^{-4} \frac{\text{rad}}{\text{km}} \quad (1.1)$$

$$\gamma = (1,61 + j10,55) \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{km}}$$

$$Z_W = (361,33 - j49,14) \Omega = 364,65^{\angle -7,75^\circ} \Omega \quad (1.2)$$

$$P_{nat} = 33,18 \text{ MW} \quad (1.3)$$

- b. Berechnen Sie die angeschlossene **Resistanz** am Ende der Leitung. Wird die Leitung mit dieser Belastung **oberhalb oder unterhalb** der **natürlichen Leistung** betrieben?

$$R = 52 \Omega \quad (1.4)$$

Die Leitung wird oberhalb der natürlichen Leistung betrieben da:

$$P_{Last} > P_{nat} \text{ bzw. } Z_{Last} < Z_W$$

- c. Berechnen Sie die **Scheinleistung** (komplex) am Leitungsanfang wenn die Eingangsimpedanz $Z_1 = (76,88 + j73,21) \Omega$ beträgt.

$$S_1 = 82,29 \text{ MW} + j78,72 \text{ MVA} \quad (1.5)$$

- d. Berechnen Sie für die **Spannung** am Leitungsende **Betrag** und **Winkel**. Wird eine **Kompensation benötigt** (mit Begründung)?

$$U_2 = (38,26 - j39,50) \text{ kV} = 54,99^{\angle -45,91^\circ} \text{ kV} \quad (1.6)$$

Die Spannung beträgt nur 50% der Nennspannung und der Winkel ist über 45°
 → Gegenmaßnahmen müssen getroffen werden!

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

e. Welchen Wert müsste die **Impedanz** (komplex) des **Verbrauchers** am Leitungsende aufweisen, damit die Spannung am Leitungsende nicht mehr als -10% vom Nennwert abweicht?

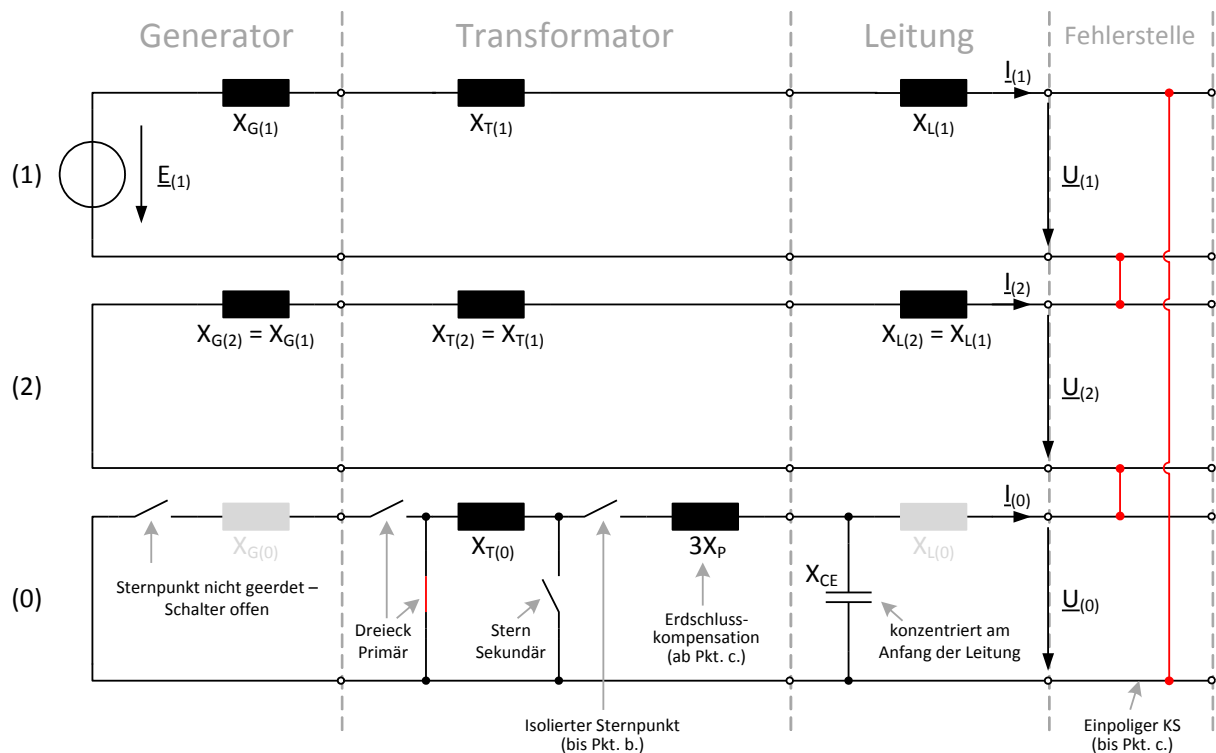
$$\underline{Z}_2 = (131,93 + j565.54) \Omega \quad (1.7)$$

f. Begründen Sie, welche **Betriebsmittel** im Falle einer Leitungskompensation des oberen Lastzustandes verwendet werden müssten, damit die Spannung am Leitungsende genau der Nennspannung entspricht? Gehen Sie auch auf die **Verschaltung** der Betriebsmittel im Netz ein!

