

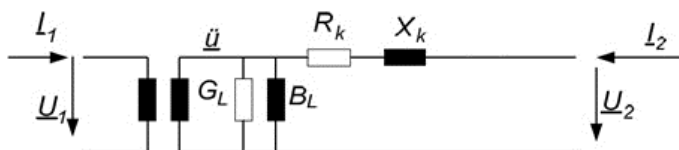
## Schriftliche Prüfung aus Energieversorgung, am 26.06.2013

Name/Vorname: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ Matr.-Nr./Knnz.: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

## 1. A Transformator (12 Punkte)

Ein Zweiwicklungstransformator hat folgende Daten und Ersatzschaltbild:

Spannungsübersetzungsverhältnis:	$U_1/U_2 = 110\text{kV}/20\text{kV}$
Nennscheinleistung:	$S_N = 40\text{ MVA}$
Kurzschlussspannung:	$u_k = 15\%$
Kurzschlusswirkverluste:	$P_k = 500\text{ kW}$
Leerlaufstrom:	$i_L = 0,25\%$
Leerlaufwirkverluste:	$P_L = 25\text{ kW}$



Hinweis: Für die Berechnung des Kurzschlussfalls können die Leerlaufverluste vernachlässigt werden!

- (3) Bestimmen Sie die **Kurzschlussresistanz  $R_k$**  für die 20-kV-Seite
- (3) Bestimmen Sie die **Leerlaufkonduktanz  $G_L$**  für die 20-kV Seite
- (3) Bestimmen Sie die **Leerlaufsuszeptanz  $B_L$**  für die 20-kV Seite
- (3) Bestimmen Sie den **Betrag der Kurzschlussimpedanz  $Z_k$**  für die 110-kV-Seite

## 1. B Parallelschaltung von zwei Transformatoren (12 Punkte)

Es werden 2 Transformatoren gleicher Schaltgruppe parallel geschaltet: Trafo 1 mit einem Spannungsübersetzungsverhältnis  $U_1/U_2 = 110\text{kV}/20\text{kV}$  und Trafo 2 mit einem Spannungsübersetzungsverhältnis  $U_1/U_2 = 118\text{kV}/20\text{kV}$ . Trafo 1 weist im gegebenen Betriebsfall unterspannungsseitig eine Kurzschlussimpedanz von  $Z_{k-US} = 1,5\Omega$  und Trafo 2 eine Kurzschlussimpedanz von  $Z_{k-US} = 1,3\Omega$ . An beiden Transformatoren liegt an der Oberspannungsseite die Spannung 110kV an.

- (4) Welche **Spannung** stellt sich **unterspannungsseitig** im Leerlauf ein?
- (4) Wie groß ist der **Kreisstrom**, der sich bei diesem parallelen Betrieb einstellt?
- (4) Darf so ein paralleler Betrieb durchgeführt werden (**Begründung**)?

## 2. Leitungsgleichungen (24 Punkte)

Gegeben ist ein 380 kV-Drehstromfreileitungssystem in einem 50 Hz Netz mit Dreierbündel und der Länge 600 km mit folgenden Parametern:

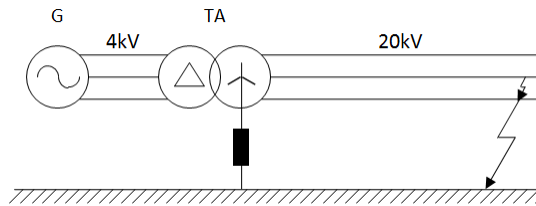
$$R' = 0; \frac{\Omega}{\text{km}}; X' = 0,25 \frac{\Omega}{\text{km}}; G' = 0 \frac{\text{S}}{\text{km}}; C' = 14 \frac{\text{nF}}{\text{km}}$$

- (3) Wie groß ist die **komplexe Ausbreitungskonstante  $\underline{\gamma}$** ?
- (3) Welche **Spannung** stellt sich **am Ende der leerlaufenden Leitung** ein?
- (6) Berechnen sie die **Kompensationsimpedanz**, damit sich am Ende der Leitung ein Spannungsanstieg von **105% der Nennspannung** einstellt.
- (3) Wie groß muss die Kapazität bzw. Induktivität des **Bauelements für die ideale Kompensation** der Leitung nach Punkt c. dimensioniert werden?
- (2) Wie soll diese Impedanz mit der **Leitung verschaltet** werden (mit Begründung)?

Verwenden Sie ab hier folgenden Wert für die Kompensationsimpedanz:  $X = j980 \Omega$ .

- (3) Berechnen Sie die **Spannung am Leitungsende** nach dem Kompensationsvorgang.
- (3) Die thermisch zulässige Leistung dieser Leitung soll der natürlichen Leistung entsprechen. Wie groß ist in diesem Fall der **zulässige Strom eines Einzelleiters**?
- (2) Wie groß ist die **Blindleistung am Anfang** der Leitung, wenn diese mit dem **Wellenwiderstand** abgeschlossen ist?

