

## Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Energieversorgung am 05.03.2014

## 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  $x_d$ .

Generator:

$$\begin{aligned} R_{Gen,V} &= 0 \, \Omega \\ X_{Gen,V} &= 0,6 \, \text{m}\Omega \end{aligned} \quad (1.1)$$

Trafo 1:

$$\begin{aligned} R_{T1,V} &= 0,512 \, \text{m}\Omega \\ X_{T1,V} &= 1,848 \, \text{m}\Omega \end{aligned} \quad (1.2)$$

Leitung 1:

$$\begin{aligned} R_{L1,V} &= 1,68 \, \text{m}\Omega \\ X_{L1,V} &= 0,96 \, \text{m}\Omega \end{aligned} \quad (1.3)$$

Trafo 2:

$$\begin{aligned} R_{T2} &= 3,63 \, \text{m}\Omega \\ X_{T2} &= 14,8 \, \text{m}\Omega \end{aligned} \quad (1.4)$$

Leitung 2:

$$\begin{aligned} R_{L2} &= 60 \, \text{m}\Omega \\ X_{L2} &= 20 \, \text{m}\Omega \end{aligned} \quad (1.5)$$

- b. Wie groß sind **Betrag und Winkel** der **Gesamtimpedanz** zwischen Sammelschiene SS1 und dem Verknüpfungspunkt V bezogen auf den die Spannungsebene im Verknüpfungspunkt V?

$$\begin{aligned} Z_{ges,V} &= 75,81 \, \text{m}\Omega \\ \vartheta_1 &= 29,74^\circ \end{aligned} \quad (1.6)$$

- c. Bestimmen Sie den **maximal zulässigen Polradwinkel** für den Synchrongenerator bei Einhaltung des Stabilitätskriteriums (Kippleistung). Verwenden Sie dazu die Ergebnisse aus Punkt b.

$$\nu_p = 60,26^\circ \quad (1.7)$$

- d. 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  $x_d''$ .

$$|Z_{K,ges,V}| = 75,85 \, \text{m}\Omega \quad (1.8)$$

$c = 1:$

$$S_K = 2,109 \text{ MVA} \quad (1.9)$$

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

$$I''_{k3p} = 3,373 \text{ kA} \quad (1.10)$$

## 2. Drehstromkomponentensystem

a. Ermitteln Sie für diese Drehstromlast entsprechend der obigen Schaltung allgemeine Ausdrücke für die **Null-, Mit- und Gegenimpedanz** ( $\underline{Z}_{(0)}, \underline{Z}_{(1)}, \underline{Z}_{(2)} = f(\underline{Z}_b)$ ).

Nullsystem:

$$\underline{Z}_{(0)} = \frac{9}{5} \underline{Z}_b \quad (2.1)$$

Mitsystem:

$$\underline{Z}_{(1)} = \frac{5}{4} \underline{Z}_b \quad (2.2)$$

Gegensystem:

$$\underline{Z}_{(2)} = \underline{Z}_{(1)} = \frac{5}{4} \underline{Z}_b \quad (2.3)$$

b. Berechnen Sie allgemein die **symmetrischen Stromkomponenten**  $\underline{I}_{(0)}, \underline{I}_{(1)}, \underline{I}_{(2)} = f(k, I_{Ph})$ .

$$\underline{I}_{(0)} = \frac{I_{Ph}}{3} \cdot (k - 1) \quad (2.4)$$

$$\underline{I}_{(1)} = \frac{I_{Ph}}{3} \cdot (k + 2) \quad (2.5)$$

$$\underline{I}_{(2)} = \frac{I_{Ph}}{3} \cdot (k - 1) \quad (2.6)$$

c. Berechnen Sie allgemein die **Spannungskomponenten**  $\underline{U}_{(0)}, \underline{U}_{(1)}, \underline{U}_{(2)} = f(\underline{Z}_b, k, I_{Ph})$ .

