

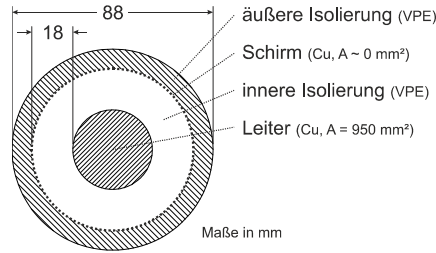
Schriftliche Prüfung aus VO Energieversorgung am 25.06.2014

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

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

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

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

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

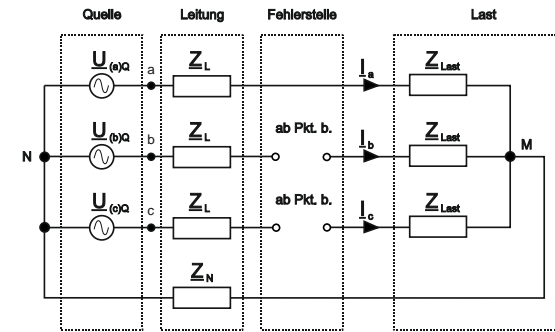
- (6) Wie groß ist der **spezifische thermische Gesamtwiderstand**? Zeichnen Sie das thermische **Ersatzschaltbild** für den Wärmestrom.
- (3) Welche **Dauerstrombelastung** des Innenleiters darf nicht überschritten werden bei einem maximal zulässigen Temperaturunterschied zur Umgebung des Innenleiters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

- (3) Berechnen Sie die **thermisch übertragbare Scheinleistung** dieses Dreiphasensystems.
- (6) Wie groß sind der **bezogene Ladestrom** und die **bezogene Ladeleistung** dieses Dreiphasensystems?
- (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. Leiterunterbrechung (24 Punkte)



Gegeben ist folgendes Drehstromsystem:

Spannungsquelle (sym.):

$$\underline{U}_N = 400 \text{ V verkettert}$$

Leitung:

$$\underline{Z}_L = (2 + j \cdot 1) \Omega$$

$$\underline{Z}_N = 1 \Omega$$

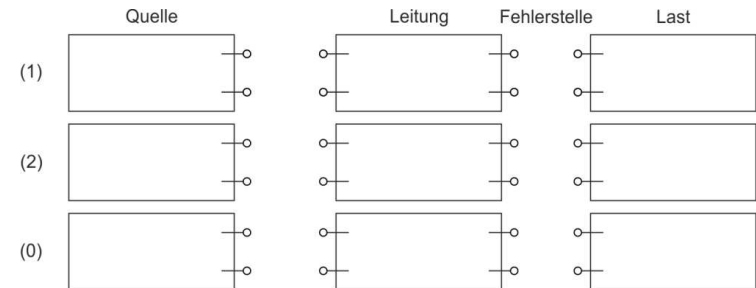
Last:

$$\underline{Z}_{Last} = (20 + j \cdot 5) \Omega$$

- (4) Ermitteln Sie **Null-, Mit- und Gegenimpedanzen** ($\underline{Z}_{(0)}, \underline{Z}_{(1)}, \underline{Z}_{(2)}$) von Leitung und Last.

Durch einen Fehler tritt eine Phasenunterbrechung zwischen Leiter und Last in Phase b und Phase c auf.

- (3) Geben Sie allgemein die **Phasenströme und Phasenspannungsdifferenzen** an der Fehlerstelle an.
Hinweis: der Fehlerfall ist bereits in obiger Abbildung eingezeichnet!
- (3) Leiten Sie die **Fehlerbedingung** für die **Komponentenströme** her.
- (5) Vervollständigen Sie das **Schaltbild für die Komponentendarstellung**, zeichnen Sie **alle Komponenten** (Ersatzspannungsquellen und Impedanzen) ein und schreiben Sie die **Fehlerbedingung der Differenzen der Komponentenspannungen** an.



- (3) Wie groß sind die drei **Komponentenströme** $\underline{I}_{(0)}, \underline{I}_{(1)}$ und $\underline{I}_{(2)}$? (**komplexe Darstellung**)

Verwenden Sie für die folgenden Punkte die Komponentenströme

$$\underline{I}_{(0)} = \underline{I}_{(1)} = \underline{I}_{(2)} = (3,12 - j \cdot 0,814) \text{ A}$$

- (3) Wie groß sind die drei **Phasenströme** $\underline{I}_a, \underline{I}_b$ und \underline{I}_c ? (**komplexe Darstellung**)
- (3) Wie groß sind die **Differenzen der Komponentenspannungen** $\Delta \underline{U}_{(0)}, \Delta \underline{U}_{(1)}$ und $\Delta \underline{U}_{(2)}$? (**komplexe Darstellung**)

