

### Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Energieversorgung am 22.06.2016

**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. Leitungsgleichungen

a. Wie groß ist die **komplexe Ausbreitungskonstante**  $\underline{\gamma}$  der Freileitung?

$$\underline{\gamma} = \alpha + j \cdot \beta = j \cdot 0,0014 \frac{\text{rad}}{\text{km}} \quad (1.1)$$

b. Welche Spannung stellt sich am Ende der leerlaufenden Leitung ein, wenn am Anfang Nennspannung herrscht?

$$U_2 = 445,51 \text{ kV} \quad (1.2)$$

c. Berechnen sie die **Kompensationsimpedanz**, welche am **Ende der leerlaufenden Leitung** zugeschaltet werden muss, damit sich am Ende der Leitung ein Spannungsanstieg von **105% der Nennspannung** einstellt.

$$\underline{Z}_2 = j \cdot 1,147 \text{ k}\Omega \quad (1.3)$$

d. Für welche Scheinleistung muss die Kapazität bzw. Induktivität des **Bauelements für die Kompensation** der Leitung nach Punkt c. dimensioniert werden?

$$\underline{S} = -j \cdot 139,636 \text{ MVA} \quad (1.4)$$

e. Wie sollte diese Impedanz mit der **Leitung verschaltet** werden (mit Begründung)?

$$P_2 < P_{nat} \quad (1.5)$$

Parallelschaltung  $\rightarrow$  Verkleinerung der Kapazität (induktive Parallelkompensation ist günstiger bei Höchstspannungsleitungen aufgrund des geringeren Leitungswinkel im Vergleich zur Serienschaltung einer Induktivität)

f. Berechnen Sie die **Spannung am Leitungsende** nach dem Kompensationsvorgang, wenn am Anfang der Leitung Nennspannung herrscht.

$$U_2 = 390,54 \text{ kV} \quad (1.6)$$

g. Die thermisch zulässige Leistung dieser Leitung soll der doppelten natürlichen Leistung entsprechen. Wie groß ist in diesem Fall der **zulässige Strom eines Einzelleiters**?

$$I_{th\_Einzelleiter} = 502,02 \text{ A} \quad (1.7)$$

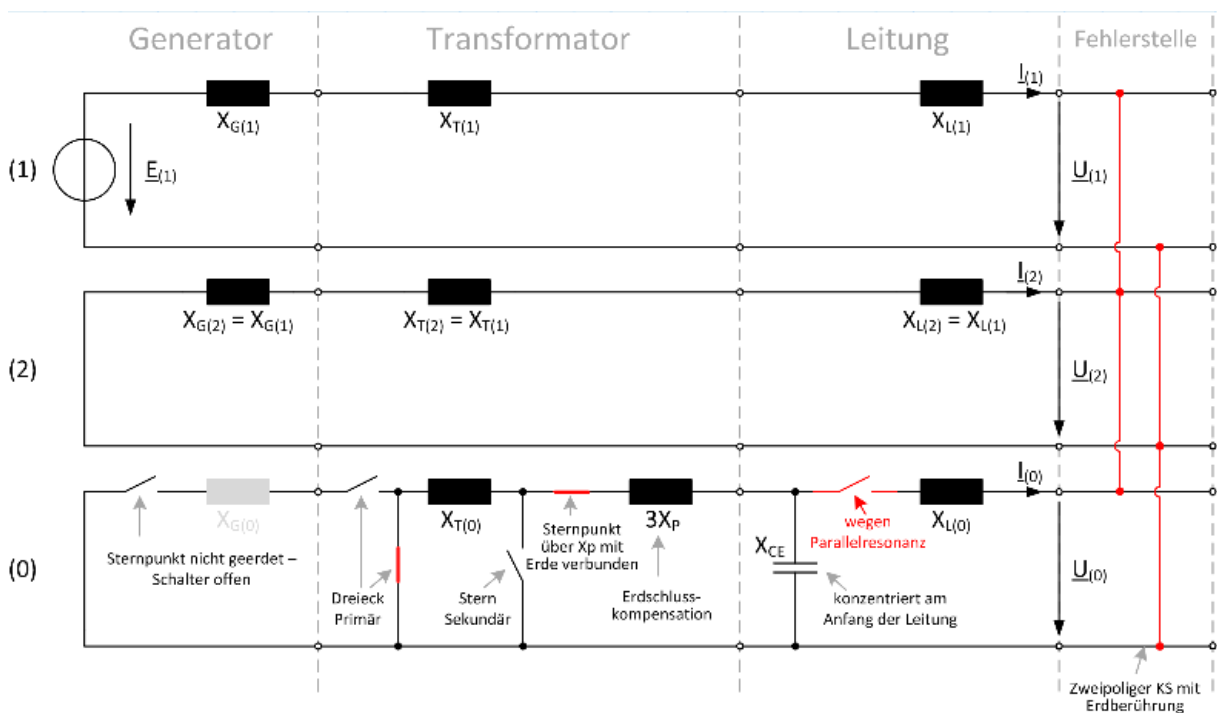
<sup>1</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Wissenschaftliche\\_Notation](http://de.wikipedia.org/wiki/Wissenschaftliche_Notation)

h. Wie groß ist die **Blindleistung am Anfang** der Leitung, wenn diese mit dem **Wellenwiderstand** abgeschlossen ist?

