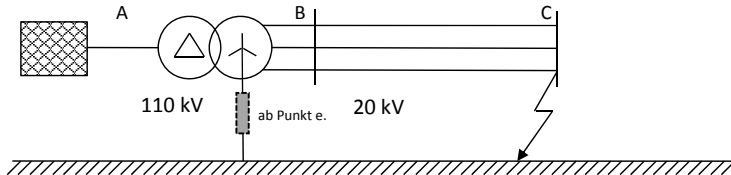


## Schriftliche Prüfung aus VO Energieversorgung am 02.03.2016

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

## 1. Einpoliger Kurzschluss (24 Punkte)

Netz:

$$U_N = 110 \text{ kV}; S_k'' = 2500 \text{ MVA (c=1)}; R = 0$$

Transformator:

$$U_A/U_B = 110/20; S_N = 40 \text{ MVA}; u_k = 13\% \text{ (Annahme } P_k = 0);$$

$$X_0 = 6 \Omega \text{ (auf 20 kV Seite)}$$

Freileitung:

$$R' = 0; X_B' = 0,3 \Omega/\text{km}; X_0' = 0,85 \Omega/\text{km}; l = 10 \text{ km}$$

Der Sternpunkt des Transformators ist auf der 20kV-Seite starr geredet ( $R_E = 0$ ). An der Sammelschiene C ereignet sich ein einpoliger Erdkurzschluss:

- Zeichnen Sie das **relevante Ersatzschaltbild** dieses Fehlerfalls im Komponentensystem (**Spannungen, Ströme, alle Impedanzen**).
- Bestimmen Sie die wirksame **Gesamtreaktanz** der Ersatzschaltung im Mit-, Gegen- und Nullsystem.
- Wie groß ist der **einpolige Erdkurzschlussstrom** ( $c = 1,1$ )?
- Wie groß sind die **Phasenspannungen und Phasenströme in komplexer Darstellung** am Kurzschlussort?

(Punkt e. kann unabhängig von Punkt a. – d. gelöst werden.) Zur Begrenzung des **einpoligen Erdkurzschlussstromes** wird auf der 20kV-Seite des Transformators im Sternpunkt eine Petersenspule angeschlossen (siehe Bild).

- Welchen **Induktivitätswert** muss die Petersenspule bei idealer Kompensation aufweisen?

HINWEIS:  $C'_E$  der Freileitung beträgt 15 nF/km und vernachlässigen Sie für diesen Punkt alle gegebenen Reaktanzen.

## 2. Auslegung eines Erdkabels (24 Punkte)

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

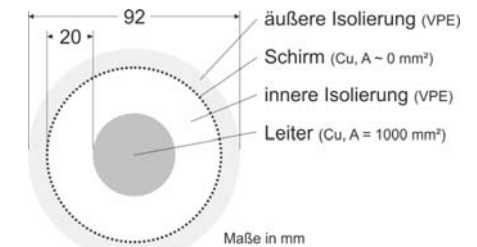
Die Ableitungsverluste in der Isolierung sollen vernachlässigt werden. Auch wird der Schirm für die thermische Auslegung nicht berücksichtigt.

Die spezifischen thermischen Widerstände betragen

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

$$\rho_{W, Erdreich} = 2,0 \frac{\text{K}\cdot\text{m}}{\text{W}}$$

→ *Hinweis:* Das umgebende, trockene Erdreich wird bis zu einem Radius von 50 cm betrachtet!



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

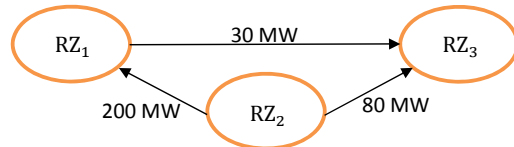
- Wie groß ist der **thermische Gesamtwiderstand**? Zeichnen Sie den **Ersatzschaltplan** für den Wärmestrom.
- Welche **Dauerstrombelastung** des Innenleiters darf nicht überschritten werden bei einem maximal zulässigen Temperaturunterschied zur Umgebung des Innenleiters von 70°C?
- Wie groß ist die 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:

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

**3. Regelernergie (24 Punkte)**

Wir betrachten drei Regelzonen (RZ) in der Abbildung unten und nehmen im ersten Schritt an, dass es keine Frequenzabweichung und Fahrplanverletzung zwischen den RZ gibt. RZ<sub>2</sub> exportiert zu RZ<sub>1</sub> 200 MW, sowie 80 MW zu RZ<sub>3</sub>. RZ<sub>1</sub> exportiert zu RZ<sub>3</sub> 30 MW.