3. Wirtschaftlichkeitsvergleich – GuD oder Kohle zur Grundlastdeckung (24 Punkte)

In einem Energieversorgungssystem werden zusätzliche Kraftwerke benötigt und sollen in ihrer Wirtschaftlichkeit untersucht werden. Die folgenden zwei Kraftwerkstypen sind zu vergleichen:

	GuD-Kraftwerk	Kohlekraftwerk
spez. Errichtungskosten	600 €/ kW _{el}	1500 €/ kW _{el}
leistungsabhängige Betriebskosten	40 €/ kW _{el} a	100 €/ kW _{el} a
Brennstoffkosten	0,25 €/m ³ Erdgas	80 €/t Steinkohle
Heizwert	30MJ/m ³ Erdgas	30 MJ/kg Steinkohle
Wirkungsgrad (elektrisch)	59%	41,5%
arbeitsabhängige Betriebskosten	0,001 €/ kWh _{el}	0,005 €/ kWh _{el}
Zinssatz	8,4 %	8,4 %
Nutzungsdauer	25 a	25 a
Grundlastpreis (Mittelwert)	70 €/MWh	

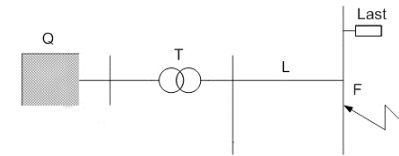
- Welche **Volllaststunden** müssten die beiden Kraftwerke mindestens pro Jahr aufweisen, um die angegebene Grundlast wirtschaftlich erzeugen zu können? Welches **Kraftwerk** wäre dafür **günstiger**?
- Der Grundlastpreis sinkt um 10% auf 63 €/MWh. Berechnen Sie für das **GuD-Kraftwerk** die sich (bei sonst gleichen Rahmenbedingungen) erforderlichen **Volllaststunden** für den wirtschaftlichen Betrieb. **Interpretieren** Sie das Ergebnis!
- Für spez. Errichtungskosten von 700 €/ kW_{el} kann das **GuD-Kraftwerk** zusätzlich mit einer Wärmeauskopplung ausgerüstet werden, wodurch sich der Wirkungsgrad auf 65% erhöht (der Zugewinn wird vereinfachend dem elektrischen Wirkungsgrad angerechnet). Berechnen Sie über das **kalorische Kostenäquivalent**, ab welcher Volllaststundenzahl sich diese Investition rechnet.
- Ist der erhöhte Aufwand aus Punkt c. unter Berücksichtigung der Volllaststunden aus Punkt a. eine **sinnvolle Investition** (kurze Begründung)?

4. Fünf Sicherheitsregeln (4 Punkte)

Bringen Sie die fünf Sicherheitsregeln in die richtige Reihenfolge:

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

5. Dreipoliger Kurzschluss (24 Punkte)



Die **Netzeinspeisung** weist folgende Kenndaten auf:

Nennspannung	U_{nQ}	110 kV
Kurzschlussleistung	S_{kQ}''	4 GVA
Sicherheitsfaktor	c	1,1
Resistanz-Reaktanz-Verhältnis	R_Q / X_Q	0,15

Der **Transformator** weist folgende Kenndaten auf:

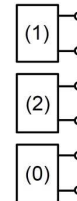
Primärspannung	U_1	110 kV
Sekundärspannung	U_2	30 kV
Nennscheinleistung	S_N	50 MVA
Kurzschlussspannung	u_k	0,15
Kurzschlussverluste	P_k	250 kW

Die **Leitung** weist folgende Kenndaten auf:

Widerstandsbelag	R'	0,15 Ω/km
Induktivitätsbelag	L'	0,8 mH/km
Kapazitätsbelag	C'	12 nF/km
Länge	l	80 km

Am Ende der Leitung ereignet sich ein **3-poliger Kurzschluss ohne Erdberührung**.

- Berechnen Sie die für den Kurzschlussfall wirksame **Gesamtimpedanz** (Resistanz und Reaktanz) bezogen auf die Kurzschlussseite (Ende der Leitung).
- Zeichnen Sie die korrekte **Verschaltung** der **Komponentensysteme** am Kurzschlussort für den angegebenen Kurzschlussfall in das **untenstehende Diagramm** ein.



- Berechnen Sie den Betrag des dreiphasigen **Anfangs-Kurzschlussstrom** I_{k3p}'' .
- Berechnen Sie den Betrag des maximalen **dreiphasigen Stoßstroms** i_p .

Hinweis: $i_p = \sqrt{2} \left(1 + e^{-\frac{R}{L}} \right) I_{k3p}''$ „worst case“ für $t \cong 10 \text{ ms}$

- Wie hoch ist der Betrag des maximalen **dreiphasigen Stoßstroms** i_p , wenn der dreipolige **Fehler** jetzt auf der **110kV-Seite des Transformators** erfolgt?