

Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Energieversorgung am 10.10.2017

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. Betriebsparameter einer 380kV-Leitung

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

$$L_B' = 979,79 \frac{\mu\text{H}}{\text{km}}$$

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

$$C_B' = 11,55 \frac{\text{nF}}{\text{km}}$$

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 ($R' \ll \omega L', G' \ll \omega C'$):

$$\underline{\gamma} = 84,08 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{km}} + j1,057 \cdot 10^{-3} \frac{\text{rad}}{\text{km}}$$

d. Wie groß ist die **natürliche Leistung** der Leitung, wenn sie als verlustlose Leitung betrachtet wird ($R' = 0 \Omega/\text{km}, G' = 0 \text{ S}/\text{km}$)?

$$P_{nat} = 495,84 \text{ MW}$$

e. Die verlustlose Leitung sei mit ihrem Wellenwiderstand abgeschlossen. Welcher **Spannungsbetrag** stellt sich am Ende der Leitung ein, wenn sie am Beginn mit Nennspannung betrieben wird?

$$\underline{U}_2 = (376,58 - j50,858) \text{ kV}$$

2. 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 .

Generator 1:

$$X_{Gen,V} = 0,48 \text{ m}\Omega$$

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

Trafo 1:

$$\begin{aligned}Z_{T1,V} &= 112 \text{ m}\Omega \\R_{T1,V} &= 0,112 \text{ m}\Omega \\X_{T1,V} &= 1,11 \text{ m}\Omega\end{aligned}$$

Leitung 1:

$$\begin{aligned}R_{L1,V} &= 2,8 \text{ m}\Omega \\X_{L1,V} &= 1,6 \text{ m}\Omega\end{aligned}$$

Trafo 2:

$$\begin{aligned}Z_{T2,V} &= 15,24 \text{ m}\Omega \\R_{T2,V} &= 4,03 \text{ m}\Omega \\X_{T2,V} &= 14,695 \text{ m}\Omega\end{aligned}$$

Leitung 2:

$$\begin{aligned}R_{L2,V} &= 150 \text{ m}\Omega \\X_{L2,V} &= 50 \text{ m}\Omega\end{aligned}$$

b. Die Spannung an Sammelschiene SS4 wird auf 100% konstant gehalten. Bestimmen sie die **Spannung im Verknüpfungspunkt V** in Prozent, wenn am Verknüpfungspunkt V 3 Lasten $R_{L12} = R_{L23} = R_{L31} = 6 \Omega$ in Dreieckschaltung angeschlossen sind.

$$u_{\%} = 93\%$$

c. Berechnen sie die wirksame **Gesamtipedanz im Fall eines dreipoligen Kurzschlusses** 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.

$$\begin{aligned}Z_{ges,V} &= 171 \text{ m}\Omega \\ \vartheta_1 &= \arctan \frac{X_{ges,V}}{R_{ges,V}} = 23,54^\circ \\ R_{ges} &= R_{ges,V} = 157,278 \text{ m}\Omega \\ X_{ges} &= 68,49 \text{ m}\Omega \\ Z_{K ges,V} &= 171 \text{ m}\Omega \\ S_K &= 936,55 \text{ kVA}\end{aligned}$$

- d. Berechnen Sie den **dreiphasigen Anfangs-Kurzschlussstrom** mit dem Sicherheitsfaktor $c = 1,1$, wenn der Kurzschluss auf der Sammelschiene SS1 auftritt!

$$I''_{k3p} = 11,103 \text{ kA}$$

3. Barwertvergleich von Leitungssystemen

- a. Wie groß sind die **jährlichen Energieverluste** für beide Leitungssysteme?

$$V_{E,FL} = 28,277 \cdot 10^6 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

$$V_{E,KA} = 7,779 \cdot 10^6 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

- b. Wie groß sind die **jährlichen Aufwendungen** für den leistungsabhängigen Anteil der Verlustkosten für beide Leitungssysteme?

$$K_{P,FL} = 1,425 \cdot 10^6 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

$$K_{P,KA} = 412,5 \cdot 10^3 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

- c. Wie groß sind die **jährlichen Zahlungen** für beide Leitungssysteme in den ersten 9 Jahren und in den restlichen 16 Jahren?

$$Z_{FL,9a} = 4,058 \cdot 10^6 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

$$Z_{KA,9a} = 1,138 \cdot 10^6 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

$$Z_{FL,16a} = 3,238 \cdot 10^6 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

$$Z_{KA,16a} = 912,79 \cdot 10^3 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

- d. Wie groß ist der **Barwert der 110kV Freileitung** zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme?

$$B_{0,FL} = 57,468 \cdot 10^6 \text{ €}$$

- e. Wie groß ist der **Barwert des 110kV Kabels** zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme?

$$B_{0,KA} = 25,868 \cdot 10^6 \text{ €}$$

- f. Welches Leitungssystem ist **wirtschaftlich günstiger**?

Aufgrund des deutlich niedrigeren Barwerts ist wirtschaftlich das Kabelsystem vorzuziehen!

4. Fünf Sicherheitsregeln

Siehe Skriptum

5. Theoriefragen

Richtige Lösungen: 1a, 2b, 3b, 4a, 5a, 6a, 7a, 8a, 9a, 10b, 11a, 12b, 13b, 14a, 15a, 16a, 17b, 18a, 19a, 20c, 21b, 22.1c, 22.2c, 22.3a