

### Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Energieversorgung am 08.03.2017

**Hinweis:** Bei den Berechnungen wurden alle Zwischenergebnisse in der technischen Notation<sup>1</sup> (Format ENG) dargestellt und auf zwei Nachkommastellen gerundet. Für die weitere Rechnung wurde das gerundete Ergebnis verwendet.

Abhängig vom Rechenweg kann es aber dennoch zu leicht abweichenden Ergebnissen kommen!

#### 1. Drehstromkomponentensystem

- a. Ermitteln Sie für den Punkt A die **Null-, Mit- und Gegenimpedanz** ( $\underline{Z}_{(0)A}$ ,  $\underline{Z}_{(1)A}$ ,  $\underline{Z}_{(2)A}$ ) Richtung Last gesehen.

$$\underline{Z}_{(0)} = 5 \Omega \quad (1.1)$$

$$\underline{Z}_{(2)} = \underline{Z}_{(1)} = 5 \Omega \quad (1.2)$$

- b. Berechnen Sie die **original Phasenspannungen** im Punkt A  $\underline{U}_{(a)A}$ ,  $\underline{U}_{(b)A}$ ,  $\underline{U}_{(c)A}$  bei unsymmetrischer Spannung  $\underline{U}_{(0)A} = 2\text{kV}$ ,  $\underline{U}_{(1)A} = 10\text{kV}$ ,  $\underline{U}_{(2)A} = 1\text{kV}$ .

$$\begin{pmatrix} \underline{U}_{(a)A} \\ \underline{U}_{(b)A} \\ \underline{U}_{(c)A} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 13 \\ -3,5 - j7,794 \\ -3,5 + j7,794 \end{pmatrix} \text{kV} \quad (1.3)$$

- c. Berechnen Sie die **original Phasenströme**  $\underline{I}_{(a)}$ ,  $\underline{I}_{(b)}$ ,  $\underline{I}_{(c)}$  bei dieser unsymmetrischen Spannung.

$$\begin{pmatrix} \underline{I}_a \\ \underline{I}_b \\ \underline{I}_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2,6 \\ -0,7 - j1,559 \\ -0,7 + j1,559 \end{pmatrix} \text{kA} \quad (1.4)$$

- d. Wie groß ist die **Leistung** der Last im gegebenen Betriebspunkt.

$$\underline{S}_{ges} = 63,006 \text{ kVA} \quad (1.5)$$

- e. Wie groß sind die **Phasenströme**  $\underline{I}_{(a)}$ ,  $\underline{I}_{(b)}$ ,  $\underline{I}_{(c)}$ , **Phasenspannungen**  $\underline{U}_{(a)A}$ ,  $\underline{U}_{(b)A}$ ,  $\underline{U}_{(c)A}$  und die **Leistung** der Last bei symmetrischer Spannung  $\underline{U}_{(0)A} = 0\text{kV}$ ,  $\underline{U}_{(1)A} = 10\text{kV}$ ,  $\underline{U}_{(2)A} = 0\text{kV}$ ?

$$\begin{pmatrix} \underline{U}_{(a)A} \\ \underline{U}_{(b)A} \\ \underline{U}_{(c)A} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10 \\ 10 \\ 10 \end{pmatrix} \text{kV} \quad (1.6)$$

$$\underline{I}_a = \underline{I}_b = \underline{I}_c = 2 \text{ kA} \quad (1.7)$$

$$\underline{S}_{ges} = 60 \text{ kVA} \quad (1.8)$$

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

## 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  $x_d$ .

$$X_{Gen,V} = 0,48 \text{ m}\Omega \quad (2.1)$$

Trafo 1:

$$Z_{T1} = 2,24 \text{ m}\Omega \quad (2.2)$$

Leitung 1:

$$\begin{aligned} R_{L1,V} &= 2,8 \text{ m}\Omega \\ X_{L1,V} &= 1,6 \text{ m}\Omega \end{aligned} \quad (2.3)$$

Trafo 2:

$$Z_{T2} = 15,24 \text{ m}\Omega \quad (2.4)$$

Leitung 2:

$$\begin{aligned} R_{L2} &= 150 \text{ m}\Omega \\ X_{L2} &= 50 \text{ m}\Omega \end{aligned} \quad (2.5)$$

- 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  $RL = 7,5 \Omega$  pro Phase in Stern-schaltung angeschlossen ist.

$$u_{\%} = 98,04\% \quad (2.6)$$

- c. Berechnen sie die wirksame **Gesamtimpedanz im Fall eines dreipoligen Kurzschlusses** und **Kurzschlussleistung** im Verknüpfungspunkt V. Verwenden Sie für den Ersatz-Generator die bezogene subtransiente Reaktanz  $x_d''$ .