Wenn die Leitung mit dem Wellenwiderstand abgeschlossen ist, wird nur Wirkleistung übertragen → Der Blindleistungsbedarf ist Null

**2. Zweipoliger Kurzschluss mit Erdberührung**

a. Zeichnen Sie die **Ersatzschaltung** im Mit-, Gegen- und Nullsystem mit korrekter Verschaltung der drei Systeme für den dargestellten Kurzschlussfall



b. Berechnen Sie die wirksamen **Impedanzen** des **Generators**, des **Transformators** und der **Leitung** (in Ohm) am Kurzschlussort.

Generator:  $Z_G = j19.286 \Omega$  (2.1)

Transformator:  $Z_T = j18 \Omega$  (2.2)

Leitung:  $Z_{L,V} = j6 \Omega$  (2.3)  
 $Z_{CE} = -j2.274 \cdot 10^4 \Omega$  (2.4)

c. Berechnen Sie die Mit-, Gegen und Nullimpedanz.

$Z_{(1)} = j43.286 \Omega$  (2.5)  
 $Z_{(2)} = j43.286 \Omega$  (2.6)  
 $Z_{(0)} = \infty$  (Parallelresonanz) (2.7)

d. Wie groß ist die im Sternpunkt verwendete **Petersenspule**, sodass die Leitungskapazitäten exakt kompensiert werden?

$$L_{PET} = 24.108 \text{ H} \quad (2.8)$$

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

$$\begin{aligned} \underline{I}_{(0)} &= 0 \text{ A} \\ \underline{I}_{(1)} &= -j200.07 \text{ A} \\ \underline{I}_{(2)} &= j200.07 \text{ A} \end{aligned} \quad (2.9)(2.10)(2.11)$$

f. Wie groß sind die drei **Phasenströme**  $\underline{I}_{(a)}$ ,  $\underline{I}_{(b)}$  und  $\underline{I}_{(c)}$  am Kurzschlussort?

$$\begin{aligned} I_a &= 0 \text{ A} \\ I_b &= -346.535 \text{ A} \\ I_c &= 346.535 \text{ A} \end{aligned} \quad (2.12)(2.13)(2.14)$$

### 3. Barwertvergleich zweier Kraftwerke

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

$$k_{\text{GuD}} = 7,81 \frac{\text{cent}}{\text{kWh}} \quad (3.1)$$

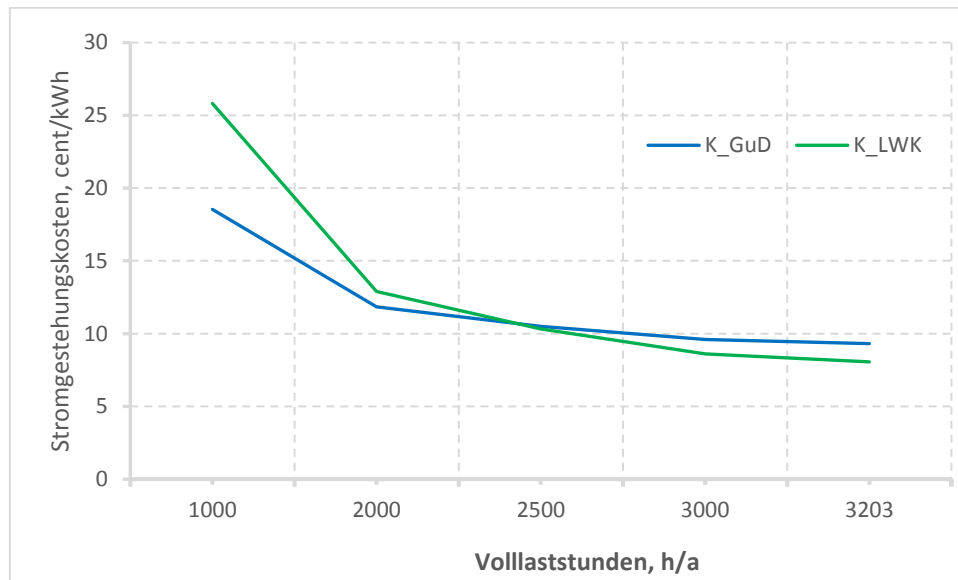
b. Wie hoch sind die **Stromgestehungskosten** für das **Laufwasserkraftwerk**?

$$k_{\text{LWK}} = 6,45 \frac{\text{cent}}{\text{kWh}} \quad (3.2)$$

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?

$$T'_m \geq 3,203 \cdot 10^3 \text{ h} \quad (3.3)$$

d. Zeichnen Sie qualitativ richtig die beiden **Stromgestehungskosten in Abhängigkeit der Volllaststunden**. Achsenbeschriftung nicht vergessen!



#### 4. Fünf Sicherheitsregeln

Siehe Skriptum

#### 5. Theoriefragen

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