

Schriftliche Prüfung aus VO Energieversorgung am 29.04.2014

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

1. Leitungsgleichungen (24 Punkte)

Gegeben ist ein 110kV-Drehstromfreileitungssystem in einem 50Hz-Netz und der Länge 200 km mit folgenden Parametern:

$$R' = 0,11; \frac{\Omega}{\text{km}}; L' = 1,2 \frac{\text{mH}}{\text{km}}; G' = 40 \frac{\text{nS}}{\text{km}}; C' = 9,4 \frac{\text{nF}}{\text{km}}$$

- a. (6) Berechnen Sie die **Ausbreitungskonstanten**, den **Wellenwiderstand** und die **natürliche Leistung** der Leitung.

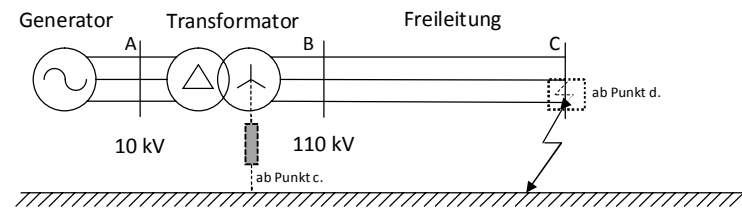
Die Leitung wird am Ende mit einer ohmschen Last belastet, die bei Nennspannung eine Wirkleistung von 232,69 MW bezieht.

- b. (3) Berechnen Sie die angeschlossene **Resistanz** am Ende der Leitung. Wird die Leitung mit dieser Belastung **oberhalb oder unterhalb** der **natürlichen Leistung** betrieben?
- c. (4) Berechnen Sie die **Scheinleistung** (komplex) am Leitungsanfang wenn die Eingangsimpedanz $Z_{\text{in}} = (76,78 + j73,45) \Omega$ beträgt.
- d. (4) Berechnen Sie für die **Spannung** am Leitungsende **Betrag** und **Winkel**. Wird eine **Kompensation benötigt** (mit Begründung)?

Hinweis: verwenden Sie $\cosh(\gamma l) = (0,978 + j0,007)$
 $\sinh(\gamma l) = (0,031 + j0,21)$

- e. (4) Welchen Wert müsste die **Impedanz** (komplex) des **Verbrauchers** am Leitungsende aufweisen, damit die Spannung am Leitungsende nicht mehr als 10 % vom Nennwert abweicht?
- f. (3) Begründen Sie, welche **Betriebsmittel** im Falle einer Leitungskompensation des oberen Lastzustandes verwendet werden müssten, damit die Spannung am Leitungsende genau der Nennspannung entspricht? Gehen Sie auch auf die **Ver-schaltung** der Betriebsmittel im Netz ein!

2. Ein- und zweipoliger Kurzschluss (24 Punkte)

Generator:

$$U_N = 10 \text{ kV}; S_N = 20 \text{ MVA}; x_d'' = 14 \%; R/X = 0$$

Transformator:

$$U_A/U_B = 10/110; S_N = 40 \text{ MVA}; u_k = 15\% \text{ (Annahme } P_k = 0);$$

$$X_0 = 30 \Omega \text{ (auf 110 kV Seite)}$$

Freileitung:

$$R' = 0; L_B' = 1,12 \text{ mH/km}; C'_E = 9 \text{ nF/km}; l = 50 \text{ km}$$

Der Sternpunkt des Transformators ist zunächst offen. An der Sammelschiene C ereignet sich ein metallischer einpoliger Kurzschluss gegen Erde:

- a. (3) Zeichnen Sie das **Ersatzschaltbild** dieses Fehlerfalls im Komponentensystem (Spannungen, Ströme, alle Impedanzen).
- b. (6) Wie groß ist der **Kurzschlussstrom** ($c = 1,1$)?

Zur Begrenzung des einpoligen Erdschlusses wird auf der 110kV-Seite des Transformators im Sternpunkt eine Petersonspule angeschlossen (siehe Bild):

- c. (3) Welchen **Induktivitätswert** muss die Petersonspule bei idealer Kompensation aufweisen?

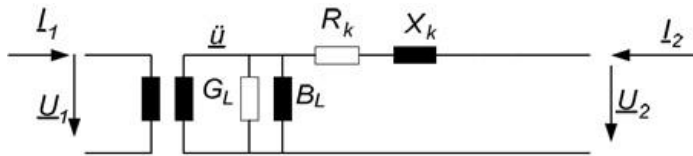
Der einpolige Kurzschluss geht in einen zweipoligen Kurzschluss mit Erdberührung über. Das Netz bleibt durch die Petersonspule aus Punkt c.) ideal kompensiert.

- d. (3) Zeichnen Sie das **Ersatzschaltbild** dieses Fehlerfalls im Komponentensystem (Spannungen, Ströme, Impedanzen).
- e. (6) Wie groß ist der **zweipolige Kurzschlussstrom** ($c = 1,1$)?
- f. (3) Zeichnen Sie die **Richtung** der **Leiterströme** in der Nähe der Fehlerstelle in die obere Skizze ein.

3. 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!

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

Hinweis: folgende Punkte sind unabhängig von den vorhergehenden Berechnungen!

3. 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.

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

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. Wirtschaftlichkeitsrechnung (24 Punkte)

In einem Energieversorgungsnetz werden zusätzliche Kraftwerke gebaut. Die folgenden zwei Kraftwerkstypen sind zu vergleichen:

	GuD-Kraftwerk	Laufwasserkraftwerk
spezifische Errichtungskosten	590 €/kW _{el}	3100 €/kW _{el}
Jährliche Stromerzeugung	2100 GWh	1560 GWh
Ausbauleistung	300 MW _{el}	300 MW _{el}
Zinssatz	5 %	4 %
leistungsabhängige Kosten	87 €/kW _{el} a	78 €/kW _{el} a
Brennstoffkosten	0,37 €/m ³ Erdgas	0 €/kWh
Gesamtwirkungsgrad	58 %	88 %
betriebsabhängige Kosten	0,001 €/kWh _{el}	0 €/kWh
Nutzungsdauer	25 a	40 a

Hinweis: Heizwert von Erdgas $H_u = 30\text{ MJ/m}^3$

- Wie hoch sind die **Stromgestehungskosten** für das **GuD-Kraftwerk**?
- Wie hoch sind die **Stromgestehungskosten** für das **Laufwasserkraftwerk**?
- Bedingt durch sehr kalte Winter und unerwartete Reparaturen erreicht das Laufwasserkraftwerk nicht seine Sollstundenanzahl. **Unter welcher Volllaststundenanzahl** darf das Laufkraftwerk **nicht sinken** um noch günstiger als das GuD-KW (dieses bleibt bei seiner Sollstundenanzahl) produzieren zu können?
- Zeichnen** Sie qualitativ richtig die beiden **Stromgestehungskosten in Abhängigkeit der Volllaststunden**. Achsenbeschriftung nicht vergessen!
- Der Preis für Grundlast liegt derzeit bei 0,055 €/kWh. **Welches der Kraftwerke** wäre basierend auf diesem Preis und für die gegebene Nutzungsdauer **wirtschaftlicher** (kurze Begründung)?