

Schriftliche Prüfung aus VO Energieversorgung am 02.10.2014

Name/Vorname: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ Matr.-Nr./Knz.: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

1. Betriebsparameter einer 380kV-Leitung (24 Punkte)

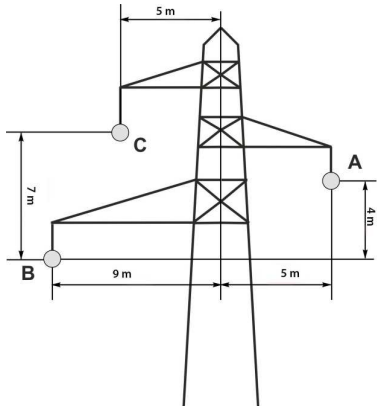


Abbildung nicht maßstäblich!

Für eine 380 kV-Leitung in einem 50 Hz Netz mit **4er-Bündeln** und einem Mastbild wie in der Abbildung sollen verschiedene Betriebsparameter ermittelt werden. Es wird angenommen, dass die Leitung über ihre Länge **verdrillt** und damit **symmetriert** wird.

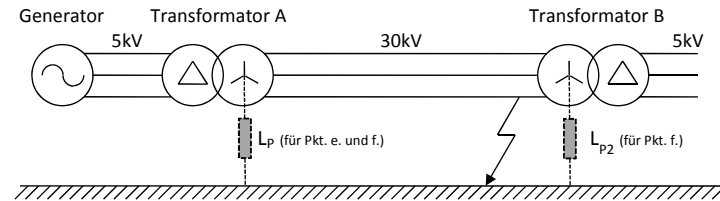
- Querschnitt Einzelleiter: 300 mm<sup>2</sup>
- Leiterabstand a im Bündel: 45 cm
- Anzahl Leiter im Bündel: 4
- Länge der Leitung: 200 km
- Gleichstromwiderstand (Einzelleiter): 0,16 Ω/km
- Stromverdrängungsfaktor bei 50 Hz:  $k_{sr} = 1,2$

- a. (6) Wie groß ist die **längenbezogene symmetrische Betriebsinduktivität** der Leitung?
- b. (3) Wie groß ist die **längenbezogene symmetrische Betriebskapazität** der Leitung?
- c. (3) 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 ( $R' \ll \omega L', G' \ll \omega C'$ ):

$$\alpha \approx \frac{R'}{2} \sqrt{\frac{C'}{L'}} + \frac{G'}{2} \sqrt{\frac{L'}{C'}} \quad \beta = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\lambda} \approx \omega \sqrt{L'C'}$$

- d. (3) 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  $\underline{S}_1 = f(\underline{U}_1, \underline{Z}_w, \text{Länge})$  her.
- e. (3) Skizzieren Sie qualitativ das **Zeigerdiagramm** der leerlaufenden Leitung im Verbraucherzählpfeilsystem (Strom & Spannung am Anfang der Leitung) und begründen Sie Ihre Darstellung.
- f. (3) Wie groß ist die **thermische Dauerstrombelastbarkeit eines Einzelleiters**  $I_{th}$ , wenn angenommen wird, dass die natürliche Leistung der verlustlosen Leitung der thermisch übertragbaren Scheinleistung entspricht?
- g. (3) Wie groß ist die induktive **Blindleistung** der Leitung wenn die verlustlose Leitung mit  $I_{th}$  belastet wird?

2. Einpoliger Erdschluss (24 Punkte)



Generator:

$$U_N = 5 \text{ kV}, S_N = 6 \text{ MVA}, x_d'' = 14\%, R/X = 0, f_N = 50 \text{ Hz}$$

Transformatoren A und B:

$$YNd5, U_1/U_2 = 30/5, S_N = 5 \text{ MVA}, u_k = 5\% \text{ (bei } P_k = 0), X_{(0)} = 18 \Omega \text{ (auf 30kV Seite im Fall eines verbundenen Sternpunkts)}$$

Sternpunkte: Transformator A offen, Transformator B offen

Freileitung:

$$L_B'_{(1)} = 1,18 \text{ mH/km}, C'_E = 15 \text{ nF/km}, l = 50 \text{ km}$$

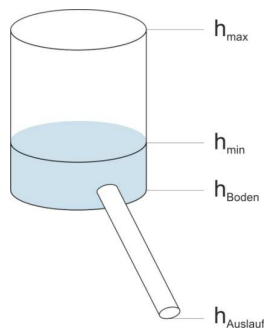
Am Ende der Freileitung ereignet sich ein einpoliger Erdschluss.

- a. (3) Bestimmen Sie die **Elemente der Ersatzschaltung** im Mit-, Gegen- und Nullsystem.
- b. (3) Zeichnen Sie das **Ersatzschaltbild** im Komponentensystem (Spannungen, Ströme, Impedanzen).
- c. (3) Wie groß ist der **Betrag des einpoligen Erdschlussstroms**  $I''_{k1p}$  ( $c=1,1$ )?
- d. (6) Leiten Sie **allgemein** die Ausdrücke für die drei **Komponentenspannungen**  $\underline{U}_{(0)}, \underline{U}_{(1)}$  und  $\underline{U}_{(2)}$  am Kurzschlussort her.
- e. (6) Anstelle der isolierten Erdung wird in den Sternpunkt des Transformators A eine Petersen-Spule gegen Erde geschaltet ( $L_p$ ). Berechnen Sie die benötigte **Induktivität  $L_p$  der Spule**, sodass der einpolige Erdschlussstrom  $I''_{k1p}$  Null wird.
- f. (3) Anstelle der isolierten Erdung wird in den Sternpunkt des Transformators B eine weitere Petersen-Spule gegen Erde geschaltet ( $L_{p2}$ ). Wie groß muss die **Summenreaktanz der beiden Spulen** sein, sodass der einpolige Erdschlussstrom  $I''_{k1p}$  Null wird?

