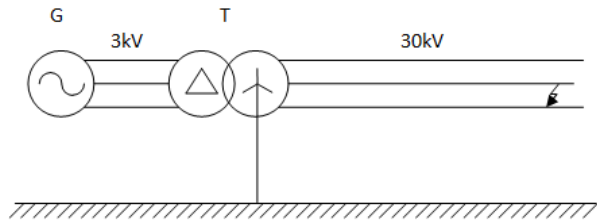


Schriftliche Prüfung aus Energieversorgung, am 09.04.2013

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

1. Zweipoliger Kurzschluss ohne Erdberührung (24 Punkte)

Generator: $U_N = 3 \text{ kV}$, $S_N = 7 \text{ MVA}$, $x_d'' = 13\%$ Transformator:YNd5, $U_1/U_2 = 30/3$, $S_N = 8 \text{ MVA}$, $u_K = 15\%$, (Annahme $P_K = 0$), $X_{(0)} = 18 \Omega$ (auf 30kV Seite)
Sternpunkt **starr geerdet**Freileitung: $X'_{(1)} = 0,3 \text{ Ohm/km}$, $X'_{(0)} = 0,7 \text{ Ohm/km}$, $C'_E = 7 \text{ nF/km}$, $l = 20 \text{ km}$

Am Ende der Freileitung ereignet sich ein zweipoliger Kurzschluss zwischen den Phasen b und c ohne Erdberührung.

Der zweipolige Kurzschlussstrom beträgt $I''_{k2p} = 417 \text{ A}$

- Wie groß sind die drei **Phasenströme** I_a , I_b und I_c am **Kurzschlussort**?
(komplexe Darstellung)
- Wie groß sind die drei **Komponentenströme** $I_{(0)}$, $I_{(1)}$ und $I_{(2)}$ am **Kurzschlussort**?
(komplexe Darstellung)
- Leiten Sie anhand der Ergebnisse aus Punkt b die korrekte **Ersatzschaltung** im Mit-, Gegen- und Nullsystem für diesen Fehlerfall ab. (mit **Erklärung!**)
- Wie groß sind die drei **Phasenströme** I_a , I_b und I_c am Ausgang des **Generators**?
(Hinweis: Skizzieren sie die Ströme im Transformator)
- Wie groß wäre der **dreipolige Kurzschlussstrom** I''_{k3p} an dem gleichen Kurzschlussort?

2. Wärmeberechnung für ein Kabel (24 Punkte)

Ein Einleiter-Kabel mit einem Leiterquerschnitt von 1.200 mm^2 (Kupfer) und einem Außendurchmesser des metallischen Mantels von 90 mm wird zur Versorgung einer Großstadt eingesetzt. Die Dicke der Isolierung und der inneren Schutzhülle beträgt $21,5 \text{ mm}$. Die Isolierung sowie die innere und äußere Schutzhülle bestehen aus VPE. Die Verluste in der Isolierung aufgrund deren Ableitungsbetrags sollen vernachlässigt werden.

Der spezifische thermische Widerstand der VPE-Isolierung beträgt $\rho_W = 6 \text{ K} \cdot \text{m}/\text{W}$ und des als trocken angenommenen Erdbodens $\rho_W = 2 \text{ K} \cdot \text{m}/\text{W}$. Der spezifische elektrische Widerstand von Kupfer beträgt $\rho = 0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, der Stromverdrängungsfaktor für die Nennfrequenz sei $1,25$.

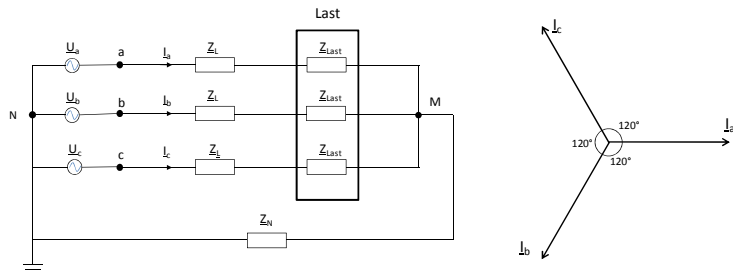
- Wie groß ist der **thermische Gesamtwiderstand** des Kabels?
Hinweis: Das umgebende Erdreich wird bis zu einem Radius von 50 cm berechnet.
- Welche **Dauerstrombelastung** des Innenleiters darf nicht überschritten werden bei einem zulässigen Temperaturunterschied zur Umgebung des Innenleiters von 70°C ?
- Wie groß ist die bezogene **Betriebskapazität** des Kabels?
Hinweis: $\epsilon_r(\text{VPE}) = 2,4$

Für die folgenden Punkte soll nun ein 380kV -Dreiphasensystem mit drei (3) Einleiter-Kabel (die sich thermische nicht beeinflussen) mit Eigenschaften aus den oberen Unterpunkten betrachtet werden.