Nun fällt in der RZ<sub>2</sub> ein Kraftwerksblock mit 60 MW wegen einem Trafobrand aus. Durch Primärregelung aller RZ werden die ausgefallenen 60 MW aufgebracht, welche sich je nach Erzeugungsleistung auf die drei Regelzonen aufteilen. Als Werte für die primäre Regelleistung  $K_{RI} \cdot \Delta f$  werden folgende Werte angenommen:

$$RZ_1 \rightarrow 20 \text{ MW}, RZ_2 \rightarrow 30 \text{ MW}, RZ_3 \rightarrow 10 \text{ MW}$$

Hinweis: der Selbstregeleffekt der Last ist zu vernachlässigen.

- a. (5) Bestimmen Sie **die Austauschleistung** jeder Regelzone **vor dem Ereignis** ( $P_{Ai \text{ soll}}$ ) **und nachdem** die **primäre Regelleistung** eingesetzt hat ( $P_{i \text{ Messung}}$ ).

Hinweis: Die importierte Leistung ist mit „+“ und exportierte mit „-“ zu berechnen.

- b. (3) Bestimmen Sie **die Regelzonenfehler (ACE)**  $G_i$  für jede RZ durch das Netzkennlinienverfahren.

Hinweis:  $G_i = P_{i \text{ Messung}} - P_{Ai \text{ soll}} + K_{RI} \cdot \Delta f$

- c. (2) Was werden die drei Sekundärregler nach der Berechnung der Regelzonenfehler unternehmen?

In der RZ<sub>2</sub> gibt es einen Windpark mit 20 Windkraftanlagen. Die Kenndaten für eine Windkraftanlage und die Messergebnisse des Leistungstests beinhalten folgende Daten:

Rotordurchmesser	$D_R$	101 m
Windnenngeschwindigkeit der Windkraftanlage	$v_N$	12,5 m/s
Gesamtwirkungsgrad von Generator und Getriebe	$\eta_{\text{Gesamt}}$	0,87
Windgeschwindigkeit vor der Turbine (Vollastbereich)	$v_1$	13,5 m/s
Windgeschwindigkeit nach der Turbine	$v_2$	9,3 m/s

Die Windgeschwindigkeit  $v_1$  und  $v_2$  sind durch eine Windgeschwindigkeitsmessung in Nabenhöhe vorgegeben und sollen als konstant angenommen werden.

- d. (3) Berechnen Sie den **mittleren Leistungsbeiwert**  $C_p$  für diese Anlage mit den angegebenen Messergebnissen aus der obigen Tabelle.
- e. (7) Wie groß ist die **elektrische Nennleistung der Windkraftanlage**  $P_{N_{el}}$  unter Annahme des zuvor berechneten Leistungsbeiwerts?
- f. (4) Auf welchen Anteil (in %) der Gesamtnennleistung aus Punkt e) müsste der Windpark gedrosselt werden, sodass die ausgefallene Leistung (60MW) aus dem ersten Teil der Aufgabe ins Netz geliefert werden kann?

**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
- \_\_\_ Erden und kurzschließen
- \_\_\_ Gegen Wiedereinschalten sichern

## 5. Theoriefragen (24 Punkte)

Richtige Antwort bitte deutlich markieren.

Hinweis: Es ist jeweils eine Antwort richtig!

1. Wie bezeichnet man die sicher nachgewiesenen und mit bekannter Technologie wirtschaftlich gewinnbaren Vorkommen fossiler Energieträger in der Erdkruste?

- ☐ Reserven
- ☐ Ressourcen
- ☐ statische Reichweite

2. Wie setzt sich die Erzeugung elektrischer Energie in Österreich 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

3. Welchen Effektivwert haben die Leiter-Erde-Spannungen in einem symmetrischen 110kV-Netz?

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

4. Mit welcher Frequenz pulsiert die Augenblicksleistung in einem symmetrischen 50Hz-Drehstromsystem?

- ☐ Mit 50Hz
- ☐ Mit 100Hz
- ☐ Gar nicht

5. Welche Spannungen werden als Nennspannungen im Drehstromsystem angegeben?

- ☐ Mitsystemspannungen
- ☐ Leiter-Erde-Spannungen
- ☐ Verkettete Spannungen

6. Die Generatoren eines Kraftwerkes, das an ein 50Hz-Netz angeschlossen ist, haben eine Polpaarzahl von 10. Welche synchrone Drehzahl haben die Generatoren?

- ☐ 300 Umdrehungen/min
- ☐ 500 Umdrehungen/min
- ☐ 600 Umdrehungen/min

7. Wie verhält sich ein Kabel, die unterhalb der natürlichen Leistung betrieben wird, gegenüber dem Energiesystem?

- ☐ Eher wie eine Induktivität
- ☐ Eher wie eine Kapazität
- ☐ Eher wie ein Widerstand

8. Wie verhält sich ein übererregter Synchrongenerator bezüglich seiner Blindleistung?

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

9. Eine Wasserkraftanlage kann mit einer Wassermenge  $Q$  von  $20\text{m}^3/\text{s}$  eine elektrische Leistung von 4MW erzeugen. Welche Höhendifferenz arbeitet die Turbine ungefähr ab?