### 3. Speicherkraftwerk (24 Punkte)

Ein Jahresspeicherkraftwerk weist folgende Kenndaten auf:

Seehöhe Stauziel	$h_{\max}$	2330 m
Seehöhe Absenkziel	$h_{\min}$	2255 m
Seehöhe Speicherboden	$h_{\text{Boden}}$	2240 m
Seehöhe Auslauf	$h_{\text{Auslauf}}$	522,5 m
Nennndurchfluss	$Q_N$	4,5 m <sup>3</sup> /s
Hydraulischer Wirkungsgrad	$\eta_H$	94 %
Turbinenwirkungsgrad	$\eta_T$	90 %
Elektrischer Wirkungsgrad	$\eta_{el}$	96 %
Eigenbedarfsfaktor	$\varepsilon$	2 %



Die natürlichen Zuflüsse des Jahresspeichers kommen aus einem Einzugsgebiet von 7,6 km<sup>2</sup> mit einer Jahresniederschlagsmenge von 2250 mm. Der mittlere natürliche Abfluss beträgt  $Q_{\text{Abfluss}} = 0,09 \text{ m}^3/\text{s}$ . Der Durchfluss  $Q_N$  und die Speicherfläche sollen als konstant über den Füllstand angenommen werden.

- (4) Berechnen Sie das **Jahresspeichervolumen** des Kraftwerks zur Aufnahme der Jahresniederschlagsmenge.
- (4) Wie groß ist das **nutzbare Speichervolumen** des Speicherbeckens? (Jahresspeichervolumen  $\neq$  nutzbares Speichervolumen!)  
*Hinweis:* Der Speicher kann maximal bis zum Absenkziel abgearbeitet werden.
- (4) Wie groß ist die **mittlere Fallhöhe** des Kraftwerks?
- (4) Wie groß ist der **nutzbare Energieinhalt** des Speichersees unter Berücksichtigung des **nutzbaren Speichervolumens**?
- (4) Wie hoch ist die mittlere **elektrische Leistung  $P_{el}$**  des Speicherkraftwerks?
- (4) Wie **lange** dauert die vollständige **Abarbeitung** der nutzbaren gespeicherten Wassermenge bis zum Absenkziel?

### 4. Fünf Sicherheitsregeln (4 Punkte)

Bringen Sie die fünf Sicherheitsregeln in die richtige Reihenfolge:

- Benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschränken
- Freischalten (d.h. allpoliges Trennen einer elektrischen Anlage von spannungsführenden Teilen)
- Spannungsfreiheit allpolig feststellen
- Gegen Wiedereinschalten sichern
- Erden und kurzschließen

### 5. Wirtschaftlichkeit eines Blockheizkraftwerks (24 Punkte)

Ein Gewerbebetrieb plant die Investition in ein Blockheizkraftwerk (BHKW) zur zusätzlichen Versorgung mit elektrischer Energie und Wärme. Der jährliche Verbrauch liegt bei 110.000 kWh elektrischer Energie und bei 430.000 kWh Nutzwärme. Derzeit wird der Wärmebedarf über einen Gaskessel und der Strombedarf aus dem elektrischen Netz gedeckt.

Energiekosten	Grundgebühr	Strom/Gas-Preis
Strom	45,6 €/a	9 ct/kWh
Erdgas	61,8 €/a	31,604 ct/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>

Gaskessel	
Wirkungsgrad	94%
Brennstoff	Erdgas

BHKW	
Errichtungskosten	25.000 €
Lebensdauer	60.000 h
Betriebsstunden	6.000 h/Jahr
Wartungskosten	2,5 ct/kWh <sub>el</sub>
Brennstoff	Erdgas
Leistung elektrisch	10 kW
Wirkungsgrad elektrisch	28%
Wirkungsgrad thermisch	60%

Der Heizwert von Erdgas beträgt: 10,05 kWh/m<sub>n</sub><sup>3</sup>

- (4) Wie hoch sind die **jährlichen Energiekosten** des Betriebs, wenn dieser seinen Wärmebedarf über den Gaskessel und den Strombedarf aus dem Netz bezieht.
- (5) Berechnen Sie die **Annuitäten (jährliche Rückzahlungen)** für die Abschreibung der Errichtungskosten des BHKWs mit einem kalkulatorischen Zinssatz von 3%.
- (5) Berechnen Sie die **jährlich erzeugbare elektrische und thermische Energie** durch das BHKW.
- (5) Wie hoch sind die **jährlichen Kosten** des Betriebs (jährlichen Energiekosten inkl. jährliche Rückzahlung) für den Fall, dass das Unternehmen in das BHKW investiert?
- (5) Welcher **Unterschied** ergibt sich zu den **Kosten** gegenüber den Annahmen in Punkt a.? Rentiert sich die Investition in das BHKW basierend auf der Betrachtung der jährlichen Energiekosten? (Begründung)