

Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Energieversorgung am 21.01.2016

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. Lastfluss- und Kurzschlussbetrachtung

- a. Berechnen sie alle **relevanten Resistenzen und Reaktanzen** aller Elemente der obigen Netzkonfiguration bezogen auf die Spannungsebene im Verknüpfungspunkt V. Verwenden Sie für den Ersatz-Generator die bezogene stationäre Reaktanz x_d .

Ersatz-Generator: $X_{Gen_V} = 480 \cdot 10^{-6} \Omega$

Transformator T1: $R_{T1_V} = 448 \cdot 10^{-6} \Omega$
 $X_{T1_V} = 2.195 \cdot 10^{-3} \Omega$

Leitung 1: $R_{L1_V} = 2.8 \cdot 10^{-3} \Omega$
 $X_{L1_V} = 1.6 \cdot 10^{-3} \Omega$

Transformator T2: $R_{L2_V} = 150 \cdot 10^{-3} \Omega$
 $X_{T2_V} = 50 \cdot 10^{-3} \Omega$

Leitung 2: $R_{L2_V} = 150 \cdot 10^{-3} \Omega$
 $X_{L2_V} = 50 \cdot 10^{-3} \Omega$

- b. Die Spannung an Sammelschiene SS4 wird auf 100% konstant gehalten. Bestimmen sie die **Spannung im Verknüpfungspunkt V** in Prozent, wenn am Verknüpfungspunkt V eine symmetrische 3-phasige Last mit $R_L = 7,5 \Omega$ pro Phase in Sternschaltung angeschlossen ist.

$$U_{V_bezogen} = 0.9804 = 98.04 \%$$

- c. Berechnen sie die wirksame **Gesamtimpedanz im Fall eines dreipoligen Kurzschlusse** und **Kurzschlussleistung** im Verknüpfungspunkt V. Verwenden Sie für den Ersatz-Generator die bezogene subtransiente Reaktanz x_d'' . Der Sicherheitsfaktor ist mit $c = 1,0$ anzunehmen.

$$Z_{ges_V} = 0.172 \Omega$$

$$S_k = 932.52 \text{ kVA}$$

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

- d. Berechnen Sie den **dreiphasigen Anfangs-Kurzschlussstrom** mit dem Sicherheitsfaktor $c = 1,1$, wenn der Kurzschluss im Verknüpfungspunkt V auftritt!

$$I''_{k3p} = 1.481 \cdot 10^3 \text{ A}$$

2. Betriebsparameter einer 380kV-Leitung

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

$$L'_B = 921.465 \frac{\mu\text{H}}{\text{km}}$$

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

$$C'_B = 12.297 \frac{1}{\text{km}} \cdot n\text{F}$$

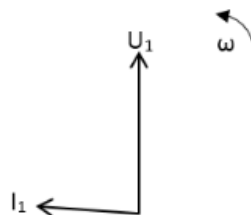
- c. Wie groß ist die **komplexe Ausbreitungskonstante** $\underline{\gamma}$ unter der zusätzlichen Annahme, dass $G' = 0 \frac{\text{S}}{\text{km}}$? Verwenden Sie die Näherung für die Dämpfungs- und Phasenkonstante ($R' \ll \omega L', G' \ll \omega C'$):

$$\gamma = 73.62 \cdot 10^{-6} + j1.06 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{km}}$$

- d. Leiten Sie für die leerlaufende und verlustlose Leitung ($R' = 0 \frac{\Omega}{\text{km}}, G' = 0 \frac{\text{S}}{\text{km}}$) **allgemein** die Scheinleistung am Leitungsanfang als Funktion $\underline{S}_1 = f(\underline{U}_1, \underline{Z}_w, \text{Länge})$ 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 Verbraucherzählpfeilsystem (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 Einzeleiters I_{th} , wenn angenommen wird, dass die natürliche Leistung der verlustlosen Leitung der thermisch übertragbaren Scheinleistung entspricht?

$$I_{th, ein} = 267.16 \text{ A}$$

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

$$Q_{\text{Gesamtsystem}} = 83.679 \text{ MVar}$$

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

3. Wasserkraft

- a. Welche **potenzielle Energie** weist der **Speicherinhalt** des **Oberbeckens** gegenüber dem Unterbecken auf?

$$E_{\text{pot}} = 19,075 \text{ GWh}$$

- b. Wie hoch ist die **elektrische Pumpleistung** P_{el} des Pumpspeicherkraftwerks, um einen Durchfluss von $Q = 80 \text{ m}^3/\text{s}$ im **Pumpbetrieb** zu erzielen?

$$P_{\text{el-pump}} = 203,86 \text{ MW}$$

- c. **Wie lange** kann unter den gegebenen Füllständen und dem Durchfluss aus Punkt (b) das Kraftwerk im **Pumpbetrieb** gefahren werden?

Hinweis: es finden keine weiteren Zu- oder Abflüsse aus Ober- und Untersee statt.

$$t = 72 \text{ h } 55 \text{ min}$$

- d. Welche **elektrische Energie** wird in dem Zeitraum aus Punkt (c) aufgenommen?

$$E_{\text{el}} = 53,513 \text{ TJ} = 14,864 \text{ GWh}$$

- e. Um wie viel erhöht sich dabei die **potenzielle Energie** des Wassers im Pumpspeicherkraftwerk?

$$\Delta E_{\text{pot}} = 41,20 \text{ TJ} = 11,445 \text{ GWh}$$

- f. Wie groß ist der **Durchmesser D der Wasserturbine**, wenn diese einen Generator mit 12 Polpaaren ($2p = 24$) antreibt, der in ein 50 Hz Netz einspeist?

$$D = 2,39 \text{ m}$$

4. Fünf Sicherheitsregeln

Siehe Skriptum

5. Theoriefragen

Richtige Lösungen: 1a, 2b, 3c, 4b, 5a, 6a, 7a, 8b, 9a, 10c, 11b, 12c, 13c, 14b, 15a, 16b, 17b, 18b, 19a, 20c, 21.1c, 21.2c, 21.3a, 22c