Zuschalten von Kapazität in Serie um Induktivität der Leitung zu verkleinern oder Kapazität parallel um Kapazität der Leitung zu erhöhen.

2. Ein- und zweipoliger Kurzschluss

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



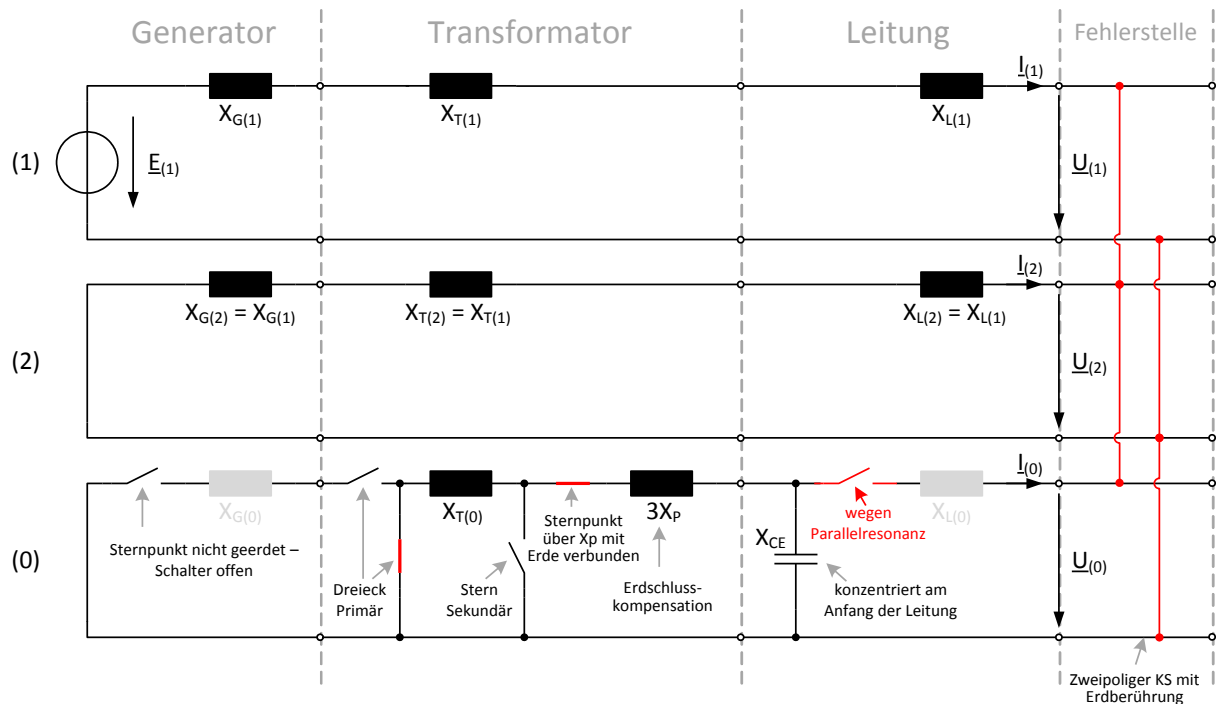
b. Wie groß ist der **Kurzschlussstrom** ($c = 1,1$)?

$$I''_{k1p} = 30,96 \text{ A} \quad (2.1)$$

c. Welchen **Induktivitätswert** muss die Petersenspule bei idealer Kompensation aufweisen?