- ☐ 5m
- ☐ 20m
- ☐ 25m

10. 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

11. Welche Wasserturbine ist in diesem Bild dargestellt?

- ☐ Eine Kaplan turbine
- ☐ Eine Francisturbine
- ☐ Eine Peltonturbine



12. Wie verhält sich die Geschwindigkeit des Wasserstrahls auf eine Peltonturbine, wenn die Leistung durch Reduzieren des Volumenstroms gesenkt wird.

- ☐ Die Geschwindigkeit wird kleiner
- ☐ Die Geschwindigkeit bleibt gleich
- ☐ Die Geschwindigkeit wird höher

13. Bei welcher Art der Regelung einer Windkraftanlage werden die einzelnen Rotorflügel verstellt?

- ☐ Bei der Pitch-Regelung
- ☐ Bei der Stall-Regelung
- ☐ Bei der Widerstands-Regelung

14. Bei welchem Kurzschlussstromverlauf klingt das Wechselglied ab?

- ☐ Beim generatorfernen Kurzschlussstromverlauf
- ☐ Beim generatornahen Kurzschlussstromverlauf
- ☐ Beim dreipoligen Kurzschluss

15. Stoßkurzschlussstrom  $I_p$  und Anfangskurzschlusswechselstrom  $I_k''$  hängen entsprechend  $I_p = \kappa \sqrt{2} I_k''$  zusammen. In welchem Wertebereich kann der Stoßfaktor  $\kappa$  liegen?

- ☐ Von 0 bis 1
- ☐ Von 1 bis 2
- ☐ Von 0 bis 2

16. Wann tritt praktisch kein Gleichglied im Kurzschlussstromverlauf auf?

- ☐ Wenn der stationäre Fehlerstrom im Zeitpunkt des Fehlereintritts gerade seinen Nulldurchgang hätte
- ☐ Wenn der stationäre Fehlerstrom im Zeitpunkt des Fehlereintritts gerade seinen maximalen Wert hätte
- ☐ Wenn der Strom unmittelbar vor Fehlereintritt gerade seinen maximalen Wert hatte

17. Welche Art von Schaltern kann Kurzschlussströme ausschalten?

- ☐ Trennschalter
- ☐ Lastschalter
- ☐ Leistungsschalter

18. Welche Größen sind bei der Lastflussrechnung an einem PV-Knoten vorgegeben?

- ☐ Photovoltaikeinspeisung und Verbraucherleistung
- ☐ Wirkleistung P und Blindleistung Q
- ☐ Wirkleistung P und Spannung U

19. Welchen Wert sollte die dynamische Frequenzabweichung nach einer Störung nicht unterschreiten?

- ☐ 49,82 Hz, also 180mHz weniger als die Nennfrequenz
- ☐ 49,8 Hz, also 200mHz weniger als die Nennfrequenz
- ☐ 49,2 Hz, also 800mHz weniger als die Nennfrequenz

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

- ☐ Die leistungsabhängigen Kosten
- ☐ Die arbeitsabhängigen Kosten
- ☐ Die Brennstoffkosten

21. Eine Windkraftanlage mit der Nennleistung 5MW speist in einem Jahr eine Energie von 10GWh in das Netz ein. An 150 Stunden im Jahr erreicht sie dabei ihre Nennleistung, den Rest des Jahres liegt ihre Leistung unterhalb der Nennleistung. Welche Volllaststunden weist diese Windkraftanlage auf?

- ☐ 150h
- ☐ 2000h
- ☐ 8610h

22. Was ist in etwa der typische Wert für die Volllaststunden einer Photovoltaikanlage in Österreich?

- ☐ 1000 h/a
- ☐ 2500 h/a
- ☐ 4000 h/a
- ☐ 8760 h/a

23. Was soll beim Parallelschalten von Transformatoren berücksichtigt werden?

- ☐ Die Transformatoren sollten vom gleichen Hersteller stammen
- ☐ Die bezogene Kurzschlussspannungen sollten gleich sein
- ☐ Die Anzahl der Windungen auf der Primär- und Sekundärseite sollten jeweils gleich sein

24. In welchem Kernreaktortyp wird ein Wärmetauscher zwischen Primärkühlkreis und Sekundärdampfkreislauf eingesetzt?

- ☐ Im Siedewasserreaktor
- ☐ Im Druckwasserreaktor
- ☐ In keinem der beiden Reaktortypen