$$\underline{U}_{(0)} = I_{Ph} \cdot \underline{Z}_b \cdot \frac{3}{5} \cdot (k - 1)$$

$$\underline{U}_{(1)} = I_{Ph} \cdot \underline{Z}_b \cdot \frac{5}{12} \cdot (k + 2) \quad (2.7)$$

$$\underline{U}_{(2)} = I_{Ph} \cdot \underline{Z}_b \cdot \frac{5}{12} \cdot (k - 1)$$

d. Berechnen Sie allgemein die **Phasenspannung**  $\underline{U}_a = f(\underline{Z}_b, k, I_{Ph})$ .

$$\underline{U}_a = I_{Ph} \cdot \underline{Z}_b \cdot \left[ \frac{43}{30} k - \frac{11}{60} \right] = I_{Ph} \cdot \underline{Z}_b \cdot (1,433k - 0,1833) \quad (2.8)$$

- e. (2) Berechnen Sie die **Phasenspannung**  $\underline{U}_a$  mit  $\underline{Z}_b = (15 + j \cdot 5)\Omega$ ,  $k = 0,619$  und  $I_{Ph} = 13,05$  A.

$$\underline{U}_a = (137,75 + j45,92)V = 145,20 \cdot e^{j18,44^\circ}V \quad (2.9)$$

### 3. Pumpspeicherkraftwerk

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

$$E_{pot} = 61,8 \text{ TJ} \quad (3.1)$$

- b. Wie hoch ist die elektrische Nennleistung  $P_{el}$  des Pumpspeicherkraftwerks im Turbinenbetrieb

$$P_{el-turbine} = 137,68 \text{ MW} \quad (3.2)$$

- c. **Wie lange** kann unter den gegebenen Füllständen und unter Berücksichtigung der maximalen Absenkung (= minimaler Füllstand Obersee) im **Turbinenbetrieb** gefahren werden?

$$t = 33,816 \text{ h} = 33 \text{ h } 48 \text{ min } 12,72 \text{ sec} \quad (3.3)$$

- d. Wie hoch ist die **elektrische Pumpleistung**  $P_{el}$  des Pumpspeicherkraftwerks, um einen Durchfluss von  $Q_{pump} = 90 \text{ m}^3/\text{s}$  im **Pumpbetrieb** zu erzielen?

$$P_{el-pump} = 170,17 \text{ MW} \quad (3.4)$$

- e. Wie groß ist der **Gesamtwirkungsgrad** des Pumpspeichers für einen kompletten Speicherzyklus (Umwälzwirkungsgrad)?

$$\eta_{ges} = 63,31\% \quad (3.5)$$

- 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?

$$D = 2,072 \text{ m} \quad (3.6)$$

### 4. Fünf Sicherheitsregeln

Siehe Skriptum

### 5. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eines Solarkraftwerks (24 Punkte)

- a. Wie hoch sind die **Volllaststunden** für dieses Kraftwerk?

$$T_m = 2862,07 \frac{\text{h}}{\text{a}} \quad (4.1)$$

b. Wie hoch sind die **jährlich fälligen Zahlungen** (Rückzahlung Förderkredit + laufende Kosten)?

$$K = 121,724 \text{ Mio. \$} \quad (4.2)$$

c. Wie hoch ist der **Barwert der Aufwendungen am Ende der Laufzeit**? Die Anzahlung (Rest der Investitionskosten) wird zum Zeitpunkt der Errichtung getätigt, der Restwert nach Laufzeitende soll vernachlässigt werden.

$$B_{25} = 11.615,977 \text{ Mio. \$} \quad (4.3)$$

d. Wie hoch muss der **Energiepreis** (\$/kWh) der gelieferten Energie mindestens sein, damit der erwartete Gewinn am Ende der Abschreibdauer erwirtschaftet wird?

$p$  ... Energiepreis:

$$p = 0,200 \frac{\text{\$}}{\text{kWh}} \quad (4.4)$$