

Schriftliche Prüfung aus Energieversorgung am 05.11.2013

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

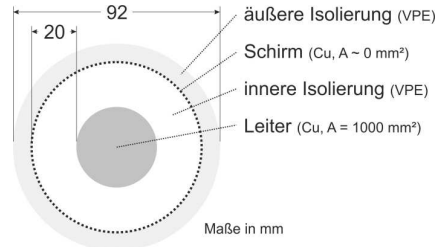
1. Thermische Auslegung eines Erdkabels (24 Punkte)

Gegeben ist ein 220kV Kupferkabel mit einem Aufbau gemäß Abbildung rechts.

Die Ableitungsverluste in der Isolierung sollen vernachlässigt werden. Auch wird der Schirm für die thermische Auslegung nicht berücksichtigt.

Die spezifischen thermischen Widerstände betragen $\rho_{W, VPE} = 3,5 \frac{K \cdot m}{W}$

$\rho_{W, Erdreich} = 2,0 \frac{K \cdot m}{W}$ → Hinweis: Das umgebende, trockene Erdreich wird bis zu einem Radius von 50 cm betrachtet!



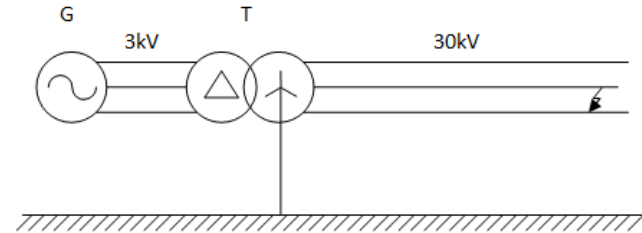
Der spezifische elektrische Widerstand von Kupfer beträgt $\rho_{Cu} = 0,0178 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$, der Stromverdrängungsfaktor für die Nennfrequenz sei 1,25.

- a. (6) Wie groß ist der **thermische Gesamtwiderstand**? Zeichnen Sie den **Ersatzschaltplan** für den Wärmestrom.
- b. (3) Welche **Dauerstrombelastung** des Innenleiters darf nicht überschritten werden bei einem maximal zulässigen Temperaturunterschied zur Umgebung des Innenleiters von 70°C?
- c. (3) Wie groß ist die bezogene **Betriebskapazität** des Kabels ($\epsilon_{r, VPE} = 2,4$)?

Mit dem Kabel aus den obigen Punkten wird ein 220kV-Dreiphasensystem mit drei (3) Einleiter-Kabel aufgebaut, die sich thermisch nicht beeinflussen:

- d. (3) Berechnen Sie die **thermisch übertragbare Scheinleistung** dieses Dreiphasensystems.
- e. (5) Wie groß sind der **bezogene Ladestrom** und die **bezogene Ladeleistung** dieses Dreiphasensystems?
- f. (4) Welche **Länge des Kabels** darf nicht überschritten werden damit überhaupt noch eine Übertragung elektrischer Energie möglich ist?

2. Zweipoliger Kurzschluss ohne Erdberührung (24 Punkte)



Generator: $U_N = 3kV, S_N = 8 MVA, x_d'' = 13\%$

Transformator:
YNd5, $U_1/U_2 = 30/3, S_N = 12 MVA, u_K = 15\%$, (Annahme $P_K = 0 kW$), $X_{(0)} = 18 \Omega$ (auf 30kV Seite)
Sternpunkt **starr geerdet**

Freileitung: $X'_1 = 0,25 \frac{\Omega}{km}, X'_0 = 0,65 \frac{\Omega}{km}, C'_E = 7,5 nF/km$, Länge: 30 km

Am Ende der Freileitung ereignet sich ein zweipoliger Kurzschluss zwischen den Phasen b und c ohne Erdberührung, der zweipolige Kurzschlussstrom beträgt $I''_{k2p} = 450 A$.

- a. (5) Wie groß sind die drei **Phasenströme** I_a, I_b und I_c am **Kurzschlussort** (**komplexe Darstellung**)?
- b. (5) Wie groß sind die drei **Komponentenströme** $I_{(0)}, I_{(1)}$ und $I_{(2)}$ am **Kurzschlussort** (**komplexe Darstellung**)?
- c. (6) Leiten Sie anhand der Ergebnisse aus Punkt b. die korrekte **Ersatzschaltung** im Mit-, Gegen- und Nullsystem für diesen Fehlerfall ab. (**mit kurzer Erklärung!**)
- d. (4) Wie groß sind die drei **Komponentenspannungen** $U_{(0)}, U_{(1)}$ und $U_{(2)}$ am Kurzschlussort?
- e. (4) Wie groß wäre der **dreipolige Kurzschlussstrom** I''_{k3p} am gleichen Kurzschlussort?

