

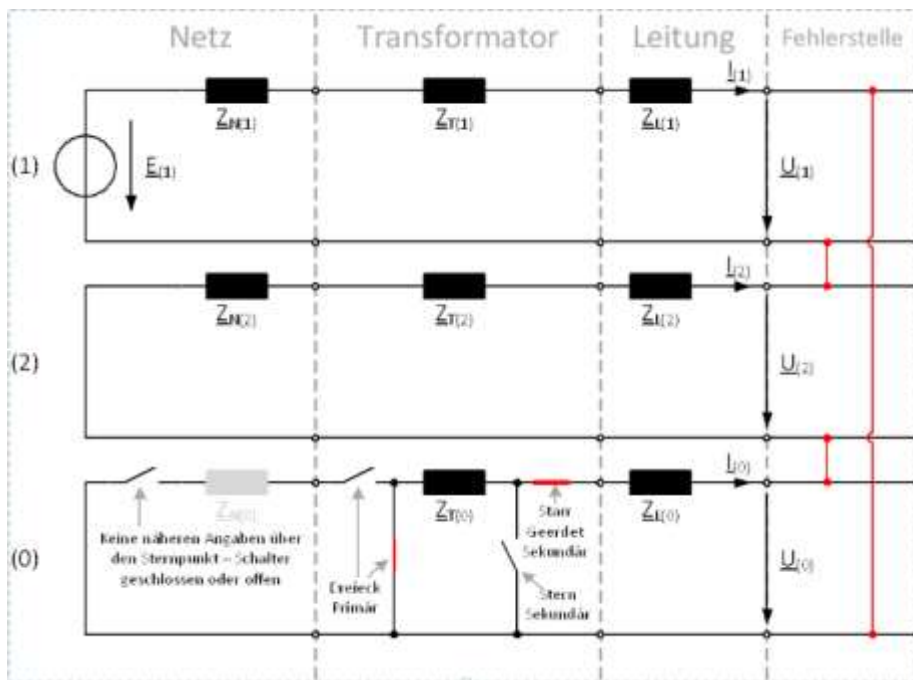
**Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Energieversorgung am 02.03.2016**

Hinweis: Bei den Berechnungen wurden alle Zwischenergebnisse in der technischen Notation (Format ENG<sup>1</sup>) 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 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.

$$Z_{ges} = j23.42 \Omega$$

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

$$I_a = -j2187.44 \text{ A}$$

$$I''_{k1p} = 2187.44 \text{ A}$$

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

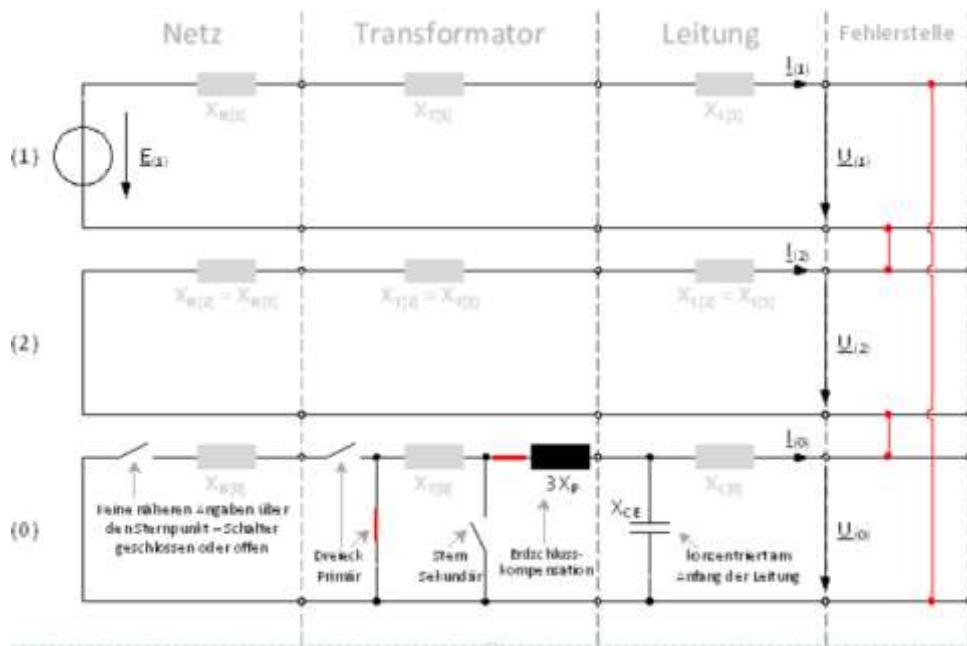
$$I_a = -j2187.44 \text{ A} \quad U_a = 0 \text{ V}$$

$$I_b = 0 \text{ A} \quad U_b = 14402.32 \angle -130.20^\circ \text{ V}$$

$$I_c = 0 \text{ A} \quad U_c = -9296.60 + j11000 \text{ V} = 14402.32 \angle 130.20^\circ \text{ V}$$