$$L_p = 7,48 \text{ H} \quad (2.2)$$

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

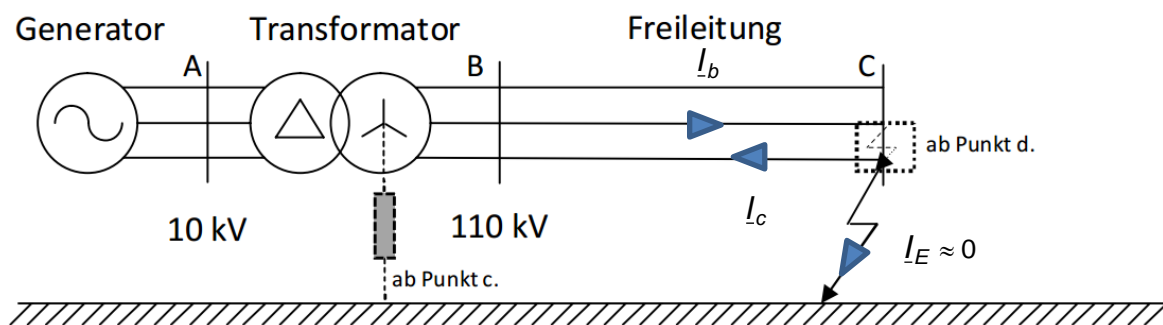


Aufgrund der Parallelresonanz ist Nullsystem nicht wirksam, daher gleiches Bild wie bei zweipoligen Kurzschluss ohne Erdberührung!

e. Wie groß ist der **zweipolige Kurzschlussstrom** ($c = 1,1$)?

$$I''_{k2p} = 409,70 \text{ A} \quad (2.3)$$

f. Zeichnen Sie die **Richtung** der **Leiterströme** in der Nähe der Fehlerstelle in die obere Skizze ein.



3. A Transformator

a. Bestimmen Sie die **Kurzschlussresistenz** R_k für die 20-kV-Seite.

$$R_k = 0,125 \Omega \quad (3.1)$$

b. Bestimmen Sie die **Leerlaufkonduktanz** G_L für die 20-kV Seite.

$$G_L = 62,5 \mu\text{S} = 62,5 \mu \frac{1}{\Omega} \quad (3.2)$$

c. Bestimmen Sie die **Leerlaufsuszeptanz** B_L für die 20-kV Seite.

$$B_L = 0,242 \text{ mS} = 0,242 \text{ m} \frac{1}{\Omega} \quad (3.3)$$

d. Bestimmen Sie den Betrag der **Kurzschlussimpedanz** Z_k für die 110-kV-Seite.

$$Z_{k_{\text{OS}}} = 45,375 \Omega \quad (3.4)$$

3. B Parallelschaltung von zwei Transformatoren

a. Welche Spannung stellt sich unterspannungsseitig im Leerlauf ein?

$$\begin{aligned} \underline{U}_{UST1} &= 19,274 \text{ kV} \\ \underline{U}_{UST1,p} &= 11,127 \text{ kV} \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} \underline{U}_{UST2} &= 19,274 \text{ kV} \\ \underline{U}_{UST2,p} &= 11,127 \text{ kV} \end{aligned} \quad (3.6)$$

b. Wie groß ist der Kreisstrom, der sich bei diesem parallelen Betrieb einstellt?

$$I_{\Delta} = 279,589 \text{ A} \quad (3.7)$$

c. Darf so ein paralleler Betrieb durchgeführt werden (Begründung)?

Ein paralleler Dauerbetrieb in dieser Art sollte vermieden werden, da schon im Leerlauf beide Transformatoren durch den parallelen Betrieb zu ca.24% durch den Kreisstrom ausgelastet sind. Die mögliche Übertragungskapazität der Transformatoren ist um diesen Auslastungswert verringert, auch werden durch den Kreisstrom erhöhte Verluste verursacht.

Im Fall einer Umschaltung während des Netzbetriebs, dürfen die Transformatoren kurzzeitig parallel betrieben werden, da der Kreisstrom viel geringer als der Kurzschlussstrom ist.

4. Fünf Sicherheitsregeln

Siehe Skriptum

5. Wirtschaftlichkeitsrechnung

a. Wie hoch sind die **Stromgestehungskosten** für das **GuD-Kraftwerk**?

$$k_{\text{GuD}} = 9,596 \frac{\text{cent}}{\text{kWh}} \quad (5.1)$$

b. Wie hoch sind die Stromgestehungskosten für das Laufwasserkraftwerk?

$$k_{\text{LWK}} = 4,512 \frac{\text{cent}}{\text{kWh}} \quad (5.2)$$

c. Bedingt durch sehr kalte Winter und unerwartete Reparaturen erreicht das Laufwasserkraftwerk nicht seine Sollstundenanzahl. **Unter welche Volllaststundenzahl** darf das Laufkraftwerk **nicht sinken** um noch günstiger als das GuD-KW (dieses bleibt bei seiner Sollstundenanzahl) produzieren zu können?

$$T'_m \geq 2,44 \cdot 10^3 \text{ h} \quad (5.3)$$

e. Der Preis für Grundlast liegt derzeit bei 0,055 €/kWh. **Welches der Kraftwerke** wäre basierend auf diesem Preis und für die gegebene Nutzungsdauer **wirtschaftlicher** (kurze Begründung)?

Das Laufwasserkraftwerk, da damit ein Überschuss bei Grundlast erwirtschaftet werden kann.