

Schriftliche Prüfung aus VO Energieversorgung am 05.03.2014

Name/Vorname: _____ / _____ Matr.-Nr./Knz.: _____ / _____

1. Lastfluss- und Kurzschlussbetrachtung (24 Punkte)

Gegeben sei folgende Anordnung:



- Ersatz-Generator: $U_N = 110 \text{ kV}, S_N = 400 \text{ MVA}, x_d = 150 \%, x_d'' = 25 \%,$
- Transformator T1: $U_1/U_2 = 110 \text{ kV}/20 \text{ kV}, S_N = 5 \text{ MVA}, P_k = 0,08 \text{ MW}, u_k = 6 \%$
- Transformator T2: $U_1/U_2 = 20 \text{ kV}/0,4 \text{ kV}, S_N = 630 \text{ kVA}, P_k = 9 \text{ kW}, u_k = 6 \%$
- Freileitung L1: $l = 6 \text{ km}, R' = 0,7 \Omega/\text{km}, X' = 0,4 \Omega/\text{km}$
- Kabel L2: $l = 0,2 \text{ km}, R' = 0,3 \Omega/\text{km}, X' = 0,1 \Omega/\text{km}$

Lastflussberechnungen:

- a. (11) 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 .
- b. (3) Wie groß sind **Betrag und Winkel** der **Gesamtimpedanz** zwischen Sammelschiene SS1 und dem Verknüpfungspunkt V bezogen auf den die Spannungsebene im Verknüpfungspunkt V!
- c. (2) Bestimmen Sie den **maximal zulässigen Polradwinkel** für den Synchrongenerator bei Einhaltung des Stabilitätskriteriums (Kippleistung). Verwenden Sie dazu die Ergebnisse aus Punkt b.

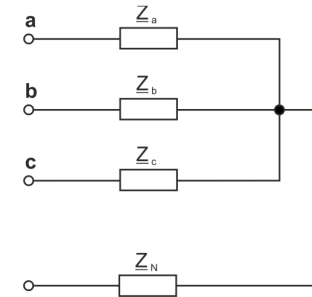
Kurzschlussberechnungen:

Hinweis: Für die folgenden Punkte sind die Berechnungen aus den Punkten b. bis c. nicht notwendig. (Die Werte aus dem Punkt a. können teilweise herangezogen werden):

- d. (5) 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'' .
- e. (3) Berechnen Sie den **dreiphasigen Anfangs-Kurzschlussstrom** mit dem Sicherheitsfaktor $c = 1,1$, wenn der Kurzschluss im Verknüpfungspunkt V auftritt!

2. Drehstromkomponentensystem (24 Punkte)

Gegeben sei folgende Drehstromlast:



Wobei gilt: $Z_a = 2 \cdot Z_b$

$$Z_b = Z_c = 5 \cdot Z_N$$

- a. (9) Ermitteln Sie für diese Drehstromlast entsprechend der obigen Schaltung allgemeine Ausdrücke für die **Null-, Mit- und Gegenimpedanz** $Z_{(0)}, Z_{(1)}, Z_{(2)} = f(Z_b)$.

Hinweis: Verwenden Sie dafür die Messvorschriften für das jeweilige System.

Diese Last wird nun an ein symmetrisches Drehstromsystem angeschlossen. Dabei ergeben sich folgende Phasenströme (Drehung zwischen den Phasen beträgt exakt 120°):

$$|I_a| = k \cdot I_{Ph}, |I_b| = I_{Ph}, |I_c| = I_{Ph}$$

Hinweis: Die folgenden Punkte sind auch ohne Punkt a. lösbar. Rechnen Sie dazu nun mit $Z_{(0)} = \frac{9}{5} \cdot Z_b, Z_{(1)} = Z_{(2)} = \frac{5}{4} \cdot Z_b$

- b. (6) Berechnen Sie allgemein die **symmetrischen Stromkomponenten** $I_{(0)}, I_{(1)}, I_{(2)} = f(k, I_{Ph})$.
- c. (3) Berechnen Sie allgemein die **Spannungskomponenten** $U_{(0)}, U_{(1)}, U_{(2)} = f(Z_b, k, I_{Ph})$.
- d. (3) Berechnen Sie allgemein die **Phasenspannung** $U_a = f(Z_b, k, I_{Ph})$.
- e. (3) Berechnen Sie die **Phasenspannung** U_a mit $Z_b = (15 + j \cdot 5) \Omega, k = 0,619$ und $I_{Ph} = 13,05 \text{ A}$.

