

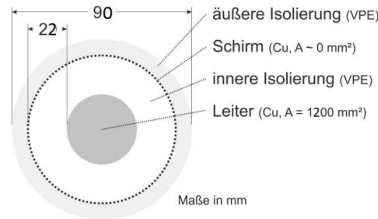
Schriftliche Prüfung aus VO Energieversorgung am 21.11.2017

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

1. Wärmeberechnung für ein Kabel (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 be-

tragen $\rho_{W, VPE} = 3,5 \frac{\text{K}\cdot\text{m}}{\text{W}}$
 $\rho_{W, \text{Erdreich}} = 2,0 \frac{\text{K}\cdot\text{m}}{\text{W}}$

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

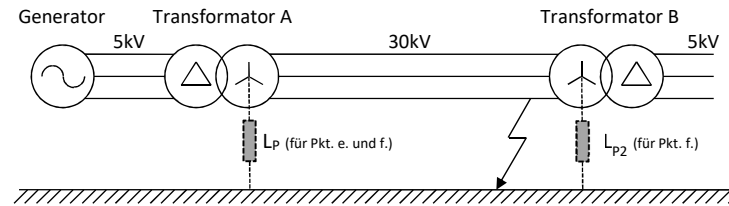
Der spezifische elektrische Widerstand von Kupfer beträgt $\rho_{Cu} = 0,0178 \frac{\Omega\cdot\text{mm}^2}{\text{m}}$, der Stromverdrängungsfaktor für die Nennfrequenz sei 1,25.

- a. (6) Wie groß ist der **thermische Gesamtwiderstand** zur Wärmeabfuhr des Kabels in den Erdboden? *Hinweis:* Das umgebende Erdreich soll bis zu einem Radius von 50 cm berücksichtigt werden.
- b. (3) Welche **Dauerstrombelastung** des Innenleiters darf nicht überschritten werden bei einem zulässigen Temperaturunterschied des Innenleiters zur Umgebung von 70°C?
- c. (3) Wie groß ist die bezogene **Betriebskapazität** des Kabels? *Hinweis:* $\epsilon_{r(VPE)} = 2,4$.

Für die folgenden Punkte soll nun ein 220kV-Dreiphasensystem mit 3 Einleiter-Kabeln (die sich vereinfacht betrachtet thermisch und elektrisch nicht beeinflussen sollen) mit Eigenschaften aus den oberen Unterpunkten betrachtet werden.

- d. (3) Berechnen Sie die **thermisch übertragbare Scheinleistung** des Dreiphasensystems.
- e. (6) Wie groß sind der **bezogene Ladestrom** und die **bezogene Ladeleistung** des Dreiphasensystems?
- f. (3) Ist die Nutzung dieses Kabels für die **Übertragung** elektrischer Energie bei einer Kabellänge von 140 km **möglich und sinnvoll** (mit Begründung)?

2. Einpoliger Erdschluss (24 Punkte)



Generator: $U_N = 5 \text{ kV}$, $S_N = 6 \text{ MVA}$, $x_d'' = 14\%$, $R/X = 0$, $f_N = 50 \text{ Hz}$

Transformatoren A und B: $YNd5$, $U_1/U_2 = 30/5$, $S_N = 5 \text{ MVA}$, $u_k = 5\%$ (bei $P_k = 0$),
 $X_{(0)} = 21 \Omega$ (auf 30kV Seite falls Sternpunkt verbunden)

Sternpunkte: Transformator A offen, Transformator B offen

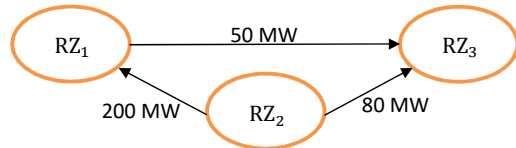
Freileitung: $L_B'(1) = 1,18 \text{ mH/km}$, $C'_E = 20 \text{ nF/km}$, $l = 60 \text{ km}$

Am Ende der Freileitung ereignet sich ein einpoliger Erdschluss.

- a. (3) Bestimmen Sie die **Elemente der Ersatzschaltung** im Mit-, Gegen- und Nullsystem.
- b. (6) Zeichnen Sie das **Ersatzschaltbild** im Komponentensystem (Spannungen, Ströme, Impedanzen) für das isolierte Netz.
- c. (3) Wie groß ist der **Betrag des einpoligen Erdschlussstroms** I_{k1p}'' ($c=1,1$) im isolierten Netz?
- d. (3) Leiten Sie im isolierten Netz **allgemein** die Ausdrücke für die drei **Komponentenspannungen** $\underline{U}_{(0)}$, $\underline{U}_{(1)}$ und $\underline{U}_{(2)}$ jeweils als Funktion von $E_{(1)}$, $Z_{(1)}$, $Z_{(2)}$ und $Z_{(0)}$ am Kurzschlussort her.
- e. (6) Anstelle des isolierten Sternpunktes wird in den Sternpunkt des Transformators A eine Petersen-Spule gegen Erde geschaltet (L_p). **Zeichnen Sie nur das Nullsystem des kompensierten Netzes** und berechnen Sie anschließend die **benötigte Induktivität L_p der Spule**, sodass der einpolige Erdschlussstrom I_{k1p}'' genau Null wird.
- f. (3) Nun wird zusätzlich anstelle des isolierten Sternpunktes des Transformators B in den Sternpunkt des Transformators B eine weitere Petersen-Spule gegen Erde geschaltet (L_{p2}). **Zeichnen Sie nur das Nullsystem des kompensierten Netzes** und geben Sie anschließend die **Summenreaktanz der beiden Spulen a_n** , so dass der einpolige Erdschlussstrom I_{k1p}'' genau Null wird.