3. Ersatzschaltung des Zweiwicklungstransformators (24 Punkte)

Ein Zweiwicklungstransformator hat folgende Daten:

Spannungsübersetzungsverhältnis: $U_1/U_2 = 110kV/20kV$

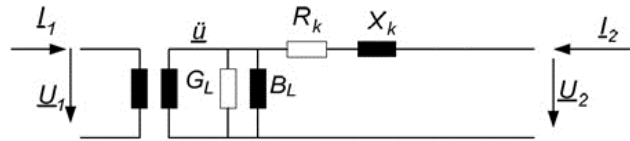
Nennscheinleistung: $S_N = 64 MVA$

Kurzschlussspannung: $u_k = 11\%$

Kurzschlusswirkverluste: $P_k = 1620 kW$

Leerlaufstrom: $i_l = 0,45\%$

Leerlaufwirkverluste: $P_L = 22 kW$



Hinweis: für die Berechnung des Kurzschlussfalles können die Leerlaufverluste vernachlässigt werden.

- (4) Bestimmen Sie den Betrag der **Kurzschlussimpedanz Z_k** für die 20-kV-Seite.
- (4) Bestimmen Sie die **Kurzschlussresistanz R_k** für die 20-kV-Seite.
- (4) Bestimmen Sie die **Kurzschlussreaktanz X_k** für die 20-kV Seite.
- (4) Bestimmen Sie die **Leerlaufkonduktanz G_L** für die 20-kV Seite.
- (4) Wie groß ist der **maximal auftretende Kurzschlussstrom** auf der 20-kV Seite?
- (4) Wie groß sind die zuvor berechneten **Impedanz und Admittanzwerte** für die **Parallelschaltung** aus zwei Transformatoren dieses Typs? (Z_k, R_k, X_k, G_L auf der 20-kV Seite)?

4. Fünf Sicherheitsregeln (4 Punkte)

Bringen Sie die fünf Sicherheitsregeln in die richtige Reihenfolge:

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

5. Barwertvergleich (24 Punkte)

In einem Verbundnetz wurden am Anfang des Jahres 2000 ein Laufwasserkraftwerk und ein GuD-Kraftwerk mit je einer Anschlussleistung von 225 MW_{el} und einer jährlichen Einspeisung von 1125 GWh errichtet. Die Errichtungskosten wurden zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme entrichtet, der Restwert der Kraftwerke am Ende der Nutzungsdauer ist vernachlässigbar. Der Zinssatz beträgt 6 %.

Weitere Kenndaten:

	GuD-Kraftwerk	Laufwasserkraftwerk
spezifische Errichtungskosten	590 €/kW _{el}	3500 €/kW _{el}
leistungsabhängige Kosten	55 €/kW _{el} ·a	65 €/kW _{el} ·a
Brennstoffkosten	0,208 €/m ³ Erdgas	0 €/kWh
Gesamtwirkungsgrad	58 %	88 %
betriebsabhängige Kosten	0,001 €/kWh _{el}	0 €/kWh _{el}
Nutzungsdauer	25 a	40 a
Heizwert von Erdgas	H _u = 30 MJ/m ³	

Der **Betrachtungszeitpunkt** ist das Jahr 2013.

- (3) Wie hoch sind die **jährlichen Kosten** für das **GuD-Kraftwerk**?
- (3) Wie hoch sind die **jährlichen Kosten** für das **Laufwasserkraftwerk**?
- (3) Wie hoch ist der **Aufzinsungsfaktor** für einen Zeitraum von der Errichtung bis zum Betrachtungszeitpunkt für beide Kraftwerke?
- (3) Wie hoch ist der **Abzinsungsfaktor** für beide Kraftwerke für einen Zeitraum vom Betrachtungszeitpunkt bis zum Ende der Nutzungsdauer der Kraftwerke?
- (3) Wie hoch ist der **Barwert** für das **GuD-Kraftwerk** zum Betrachtungszeitpunkt?
- (3) Wie hoch ist der **Barwert** für das **Laufwasserkraftwerk** zum Betrachtungszeitpunkt?
- (3) Nach 25 Jahren wird das GuD-Kraftwerk um 30 Mio. € generalsaniert, sodass sich die Nutzungsdauer um weitere 15 Jahre erhöht. Wie groß ist unter diesen Umständen der **Barwert** des **GuD-Kraftwerks** zum Betrachtungszeitpunkt?
- (3) Welches Kraftwerk ist **wirtschaftlich günstiger** für eine Nutzungsdauer von 40 Jahren bezogen auf den Betrachtungszeitpunkt?