

Schriftliche Prüfung aus VO Energieversorgung am 14.03.2018

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

1. Thermische Auslegung eines Erdkabels (24 Punkte)

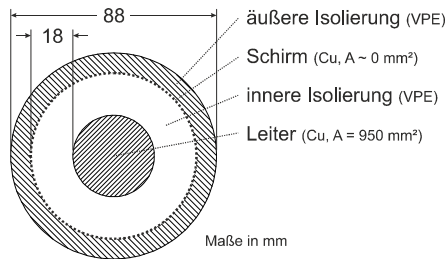
Gegeben ist ein 220kV Kupferkabel mit einem Aufbau gemäß Abbildung rechts.

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

Die spezifischen thermischen Widerstände betragen

$$\rho_{W, VPE} = 3,5 \frac{\text{K}\cdot\text{m}}{\text{W}}$$

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



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

- a. (6) Wie groß ist der **spezifische thermische Gesamtwiderstand**? Zeichnen Sie das thermische **Ersatzschaltbild** für den Wärmestrom.
- c. (3) Welche **Dauerstrombelastung** des Innenleiters darf nicht überschritten werden bei einem maximal zulässigen Temperaturunterschied zur Umgebung des Innenleiters von 70°C?
- d. (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:

- e. (3) Berechnen Sie die **thermisch übertragbare Scheinleistung** dieses Dreiphasensystems.
- f. (6) Wie groß sind der **bezogene Ladestrom** und die **bezogene Ladeleistung** dieses Dreiphasensystems?
- g. (3) Das Dreiphasensystem habe eine Länge von 50km. Wie groß ist die kapazitive **Blindleistung** des leerlaufenden Systems? Dieser Wert soll auf 40% reduziert werden. Wie groß ist die dafür notwendige **Induktivität**?

Hinweis: Die Drosseln sitzen am Anfang der Kabel und werden daher mit Nennspannung betrieben

2. Lastfluss- und Kurzschlussbetrachtung (24 Punkte)

Gegeben sei folgende Anordnung:



Ersatz-Generator:

$$U_N = 110 \text{ kV}, S_N = 500 \text{ MVA}, x_d = 150 \%, x_d'' = 26 \%$$

Transformator T1:

$$U_1/U_2 = 110 \text{ kV}/20 \text{ kV}, S_N = 5 \text{ MVA}, P_k = 0,07 \text{ MW}, u_k = 7 \%$$

Transformator T2:

$$U_1/U_2 = 20 \text{ kV}/0,4 \text{ kV}, S_N = 630 \text{ kVA}, P_k = 10 \text{ kW}, u_k = 6 \%$$

Freileitung L1:

$$l = 10 \text{ km}, R' = 0,7 \Omega/\text{km}, X' = 0,4 \Omega/\text{km}$$

Kabel L2:

$$l = 0,5 \text{ km}, R' = 0,3 \Omega/\text{km}, X' = 0,1 \Omega/\text{km}$$

Lastflussberechnungen:

- a. (10) 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. (5) Die Spannung an Sammelschiene SS4 wird auf 100% konstant gehalten. Bestimmen sie die **Spannung im Verknüpfungspunkt V** in Prozent, wenn am Verknüpfungspunkt V eine symmetrische 3-phasige Last mit  $R_L = 7,5 \Omega$  pro Phase in Sternschaltung angeschlossen ist.

Kurzschlussberechnungen:

Hinweis: Für die folgenden Punkte können die Berechnung aus Punkt a teilweise herangezogen werden):

- c. (6) Berechnen sie die wirksame **Gesamtipedanz im Fall eines dreipoligen Kurzschlusses** und **Kurzschlussleistung** im Verknüpfungspunkt V. Verwenden Sie für den Ersatz-Generator die bezogene subtransiente Reaktanz  $x_d''$ . Der Sicherheitsfaktor ist mit  $c = 1,0$  anzunehmen.
- d. (3) Berechnen Sie den **dreiphasigen Anfangs-Kurzschlussstrom** mit dem Sicherheitsfaktor  $c = 1,1$ , wenn der Kurzschluss auf der Sammelschiene SS1 auftritt!

**3. Wirtschaftlichkeitsrechnung (24 Punkte)**

Für eine Photovoltaikanlage soll von einer jährlichen Volllaststundenzahl von  $T_m = 900 \text{ h/a}$  ausgegangen werden. Die jährlichen leistungsabhängigen **Betriebskosten** werden mit **2%** der spezifischen Investitionskosten angesetzt.