3. Pumpspeicherkraftwerk (24 Punkte)

Ein Pumpspeicherkraftwerk weist folgende Kenndaten auf:

Volumen Obersee	V_{OS}	70 Mio. m ³
Volumen Untersee	V_{US}	35 Mio. m ³
Füllstand Obersee (Anteil vom Volumen)		60 %
Füllstand Untersee (Anteil vom Volumen)		50 %
minimaler Füllstand Obersee (Anteil vom Volumen)		40 %
mittlere Fallhöhe	h	150 m
Nenndurchfluss	Q_N	115 m ³ /s
Hydraulischer Wirkungsgrad	η_H	94 %
Turbinenwirkungsgrad	η_T	92 %
Pumpenwirkungsgrad	η_P	88 %
Elektrischer Wirkungsgrad	η_{el}	96 %
Eigenbedarfsfaktor	ε	2 %

Die mittlere Fallhöhe h und der Durchfluss Q_N sollen als konstant angenommen werden.

- (3) Welche **potenzielle Energie** weist der **Speicherinhalt** des **Oberbeckens** gegenüber dem Unterbecken auf?
- (3) Wie hoch ist die **elektrische Nennleistung** P_{el} des Pumpspeicherkraftwerks im **Turbinenbetrieb**?
- (4) **Wie lange** kann unter den gegebenen Füllständen und unter Berücksichtigung der maximalen Absenkung (= minimaler Füllstand Obersee) im **Turbinenbetrieb** gefahren werden?
- (4) 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?
- (5) Wie groß ist der **Gesamtwirkungsgrad** des Pumpspeichers für einen kompletten Speicherzyklus (Umwälzwirkungsgrad)?
- (5) 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?

Hinweis: $n = \frac{f \cdot 60 \text{ s/min}}{p}$ $D = 60 \text{ s/min} \frac{\sqrt{2g\Delta h}}{2\pi n}$

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. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eines Solarkraftwerks (24 Punkte)

Das Sonnenwärmekraftwerk Ivanpah in der Mojave-Wüste (Kalifornien, USA) weist folgende Kenndaten auf:

Nennleistung:	377 MW
jährlicher Energieertrag:	1.079 GWh/a
jährliche Lohnzahlungen:	6 Mio. \$/a
jährliche Erhaltungskosten:	2,2 Mio. \$/a
Errichtungskosten:	2.200 Mio. \$ (2,2 Mrd. \$)

Von den Errichtungskosten werden 1.600 Mio. \$ durch einen Förderkredit des US-Energieministeriums mit einem Zinssatz von 5% und einer Laufzeit von 25 Jahren gedeckt. Das Errichtungskonsortium rechnet am Ende der Laufzeit mit einem Gesamtgewinn von 3.000 Mio. \$ bei einem kalkulatorischen Zinssatz von 7%.

- (3) Wie hoch sind die **Vollaststunden** für dieses Kraftwerk?
 - (5) Wie hoch sind die **jährlich fälligen Zahlungen** (Rückzahlung Förderkredit + laufende Kosten)?
 - (9) 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.
 - (7) Wie hoch muss der **Energiepreis** (in \$/kWh) der gelieferten Energie mindestens sein, damit der erwartete Gewinn am Ende der Laufzeit erwirtschaftet wird?
- Hinweis: Der Barwert der kumulierten jährlichen Erträge bezogen auf das Ende der Laufzeit muss dem Barwert der Aufwendungen am Ende der Laufzeit aus Punkt c. plus dem Gesamtgewinn entsprechen.