

Schriftliche Prüfung aus VO Energieversorgung am 25.04.2017

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

1. Betriebsparameter einer 220 kV-Leitung (24 Punkte)

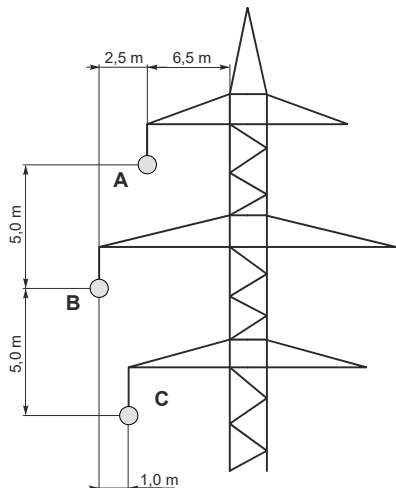


Abbildung nicht maßstäblich!

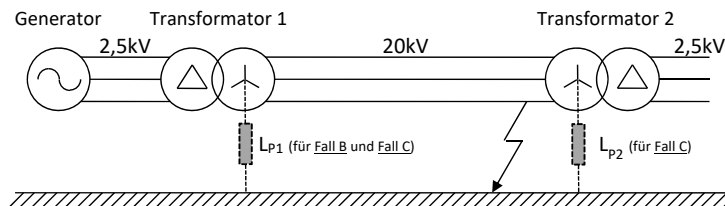
Für eine 220 kV-Leitung in einem 50 Hz Netz mit **2er-Bündeln** und einem Tonnenmastbild wie in der nebenstehenden Abbildung sollen verschiedene Betriebsparameter ermittelt werden. Die Leitung wird über ihre Länge **verdrillt** und damit symmetriert.

Weitere Daten der Leitung:

- Querschnitt **Einzelleiter**: 338 mm<sup>2</sup>
- Leiterabstand a im Bündel: 40 cm
- Anzahl Leiter im Bündel: 2
- Länge der Leitung: 127 km
- Gleichstromwiderstand (**Einzelleiter**):  
 $R'_{\text{Einzelleiter}} = 0,0945 \Omega/\text{km}$
- Stromverdrängungsfaktor bei 50 Hz:  
 $k_{sr} = 1,2$

- a. (9) Wie groß ist die **längenbezogene symmetrische Betriebsinduktivität** der Leitung?  
*Hinweis:*  $r_T = \frac{a}{2 \cdot \sin(\frac{\pi}{N})}$
- b. (3) Wie groß ist die **komplexe Ausbreitungskonstante**  $\underline{\gamma}$  unter der zusätzlichen Annahme, dass  $C' = 12 \frac{\text{nF}}{\text{km}}$  und  $G' = 0 \frac{\text{S}}{\text{km}}$ ? Verwenden Sie die Näherung für die Dämpfungs- und Phasenkonstante ( $R' \ll \omega L', G' \ll \omega C'$ ).
- c. (3) Die **Leitung sei mit ihrem Wellenwiderstand abgeschlossen** ( $Z_2 = Z_w$ ) und habe eine Ausbreitungskonstante  $\underline{\gamma}$  von  $2 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{km}} + j \cdot 10^{-3} \frac{\text{rad}}{\text{km}}$ . Welcher **Spannungsbetrag** stellt sich **am Ende der Leitung** ein, wenn sie am Beginn mit Nennspannung betrieben wird?  
*Hinweis:* Verwenden Sie die Leitungsgleichung und vereinfachen Sie diese.
- d. (3) Leiten Sie für die **leerlaufende Leitung** ( $I_2 = 0$ ) **allgemein** die Abhängigkeit der **Spannung am Ende** der Leitung von deren Länge und der Spannung am Beginn der Leitung  $\underline{U}_2 = f(\underline{U}_1, \text{Länge})$  her und berechnen Sie die **Spannung am Ende** der Leitung wenn  $\cosh(\gamma \cdot l) = 0,991 + j \cdot 0,0017$ .
- e. (6) Wie groß ist der **Wellenwiderstand** und die **natürliche Leistung** der Leitung, wenn sie als **verlustlose Leitung** betrachtet wird ( $R' = 0 \Omega/\text{km}, G' = 0 \text{ S}/\text{km}$ )?