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

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

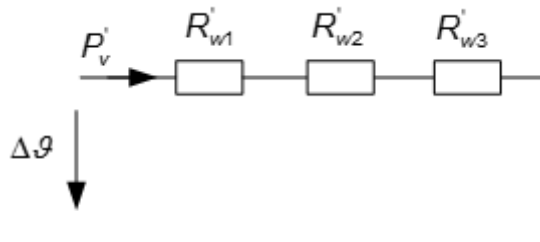


$$L_{Pet} = 22.51 \text{ H}$$

**2. Auslegung eines Erdkabels**

a. Wie groß ist der **thermische Gesamtwiderstand**? Zeichnen Sie den Ersatzschaltplan für den Wärmestrom.

$$R'_w = 1.287 \frac{\text{s}^3 \cdot \text{K}}{\text{kg} \cdot \text{m}}$$



b. Welche **Dauerstrombelastung** des Innenleiters darf nicht überschritten werden bei einem maximal zulässigen Temperaturunterschied zur Umgebung des Innenleiters von 70°C?

$$I_{therm} = 1.563 \text{ kA}$$

c. Wie groß ist die bezogene **Betriebskapazität** des Kabels ( $\epsilon_r, \text{VPE} = 2,4$ )?

$$C'_B = 177.58 \cdot 10^{-12} \frac{\text{s}^4 \cdot \text{A}^2}{\text{kg} \cdot \text{m}^3}$$

d. Berechnen Sie die **thermisch übertragbare Scheinleistung** dieses Dreiphasen-systems.

$$S_{therm} = 595.75 \text{ MVA}$$

e. Wie groß sind der **bezogene Ladestrom** und die **bezogene Ladeleistung** dieses Dreiphasensystems?

$$I'_c = 7.09 \cdot 10^{-3} \frac{A}{m}$$

$$Q'_c = 2.7 \cdot 10^3 \frac{kg \cdot m}{s^3}$$

f. Welche **Länge des Kabels** darf nicht überschritten werden damit überhaupt noch eine Übertragung elektrischer Energie möglich ist?

$$\ell_{\max} = 220.64 \text{ km}$$

Laut der Berechnung ergibt sich, dass die kapazitiven Ladeströme eines Kabels bei einer Länge von über 220,64 km die Stromtragfähigkeit des Leiters von 1563 A bereits komplett auslasten und daher keine zusätzliche Wirkleistung mehr übertragen werden kann.

### 3. Regelenergie

a. Bestimmen Sie die **Austauschleistung** jeder Regelzone **vor dem Ereignis** ( $P_{Ai \text{ soll}}$ ) und **nachdem** die **primäre Regelleistung** eingesetzt hat ( $P_{i \text{ Messung}}$ ).

$$P_{A1\_Soll} = 170 \text{ MW}$$

$$P_{A2\_Soll} = -280 \text{ MW}$$

$$P_{A3\_Soll} = 110 \text{ MW}$$

$$P_{Mes1} = 190 \text{ MW}$$

$$P_{Mes2} = -310 \text{ MW}$$

$$P_{Mes3} = 120 \text{ MW}$$

b. Bestimmen Sie die **Regelzonenfehler**  $G_i$  für jede RZ. Welcher von drei Sekundärregler wird die Ausgangsleistung der sekundärregulierten Kraftwerke in seiner Regelzone erhöhen?

$$G_1 = 0 \text{ MW}$$

$$G_2 = -60 \text{ MW}$$

$$G_3 = 0 \text{ MW}$$

c. Was werden die drei Sekundärregler nach der Berechnung der Regelzonenfehler unternehmen?

Die Sekundärregler der Regelzonen  $RZ_1$  und  $RZ_3$  sehen keinen Regelzonenfehler, werden daher nicht aktiv. Der negative Wert von  $G_2$  (60 MW) zeigt dem Sekundärregler der Regelzone  $RZ_2$ , dass das Leistungsüberschuss in seiner Regelzone verursacht wird. Er schreitet dementsprechend ein und erhöht die Ausgangsleistung der sekundärregulierten Kraftwerke in seiner Regelzone.

Kurz: Die Sekundärregler  $RZ_1$  und  $RZ_3$  werden nichts unternehmen, weil sie keine Fehler finden. Der Sekundärregler  $RZ_2$  wird die Ausgangsleistung der sekundärgeregelten Kraftwerke in seiner Regelzone auf 60 MW reduzieren.

- d. Berechnen Sie den mittleren **Leistungsbeiwert**  $C_p$  für diese Anlage mit den angegebenen Messergebnissen aus der obigen Tabelle.

$$C_p = 0,444$$

- e. Wie groß ist die **elektrische Nennleistung der Windkraftanlage**  $P_{N_{el}}$  unter Annahme des zuvor berechneten Leistungsbeiwerts?

$$P_{N_{el}} = 3.624 \text{ MW}$$

- f. **Auf welchen Anteil (in %) der Gesamtnennleistung** aus Punkt e) müsste der Windpark gedrosselt werden, sodass die ausgefallene Leistung (60MW) aus dem ersten Teil der Aufgabe gedeckt werden kann?

$$P_{Dross} = 17.23 \%$$

#### 4. Fünf Sicherheitsregeln

Siehe Skriptum

#### 5. Theoriefragen

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