

Schriftliche Prüfung aus VO Energieversorgung am 10.10.2019

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

Allgemeine Hinweise: Kennzeichnen Sie Ihre Ergebnisse eindeutig. Ergebnisse müssen aus Zahlenwert und Einheit bestehen und bei Wechselstromsystemen in komplexer Form (Komponenten- oder Polardarstellung) angegeben werden, wenn nicht anders gefragt ist.

1. Betriebsparameter einer 380kV-Leitung (26 Punkte)

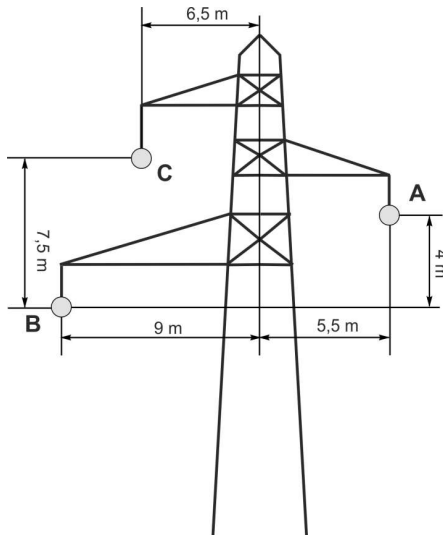


Abbildung nicht maßstäblich!

Für eine 380 kV-Leitung in einem 50 Hz Netz mit **3er-Bündeln** und einem Mastbild wie in der Abbildung sollen verschiedene Betriebsparameter ermittelt werden. Es wird angenommen, dass die Leitung über ihre Länge **verdrillt** und damit symmetriert wird.

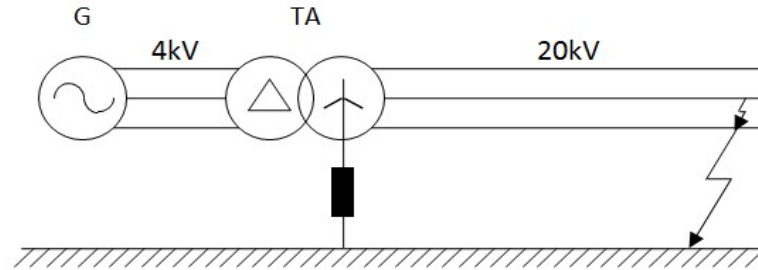
- Querschnitt Einzelleiter: 242,5 mm²
- Leiterabstand a im Bündel: 30 cm
- Anzahl Leiter im Bündel: 3
- Länge der Leitung: 127 km
- Dauerstrombelastbarkeit (Einzelleiter): 585 A
- Gleichstromwiderstand (Einzelleiter): 0,1373 Ω/km
- Stromverdrängungsfaktor bei 50 Hz: $k_{sr} = 1,2$
- Ableitungsbelag: $G' = 0 \frac{S}{km}$

- a. (6) Wie groß ist die längenbezogene symmetrische Betriebsinduktivität der Leitung?
- b. (3) Wie groß ist die längenbezogene symmetrische Betriebskapazität der Leitung?
- c. (5) Wie groß ist die komplexe Ausbreitungskonstante $\underline{\gamma}$? Verwenden Sie die angegebene Näherung für die Dämpfungs- und Phasenkonstante, wenn $R' \ll \omega L', G' \ll \omega C'$ gilt:

$$\alpha \approx \frac{R'}{2} \sqrt{\frac{C'}{L'}} + \frac{G'}{2} \sqrt{\frac{L'}{C'}} \quad \beta = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\lambda} \approx \omega \sqrt{L'C'}$$

- d. (8) Die Leitung sei mit ihrem Wellenwiderstand abgeschlossen. Welcher Spannungsbeitrag stellt sich am Ende der Leitung ein, wenn sie am Beginn mit Nennspannung betrieben wird?
- e. (4) Wie groß ist die natürliche Leistung der gegebenen Leitung?

2. Zweipoliger Kurzschluss mit Erdberührung (26 Punkte)



Generator:

$U_N = 4kV, S_N = 12MVA, x_d'' = 14\%, R_{(1)} = R_{(2)} = R_{(0)} = 0$ Die Wicklungen des Generators sind in Stern angeschlossen, der Sternpunkt ist nicht geerdet. Generatorspannungen sind symmetrisch.