$$\begin{aligned} Z_{ges,V} &= 171,544 \text{ m}\Omega \\ \vartheta_1 &= \arctan \frac{X_{ges,V}}{R_{ges,V}} = 23,532^\circ \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} R_{ges} &= 57,278 \text{ m}\Omega \\ X_{ges} &= 68,573 \text{ m}\Omega \\ Z_{K ges,V} &= 171,544 \text{ m}\Omega \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$S_K = 0,933 \text{ MVA} \quad (2.9)$$

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

$$i''_{k3p} = 11,103 \text{ kA} \quad (2.10)$$

## 3. Wirtschaftlichkeitsrechnung

a. (6) Berechnen Sie die **maximalen Investitionskosten pro kW**, sodass die Anlage über den Förderzeitraum eine Rendite von 7% erzielt?

$$\text{jährlicher Zinsfaktor} \quad q := 1 + \frac{p}{100\%} = 1.07$$

$$\text{Anuitätenfaktorfaktor in DE} \quad \alpha_{PV\_DE} := \left( \frac{(q-1) q^{n_{DE}}}{q^{n_{DE}} - 1} \right) \cdot \frac{1}{a} = 0.094 \frac{1}{a}$$

Die Einspeisevergütung soll die Gestehungskosten decken, es folgt:

$$\begin{aligned} k_{PV\_DE} &= (\alpha_{PV\_DE} * a + c) / T_m \\ k_{PV\_DE} &= (\alpha_{PV\_DE} * a + f_c * a) / T_m \quad a_{DE} := \frac{k_{PV\_DE} \cdot T_m}{\alpha_{PV\_DE} + f_c} = (1.119 \cdot 10^3) \frac{\text{€}}{\text{kW}} \end{aligned}$$

b. (6) Berechnen Sie die **maximalen Investitionskosten pro kW** in Österreich, sodass die Anlage über den Förderzeitraum eine Rendite von 7% erzielt.

$$\text{jährlicher Zinsfaktor} \quad q := 1 + \frac{p}{100\%} = 1.07$$

$$\text{Anuitätenfaktorfaktor in AT} \quad \alpha_{PV\_AT} := \left( \frac{(q-1) q^{n_{AT}}}{q^{n_{AT}} - 1} \right) \cdot \frac{1}{a} = 0.12 \frac{1}{a}$$

Die Einspeisevergütung soll die Gestehungskosten decken, es folgt:

$$\begin{aligned} k_{PV\_AT} &= (\alpha_{PV\_AT} * (a - I_{zu}) + c) / T_m \\ k_{PV\_AT} &= (\alpha_{PV\_AT} * (a - I_{zu}) + f_c * a) / T_m \\ a_{AT} &:= \frac{k_{PV\_AT} \cdot T_m + \alpha_{PV\_AT} \cdot I_{zu}}{\alpha_{PV\_AT} + f_c} = 925.671 \frac{\text{€}}{\text{kW}} \end{aligned}$$

c. (3) In welchem Land, Deutschland oder Österreich, ist die Fördersituation besser? (mit Begründung)

Da die Förderung in Deutschland höhere Investitionskosten der Anlagen deckt ist die Fördersituation in Deutschland besser.

d. (9) Wie hoch muss die **Volllaststundenzahl** einer Windkraftanlage sein, damit die Windkraftanlage ebenfalls die gleiche Rendite von 7% wie eine Photovoltaikanlage in Deutschland erzielt.

Aus der Kapitalwertmethode folgt:  $B_0 = A_0 + Z \cdot \beta$

Es werden also zunächst die Barwertfaktoren für die unterschiedlichen Perioden der zwei Zahlungsraten ermittelt:

Barwertfaktor für die ersten 5 Jahre  $\beta_{W0_5} := \frac{(q^{n_{W0_5}} - 1)}{(q - 1) q^{n_{W0_5}}} \cdot a = 4.1 \text{ a}$

Barwertfaktor für die weiteren 15 Jahre  $\beta_{W6_20} := \frac{(q^{n_{W6_20}} - 1)}{(q - 1) q^{n_{W6_20}}} \cdot a = 9.108 \text{ a}$

$$B_0 := k_{W0_5} \cdot \beta_{W0_5} + k_{W6_20} \cdot \beta_{W6_20} \cdot q^{-n_{W0_5}}$$

$$B_0 = T_{Wm} \cdot I_W$$

$$\text{daraus folgt: } T_{Wm} := \frac{I_W}{k_{W0_5} \cdot \beta_{W0_5} + k_{W6_20} \cdot \beta_{W6_20} \cdot q^{-n_{W0_5}}} = (1.154 \cdot 10^3) \frac{h}{a}$$

#### 4. Fünf Sicherheitsregeln

Siehe Skriptum

#### 5. Theoriefragen

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