Für Kleinanlagen liegt laut des Förderprogrammes in **Deutschland** im Jahr 2017 der Vergütungssatz bei **12,3 ct/kWh**. Diese Förderung wird über **20 Jahre** ausbezahlt.

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

In **Österreich** werden Photovoltaikanlagen mit **7,91 ct/kWh** über einen Zeitraum von **13 Jahren** im Jahr 2017 gefördert und für die Errichtung der Anlage ein Investitionszuschuss in Höhe von **375 €/kW** gewährt.

- b. (6) Berechnen Sie die **maximalen Investitionskosten pro kW** in Österreich, sodass die Anlage über den Förderzeitraum eine Rendite von 7% erzielt.
- c. (3) In welchem Land, Deutschland oder Österreich, ist die Fördersituation im Jahr 2017 besser? (mit Begründung)

An guten Standorten wird im Jahr 2017 **Windkraft** in den **ersten fünf Jahren** mit **8,95 ct/kWh** gefördert. Ab dem sechsten bis in das 20. Jahr wird die Grundvergütung von **5,02 ct/kWh** bezahlt. Die Investitionskosten betragen **800 €/kW**. Die Betriebskosten der Windkraftanlagen sollen hier nicht berücksichtigt werden.

- d. (9) Wie hoch muss die **Volllaststundenzahl** einer Windkraftanlage sein, damit die Windkraftanlage ebenfalls die gleiche Rendite von 7% wie eine Photovoltaikanlage erzielt.

**4. Fünf Sicherheitsregeln (4 Punkte)**

Bringen Sie die fünf Sicherheitsregeln in die richtige Reihenfolge:

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

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

**5. Theoriefragen (24 Punkte)**Richtige Antwort bitte deutlich markieren.

Hinweis: Es ist jeweils genau eine Antwort richtig! Nicht beantwortete Fragen geben 0 Punkte, falsch beantwortete Fragen werden als -0,5 Punkte gewertet. Maximale Punktzahl dieses Prüfungsteils ist 24 Punkte, minimale Punktzahl ist 0 Punkte.

1. Wie setzt sich die Erzeugung elektrischer Energie in Österreich in etwa zusammen?

- 60% Wasserkraft, 10% andere Erneuerbare, 30% fossil-thermische Kraftwerke  
 60% Wasserkraft, 30% andere Erneuerbare, 10% fossil-thermische Kraftwerke  
 60% fossil-thermische Kraftwerke, 30% Wasserkraft, 10% andere Erneuerbare

2. Wie hoch ist die Nennfrequenz im österreichischen elektrischen Energiesystem?

- 50Hz  
 60Hz  
 100Hz

3. Welche Wasserturbine ist in diesem Bild dargestellt?

- Eine Kaplan turbine  
 Eine Francisturbine  
 Eine Peltonturbine



4. Auf welche Drehzahl beschleunigt eine Peltonturbine, wenn der Generator vom Netz getrennt wird?

- Gar nicht  
 Maximal auf die doppelte Nenndrehzahl  
 Unendlich (bis zur Zerstörung der Turbine)

5. Eine Wasserkraftanlage kann mit einer Wassermenge  $Q$  von  $50\text{m}^3/\text{s}$  eine elektrische Leistung von  $40\text{MW}$  erzeugen. Welche Höhendifferenz arbeitet die Turbine ungefähr ab?

- 8m  
 80m  
 100m  
 200m

6. Wie hängt die mögliche Leistung einer Windturbine von der Windgeschwindigkeit  $v$  ab?

- Linear ( $\sim v$ )  
 Quadratisch ( $\sim v^2$ )  
 Kubisch ( $\sim v^3$ )  
 Gar nicht