2. Einpoliger Erdschluss mit zwei speisenden Transformatoren (24 Punkte)



Generator:

$U_N = 2,5 \text{ kV}, S_N = 3 \text{ MVA}, x_d'' = 12\%, R/X = 0, f_N = 50 \text{ Hz}$

Transformatoren 1 und 2:

YNd5,  $U_1/U_2 = 20/2,5, S_N = 4,5 \text{ MVA}, u_k = 4,5\%$  (bei  $P_k = 0$ ),  
 $X_{(0)} = 10 \Omega$  (auf 20kV Seite im Fall eines verbundenen Sternpunkts)

Betrachtet werden folgende Fälle der Sternpunktbehandlung:

	Transformator 1	Transformator 2
<b>Fall A</b>	Offen (Isoliert)	Offen (Isoliert)
<b>Fall B</b>	Über $L_{P1}$ geerdet	Offen (Isoliert)
<b>Fall C</b>	Über $L_{P1}$ geerdet	Über $L_{P2}$ geerdet

Freileitung:

$L_{B'(1)} = 1,5 \text{ mH}/\text{km}, C'_E = 15 \text{ nF}/\text{km}, l = 50 \text{ km}$

- a. (6) Bestimmen Sie die **Werte aller Elemente der Ersatzschaltung** im Mit-, Gegen- und Nullsystem.

Auf der Freileitung ereignet sich ein einpoliger Erdschluss in der Nähe von Transformator 2.

- b. (9) Zeichnen Sie die **Ersatzschaltbilder** für diesen Fehlerfall mit allen Elementen im Komponentensystem (Spannungen, Ströme, Impedanzen) für die drei Fälle der Sternpunktbehandlung.
- c. (3) Wie groß ist der **Betrag des einpoligen Erdschlussstroms**  $I''_{k1p}$  im **Fall A** ( $c = 1,1$ )?
- d. (3) Berechnen Sie im **Fall B** die benötigte **Induktivität  $L_{P1}$  der Petersenspule**, sodass der einpolige Erdschlussstrom  $I''_{k1p}$  Null wird.
- e. (3) Im **Fall B** sei die Induktivität  $L_{P1} = 4,5 \text{ H}$ , damit der einpolige Erdschlussstrom  $I''_{k1p}$  Null wird. Wie groß muss dann im **Fall C** die **resultierende Gesamtreaktanz der beiden Petersenspulen** sein, sodass  $I''_{k1p}$  ebenfalls Null wird?

**3. Wirtschaftlichkeitsvergleich (24 Punkte)**

Über das als Versuchsanlage gebaute Solarkraftwerk „Gemasolar“ (solarthermisches Kraftwerk mit Salzschnmelze und Speicher) in Spanien sind folgende Angaben bekannt:

Leistung	19,9 MW <sub>el</sub>
Errichtungskosten	250 Mio. €
geschätzte Jahresenergieeinspeisung	120 GWh/a
leistungsabhängige Kosten	6% der Errichtungskosten pro Jahr

Um die Wirtschaftlichkeit dieser Versuchsanlage beurteilen zu können, soll ein konventionelles GuD-Kraftwerk mit folgenden Daten betrachtet werden:

spezifische Errichtungskosten	650 €/kW <sub>el</sub>
leistungsabhängige Kosten	95 €/kW <sub>el</sub> a
Brennstoffkosten	0,30 €/m <sup>3</sup> Erdgas
Heizwert von Erdgas H <sub>u</sub>	30 MJ/m <sup>3</sup>
Gesamtwirkungsgrad	58 %
betriebsabhängige Kosten	0,001 €/kWh <sub>el</sub>

Für beide Anlagen sollen eine Nutzungsdauer von 25 Jahren und ein Zinssatz am Kapitalmarkt von 7% gelten.