3. Regelenergie (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. RZ₂ exportiert zu RZ₁ 200 MW, sowie 80 MW zu RZ₃. RZ₁ exportiert zu RZ₃ 50 MW.



Nun fällt in der RZ₂ eine Industrieanlage 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:

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

Hinweis: der Selbstregeleffekt der Last ist zu vernachlässigen.

- 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.
- Bestimmen Sie die **Regelzonenfehler (ACE) G_i** für jede RZ durch das Netzkennlinienverfahren.
Hinweis: $G_i = P_{i \text{ Messung}} - P_{Ai \text{ soll}} + K_{RI} \cdot \Delta f$
- Was werden die drei Sekundärregler nach der Berechnung der Regelzonenfehler unternehmen?

In der RZ₂ gibt es einen Windpark mit 30 Windkraftanlagen. Die Kenndaten für eine Windkraftanlage und die Messergebnisse des Leistungstests beinhalten folgende Daten:

Rotordurchmesser	D_R	110 m
Windnenngeschwindigkeit der Windkraftanlage	v_N	12,5 m/s
Gesamtwirkungsgrad von Generator und Getriebe	η_{Gesamt}	0,86
Windgeschwindigkeit vor der Turbine (d.h. Volllastbereich)	v_1	12,5 m/s
Windgeschwindigkeit nach der Turbine	v_2	8,7 m/s

Die Windgeschwindigkeit v_1 und v_2 sowie Luftdichte ($\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$) sind durch eine Windgeschwindigkeitsmessung in Nabenhöhe bekannt und sollen als konstant angenommen werden.

- Berechnen Sie den **mittleren Leistungsbeiwert C_p** für diese Anlage mit den angegebenen Messergebnissen aus der obigen Tabelle.
- Wie groß ist die **elektrische Nennleistung der Windkraftanlage $P_{N,el}$** unter Annahme des zuvor berechneten Leistungsbeiwerts?
- Um welchen Anteil (in %) der Gesamtnennleistung aus Punkt e) müsste der Windpark vor dem Kraftwerksausfall gedrosselt betrieben gewesen sein, 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:

- Freischalten (d.h. allpoliges Trennen einer elektrischen Anlage von spannungsführenden Teilen)
- Benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschränken
- Erden und kurzschließen
- Spannungsfreiheit allpolig feststellen
- 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. Wie bezeichnet man die sicher nachgewiesenen und mit bekannter Technologie wirtschaftlich gewinnbaren Vorkommen fossiler Energieträger in der Erdkruste?

- Reserven
 Ressourcen
 statische Reichweite

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

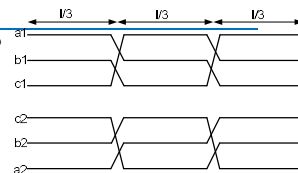
- Transformierbarkeit
 Keine Blindleistung
 Konstante Augenblicksleistung

4. Welche Betriebsmittel verhalten sich im Mit- und Gegensystem gleich?

- Transformatoren
 Motoren
 Generatoren

5. Auf welche Art ist die dargestellte Doppelleitung verdrillt?

- α -Verdrillung
 β -Verdrillung
 γ -Verdrillung



6. Welche Auswirkung haben Bündelleiter bei Freileitungen gegenüber Einfachleitern?

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

7. Welche Amplitude haben die Leiter-Leiter-Spannungen in einem symmetrischen 110kV-Netz?

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

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

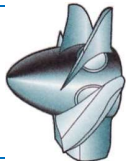
- Die leistungsabhängigen Kosten
 Die arbeitsabhängigen Kosten
 Die Brennstoffkosten

9. 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

10. Welche Wasserturbine ist in diesem Bild dargestellt?

- Eine Kaplan turbine
 Eine Francisturbine
 Eine Pelton turbine

11. Eine Wasserkraftanlage kann mit einer Wassermenge Q von 50m³/s eine elektrische Leistung von 40MW erzeugen. Welche Höhendifferenz arbeitet die Turbine ungefähr ab?

- 8m
 80m
 100m
 200m

12. In welchem Kernreakortyp wird der Primärkühlkreis direkt durch die angetriebene Dampfturbine geführt?

- Im Siedewasserreaktor
 Im Druckwasserreaktor
 In keinem der beiden Reaktortypen

13. 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 $\sqrt{3}$

14. Welche Art von Schaltern kann Kurzschlussströme ausschalten?

- Trennschalter
- Lastschalter
- Leistungsschalter

15. Bei welchem Kurzschlussstromverlauf klingt das Wechselglied ab?

- Beim generatorfernen Kurzschlussstromverlauf
- Beim generatornahen Kurzschlussstromverlauf
- Beim Stoßkurzschlussstrom

16. Kann der einpolige Fehlerstrom größer als der dreipolige Fehlerstrom sein?

- Ja
- Nein

17. In welchem Wertebereich kann der Stoßfaktor κ liegen?

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

18. Bei welcher Art der Sternpunktbehandlung treten üblicherweise die größten Erd-schlussströme auf?

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

19. Welcher Fehler tritt im elektrischen Energiesystem am häufigsten auf?

- Der einpolige Fehler
- Der zweipolige Fehler
- Der dreipolige Fehler

20. Innerhalb welcher Zeitspanne soll die Sekundärregelung abgeschlossen sein?

- 15 Sekunden
- 30 Sekunden
- 15 Minuten

21. Vereinfachend dargestellt ist die Prognoseabweichung einer Regelzone

- Regelenergie
- Ausgleichsenergie
- Netzverlustenergie

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

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

23. 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

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

- Die Primärregelung
- Die Sekundärregelung
- Die Tertiärregelung