7. Was ist ein Vorteil von symmetrischen Drehstromsystemen gegenüber einphasigen Wechselstromsystemen?

- Transformierbarkeit  
 Keine Blindleistung  
 Konstante Augenblicksleistung

8. Welche Betriebsmittel verhalten sich im Mit- und Gegensystem deutlich unterschiedlich?

- Leitungen  
 Transformatoren  
 Generatoren

9. Welchen Effektivwert haben die Leiter-Leiter-Spannungen in einem symmetrischen  $110\text{kV}$ -Netz?

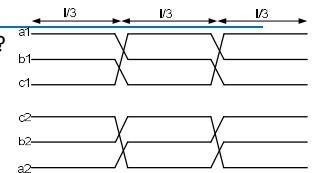
- Etwa  $110\text{kV} \cdot \sqrt{2}$   
 Etwa  $110\text{kV}$   
 Etwa  $110\text{kV}/\sqrt{3}$   
 Etwa  $110\text{kV}/\sqrt{3} \cdot \sqrt{2}$

10. Welche Auswirkung haben Bündelleiter bei Freileitungen gegenüber Einfachleitern?

- Sie erhöhen die natürliche Leistung  
 Sie reduzieren die natürliche Leistung  
 Sie reduzieren die thermische Grenzleistung

11. Auf welche Art ist die dargestellte Doppelleitung verdreht?

- $\alpha$ -Verdrillung  
  $\beta$ -Verdrillung  
  $\gamma$ -Verdrillung



12. Um welchen Winkel sind die Primär- und Sekundärspannungen eines Dy5-Transformators gegeneinander verdreht?

- Um  $5^\circ$   
 Um  $150^\circ$   
 Gar nicht. Nur die Ströme werden verdreht.

13. Welche Art von Schaltern kann Lastströme ausschalten?

- Nur Trennschalter  
 Nur Lastschalter  
 Nur Leistungsschalter  
 Last- und Leistungsschalter

14. Die Generatoren eines Wasserkraftwerkes in Österreich sollen eine synchrone Drehzahl von 200 U/min aufweisen. Welche Polpaarzahl haben die Generatorläufer?

- 10 Polpaare
- 15 Polpaare
- 30 Polpaare

15. Welche Größen sind bei der Lastflussrechnung am Slackknoten vorgegeben?

- Spannung  $U$  und Spannungswinkel  $\delta$
- Wirkleistung  $P$  und Blindleistung  $Q$
- Wirkleistung  $P$  und Spannung  $U$

16. Bei welchem Kurzschlussstromverlauf klingt das Wechselglied ab?

- Beim generatorfernen Kurzschlussstromverlauf
- Beim generatornahen Kurzschlussstromverlauf
- Beim Stoßkurzschlussstrom

17. Um welchen Faktor erhöhen sich die Leiter-Erde-Spannungen der beiden gesunden Phasen während eines einpoligen Erdschlusses in Netzen mit Erdschlusslöschspule im Sternpunkt?

- Gar nicht
- Um den Faktor  $\sqrt{2}$
- Um den Faktor  $\sqrt{3}$

18. Wie verhält sich ein untererregter Synchrongenerator bezüglich seiner Blindleistung?

- Wie eine Kapazität
- Wie eine Induktivität
- Wie ein Widerstand

19. Welche Leistung wird maßgeblich durch die Spannungsregelung eines Synchrongenerators beeinflusst?

- Die Wirkleistung
- Die Blindleistung

20. Bei welchem Erregersystem werden Schleifringe verwendet, um den Erregerstrom auf den Rotor des Generatorläufers zu übertragen?

- Beim statischen Erregersystem
- Beim dynamischen Erregersystem
- Beim bürstenlosen Erregersystem

21. Welche Regelung führt die Frequenz nach einer Frequenzabweichung wieder auf die Sollfrequenz zurück?

- Die Primärregelung
- Die Sekundärregelung
- Die Tertiärregelung

22. Welcher Marktteilnehmer ist für die Leistungs-Frequenz-Regelung in einer Regelzone verantwortlich?

- Der Regelzonenführer
- Der Netzbetreiber
- Der Bilanzgruppenkoordinator

23. Eine Windkraftanlage mit der Nennleistung 2MW speist in einem Jahr eine Energie von 5GWh in das Netz ein. An 172 Stunden im Jahr erreicht sie dabei ihre Nennleistung, den Rest des Jahres liegt ihre Leistung unterhalb der Nennleistung. Welche Volllaststunden weist diese Windkraftanlage auf?

- 172h
- 2500h
- 1720h

24. Welcher Anteil der Stromgestehungskosten wird maßgeblich durch die Kosten für die Errichtung eines Kraftwerkes beeinflusst?

- Die leistungsabhängigen Kosten
- Die arbeitsabhängigen Kosten
- Die Brennstoffkosten