Transformator:

YNd5, $U_1/U_2 = 20kV/4kV, S_N = 12 MVA, u_k = 12\%$, (Annahme $P_k = 0 kW$), $X_{(0)} = 14 \Omega$ (auf 20kV Seite) Sternpunkt **exakt kompensiert** („gelöschtes Netz“)

Freileitung:

$X'_{(1)} = 0,4 \text{ Ohm/km}, X'_{(0)} = 0,9 \text{ Ohm/km}, C'_E = 10 \text{ nF/km}, l = 30 \text{ km}$

Am Ende der Freileitung ereignet sich im 50Hz-Netz ein satter **zweipoliger Kurzschluss** (Fehlerwiderstand ist Null) zwischen den Phasen L2 und L3 **mit Erdberührung**.

- a. (6) Zeichnen Sie die **Ersatzschaltung** im Mit-, Gegen- und Nullsystem mit korrekter Verschaltung der drei Systeme und allen wirksamen Impedanzen der Schaltung für den dargestellten Kurzschlussfall.
- b. (4) Berechnen Sie die wirksamen **Impedanzen** des **Generators**, des **Transformators** und der **Leitung** (in Ohm) am Kurzschlussort.
- c. (2) Berechnen Sie die Mit-, Gegen und Nullimpedanz am Kurzschlussort.
- d. (4) Wie groß ist die im Sternpunkt verwendete **Petersenspule**, sodass die Leitungskapazitäten exakt kompensiert sind?
- e. (4) Wie groß sind die drei **Komponentenfehlerströme** $I_{(0)}, I_{(1)}$ und $I_{(2)}$ am Kurzschlussort?
- f. (4) Wie groß sind die drei **Phasenfehlerströme** $I_{(L1)}, I_{(L2)}$ und $I_{(L3)}$ am Kurzschlussort?
- g. (2) Wäre ein Kurzschlussstrom am Kurzschlussort ohne Erdberührung bei gleicher Schaltung kleiner? Begründen Sie die Antwort kurz.

3. Wirtschaftlichkeitsvergleich (20 Punkte)

Über ein Solarkraftwerk (solarthermisches Kraftwerk mit Salzschmelze und Speicher) sind folgende Angaben bekannt:

Leistung	25 MW_{el}
Errichtungskosten	210 Mio. €
geschätzte Jahresenergieeinspeisung	$205 \frac{\text{GWh}}{a}$
leistungsabhängige Kosten	4% der Errichtungskosten pro Jahr

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

spezifische Errichtungskosten	$810 \frac{\text{€}}{\text{kW}_{el}}$
leistungsabhängige Kosten	$115 \frac{\text{€}}{\text{kW}_{el} \cdot a}$
Brennstoffkosten Erdgas	$0,3 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}$
Heizwert von Erdgas H_u	$30 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$
Gesamtwirkungsgrad	58%
betriebsabhängige Kosten	$0,005 \frac{\text{€}}{\text{kWh}_{el}}$

Für beide Anlagen sollen eine Nutzungsdauer von 30 Jahren und ein Kalkulationszinssatz von 10% gelten.

- Ermitteln Sie die **Stromgestehungskosten** für das **Solarkraftwerk**.
- Wie hoch sind die **Stromgestehungskosten** des **GuD-Kraftwerks**, wenn es die gleiche Volllaststundenzahl pro Jahr aufweist, wie das Solarkraftwerk?
- Wie hoch dürften die **spezifischen Errichtungskosten** des Solarkraftwerks **maximal** sein, damit dieses mit dem konventionellen GuD-Kraftwerk konkurrieren kann?
Hinweis: Auch die leistungsabhängigen Kosten ändern sich!
- Nehmen Sie an, dass die **spezifischen Errichtungskosten** des Solarkraftwerks nur **um 25% reduziert** werden können. Würde durch eine **Absenkung** des **Kalkulationszinssatzes auf 4%**¹ das Solarkraftwerk dann konkurrenzfähig sein?

4. Fünf Sicherheitsregeln (4 Punkte)

Bringen Sie die fünf Sicherheitsregeln in die richtige Reihenfolge und streichen Sie die nicht existierende Sicherheitsregel:

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

¹ Gilt für beide Kraftwerke

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 40MW 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 110kV -Netz?

- Etwa $110\text{kV} \cdot \sqrt{2}$
 Etwa 110kV
 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 180mHz weniger als die Nennfrequenz
 $49,8\text{ Hz}$, also 200mHz weniger als die Nennfrequenz
 $49,2\text{ Hz}$, also 800mHz 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 κ 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. Innerhalb welcher Zeitspanne soll die Sekundärregelung abgeschlossen sein?

- 15 Sekunden
- 30 Sekunden
- 15 Minuten