3. Zweipoliger Kurzschluss mit Erdberührung (24 Punkte)



Generator:

$U_N = 4kV, S_N = 8MVA, x_d'' = 12\%$

Transformator:

YNd5,  $U_1/U_2 = 20/4, S_N = 8 MVA, u_k = 12\%$ , (Annahme  $P_k = 0$ ),  $X_{(0)} = 18 \Omega$  (auf 20kV Seite)

Sternpunkt **exakt kompensiert** („gelöschtes Netz“)

Freileitung:

$X'_{(1)} = 0,4 \text{ Ohm/km}, X'_{(0)} = 0,75 \text{ Ohm/km}, C'_E = 11 \text{ nF/km}, l = 30 \text{ km}$

Am Ende der Freileitung ereignet sich ein **zweipoliger Kurzschluss** zwischen den Phasen b und c **mit Erdberührung** (siehe Skizze).

- a. (4) Wie groß ist die im Sternpunkt verwendete **Petersonspule**, sodass die Leitungskapazitäten exakt kompensiert werden?
- b. (3) Berechnen Sie die wirksamen **Impedanzen** des **Generators**, des **Transformators** und der **Leitung** (in Ohm) am Kurzschlussort.
- c. (3) Berechnen Sie die **Mit-, Gegen und Nullimpedanz**.
- d. (3) Zeichnen Sie die **Ersatzschaltung** im Mit-, Gegen- und Nullsystem mit korrekter Verschaltung der drei Systeme für den dargestellten Kurzschlussfall.
- e. (4) Wie groß sind die drei **Komponentenströme**  $I_{(0)}, I_{(1)}$  und  $I_{(2)}$  am Kurzschlussort?
- f. (4) Wie groß sind die drei **Phasenströme**  $I_{(a)}, I_{(b)}$  und  $I_{(c)}$  am Kurzschlussort?
- g. (3) Wie groß ist der Kurzschlussstrom im Falle eines **einpoligen Fehlers mit Erdberührung** am selben Fehlerort?

4. Fünf Sicherheitsregeln (4 Punkte)

Bringen Sie die fünf Sicherheitsregeln in die richtige Reihenfolge:

- \_\_\_ Spannungsfreiheit allpolig feststellen
- \_\_\_ Erden und kurzschließen
- \_\_\_ Gegen Wiedereinschalten sichern
- \_\_\_ Freischalten (d.h. allpoliges Trennen einer elektrischen Anlage von spannungsführenden Teilen)
- \_\_\_ Benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschränken

5. Wirtschaftlichkeitsvergleich (24 Punkte)

In einem Energieversorgungsnetz werden zusätzliche Kraftwerke gebaut und es soll dabei der wirtschaftlichste Kraftwerkstyp ausgewählt werden. Die folgenden zwei Kraftwerkstypen sind zu vergleichen:

	GuD-Kraftwerk	Laufwasserkraftwerk
spez. Errichtungskosten	700 €/ kW <sub>el</sub>	2400 €/ kW <sub>el</sub>
Zinssatz	8,4 %	8,4 %
Ausbauleistung	200 MW	200 MW
leistungsabhängige Betriebskosten	90 €/ kW <sub>el</sub> a	80 €/ kW <sub>el</sub> .a
Brennstoffkosten	siehe weitere Angabe	-
arbeitsabhängige Betriebskosten	0,001 €/ kWh <sub>el</sub>	-
Volllaststundenzahl	6800 h/a	5000 h/a
Nutzungsdauer	15 a	30 a

Das GuD-Kraftwerk wird mit Erdgas betrieben.

Heizwert von Erdgas: 30MJ/m<sup>3</sup>  
 Erdgaspreis: 1) 0,2 €/m<sup>3</sup>  
 2) 4 €/m<sup>3</sup>

GuD Gesamtwirkungsgrad: 59 %

- a. (6) Wie hoch sind die **Stromgestehungskosten** für das **GuD-Kraftwerk**:  
 a.1) bei **niedrigem Erdgaspreis**?  
 a.2) bei **hohem Erdgaspreis** ?
- b. (4) Wie hoch sind die **Stromgestehungskosten** für das **Wasserkraftwerk**?
- c. (4) Die Volllaststunden des Laufkraftwerkes sind durch den natürlichen Zufluss gegeben (fix). Bei welcher **Volllaststundenzahl** des GuD-Kraftwerkes sind die Stromgestehungskosten der Kraftwerkstypen gleich? (Erdgaspreis a.1))
- d. (6) **Zeichnen** Sie qualitativ richtig die beiden **Stromgestehungskosten** in **Abhängigkeit der Volllaststunden**. Achsenbeschriftung nicht vergessen! Weißt das GuD-Kraftwerk irgendwann niedrigere Stromgestehungskosten auf als das Wasserkraftwerk? (Erdgaspreis a.1))
- e. (4) Bedingt durch sehr kalte Winter und unerwartete Reparaturen erreicht das Laufwasserkraftwerk nicht seine Solllaufstunden von 5000 h/a. **Unter welche Volllaststundendauer** darf das Laufkraftwerk **nicht sinken**, um noch günstiger als das GuD-KW (dieses bleibt bei 6800 Volllaststunden) produzieren zu können?