- Berechnen Sie die **thermisch übertragbare Scheinleistung** des Dreiphasensystems.
- Wie groß sind der **bezogene Ladestrom** und die **bezogene Ladeleistung** des Dreiphasensystems?
- Ist die **Übertragung** der elektrischen Leistung bei einer Kabellänge von 140 km **möglich** (mit Begründung)?

3. Drehstromkomponentensystem (24 Punkte)

Leitungsimpedanz $Z_L = 1 \Omega$, Neutraleiterimpedanz $Z_N = 0,333 \Omega$



- a) (4) Ein symmetrischer Drehstromverbraucher in Sternschaltung (siehe Skizze) besitzt folgende Daten:

$$U = 40 \text{ V / gegen Sternpunkt}$$

$$S_{\text{Nenn}} = 1,6 \text{ kW}$$

$$\cos\varphi = 1.$$

Berechnen Sie die **komplexe Impedanz** Z_{Last} des Drehstromverbrauchers.

- b) (4) Ermitteln Sie (für das gesamte Drehstromsystem entsprechend Skizze) **Null-, Mit- und Gegenimpedanz** ($Z_{(0)}$, $Z_{(1)}$, $Z_{(2)}$).

Durch Messung werden die Ströme in den einzelnen Phasen ermittelt:

$$|I_a| = 8 \text{ A}, |I_b| = 10 \text{ A}, |I_c| = 10 \text{ A}$$

Phasenlagen entsprechend dem Zeigerdiagramm!

- c) (7) Berechnen Sie die **symmetrischen Stromkomponenten** $I_{(0)}$, $I_{(1)}$, $I_{(2)}$.
 d) (4) Berechnen Sie die **symmetrischen Spannungskomponenten** $U_{(0)}$, $U_{(1)}$, $U_{(2)}$.
 e) (5) Berechnen Sie die **Phasenspannungen** (U_a , U_b , U_c).

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. Wirtschaftlichkeitsrechnung (24)

Für eine Photovoltaikanlage soll von einer jährlichen Volllaststundenzahl von $T_{\text{voll}} = 950 \text{ h/a}$ ausgegangen werden. Die jährlichen leistungsabhängigen **Betriebskosten** werden mit **1%** der spezifischen Investitionskosten angesetzt.

Für Kleinanlagen liegt in **Deutschland** der Vergütungssatz bei **28,74 ct/kWh** (Stand Anfang 2011). Diese Förderung wird über **20 Jahre** ausbezahlt.

- a. (8) Berechnen Sie die **maximalen Investitionskosten pro kW**, sodass die Anlage über den Förderzeitraum von 20 Jahren eine jährliche **Rendite** von **6 %** erzielt.

In **Österreich** werden Photovoltaikanlagen mit **38 ct/kWh** (Stand 2011) über einen Zeitraum von **13 Jahren** gefördert.

- b. (3) Berechnen Sie die **maximalen Investitionskosten pro kW**, sodass die Anlage über den Förderzeitraum von 13 Jahren eine jährliche **Rendite** von **6 %** erzielt.
 c. (3) Begründen Sie, ob sich eine Photovoltaikanlage in Deutschland oder Österreich mehr rentiert

Anstelle der zuvor angesetzten jährlichen Rendite wird nun nur noch eine **jährliche Rendite von 3 %** verlangt.

- d. (5) Berechnen Sie wieder die **maximalen Investitionskosten pro kW** für **Deutschland** und **Österreich**, sodass die Anlage über den jeweiligen Förderzeitraum eine jährliche **Rendite** von **3 %** erzielt.
 e. (5) Beurteilen Sie auch hier, in welchem der beiden Staaten eine günstigere Fördersituation vorliegt. Begründen Sie, warum es hier gegebenenfalls zu Unterschieden kommen kann.