- (7) Ermitteln Sie die **Stromgestehungskosten** für das **Versuchskraftwerk** „Gemasolar“.
- (4) Wie hoch sind die **Stromgestehungskosten** des **GuD-Kraftwerks**, wenn es die gleiche Volllaststundenzahl pro Jahr aufweist, wie das Versuchskraftwerk?
- (6) Wie hoch dürften die **spezifischen Errichtungskosten** von „Gemasolar“ **maximal** sein, damit dieses mit dem konventionellen GuD-Kraftwerk konkurrieren kann?  
**Hinweis:** Auch die leistungsabhängigen Kosten ändern sich, sie belaufen sich weiterhin auf 6% der jeweiligen Errichtungskosten!
- (7) Um zusätzliche 20 Mio. € könnte das Versuchskraftwerk „Gemasolar“ mit größeren Speichern ausgestattet werden, wodurch sich die Volllaststundenzahl um 15% erhöht. Wäre dies eine **sinnvolle Investition**? (Es gilt hier ebenso der Hinweis von Punkt c.)

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

Bringen Sie die fünf Sicherheitsregeln in die richtige Reihenfolge:

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

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. Welche Wasserturbine ist in diesem Bild dargestellt?

- Eine Kaplan turbine  
 Eine Francisturbine  
 Eine Peltonturbine

3. 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

4. Was ist ein Vorteil von symmetrischen Drehstromsystemen gegenüber Gleichspannungssystemen?

- Transformierbarkeit  
 Keine Blindleistung  
 Konstante Augenblicksleistung

5. Welche Amplitude 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  $110\text{kV}/\sqrt{3}\cdot\sqrt{2}$

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

- Die Primärregelung  
 Die Sekundärregelung  
 Die Tertiärregelung

7. 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

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

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

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

- Der Regelzonenführer  
 Der Netzbetreiber  
 Der Bilanzgruppenkoordinator

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

- Die leistungsabhängigen Kosten  
 Die arbeitsabhängigen Kosten  
 Die Brennstoffkosten

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

- $49,82\text{ Hz}$ , also  $180\text{mHz}$  weniger als die Nennfrequenz  
  $49,8\text{ Hz}$ , also  $200\text{mHz}$  weniger als die Nennfrequenz  
  $49,2\text{ Hz}$ , also  $800\text{mHz}$  weniger als die Nennfrequenz

12. 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

13. Welches Bauelement kann eingesetzt werden, um eine oberhalb der natürlichen Leistung betriebene Leitung zu kompensieren?

- Eine Drosselspule (Induktivität)  
 Eine Kondensatorbatterie (Kapazität)  
 Ein Widerstand

---

14. Was sollte beim Parallelschalten von Transformatoren berücksichtigt werden?

- Die Leistungen sollten ähnlich groß sein
- Der Aufstellungsort sollte gleich sein
- Die Anzahl der Windungen auf der Primär- und Sekundärseite sollten jeweils gleich sein

---

15. In welchem Größenbereich bewegt sich die Leistung eines Laufwasserkraftwerkes an der Donau in Österreich in etwa?

- unter 10 MW bis 100 MW
- 150 MW bis 300 MW
- 350 MW bis über 1000 MW

---

16. Innerhalb welcher Zeit soll die Primärregelleistung (Frequency Containment Reserve) voll aktiviert sein?

- Spätestens 15s nach Aktivierung
- Spätestens 30s nach Aktivierung
- Spätestens 15min nach Aktivierung

---

17. Welche Spannungen werden als Nennspannungen im Drehstromsystem angegeben?

- Mitsystemspannungen
- Leiter-Erde-Spannungen
- Verkettete Spannungen

---

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

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

---

19. 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

---

20. Welcher Anteil der in einem Windstrom enthaltenen kinetischen Leistung kann durch einen Konverter entnommen werden (Betz'scher Wert)?

- 16,3%
- 50%
- 59,3%

---

21. Bei welcher Art der Sternpunktbehandlung treten üblicherweise die größten Erdschlussströme auf?

- Bei isoliertem Sternpunkt
- Bei kompensiertem Sternpunkt
- Bei geerdetem Sternpunkt

---

22. Welcher Wert ist am höchsten und deswegen für die mechanische Auslegung von elektrischen Anlagen maßgebend?

- Der Anfangskurzschlusswechselstrom
- Der Dauerkurzschlusswechselstrom
- Der Stoßkurzschlussstrom

---

23. Welcher Fehlerstrom ist üblicherweise größer?

- Der zweipolige Fehlerstrom
- Der dreipolige Fehlerstrom

---

24. Vereinfachend dargestellt ist die Prognoseabweichung einer Regelzone

- Regelenergie
- Ausgleichsenergie
- Netzverlustenergie