

Schriftliche Prüfung aus Energieversorgung, am 03.10.2013

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

1. Betriebsparameter einer Freileitung und Leitungsgleichungen (24 Punkte)

Auf einem Donaumast ist ein 220 kV-Drehstromfreileitungssystem bestehend aus Zweierbündel mit den folgenden geometrischen Daten der Aufhängung aufgezo-gen (Koordinatenursprung = Mastfußpunkt):

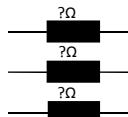
Leiter A: $x = -8m, y = 19m$

Leiter B: $x = -11m, y = 13.5m$

Leiter C: $x = -5m, y = 13.5m$

Der gegenseitige Abstand der Leiter *a* im Zweierbündel beträgt 30 cm. Die Leitung ist 250km lang und verdreht. Der Querschnitt eines Leiterseils berechnet sich auf 314.159 mm². Die Leitung sollte für alle Berechnungen als verlustlose Leitung betrachtet werden.

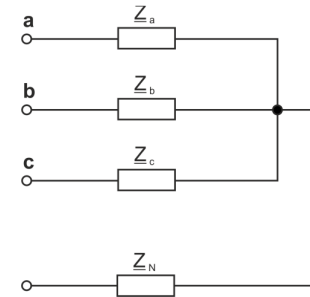
- a. (6) Wie groß ist die **längenbezogene symmetrische Betriebsinduktivität** und **Betriebskapazität** der Leitung?
- b. (3) Wie groß ist die **komplexe Phasenkonstante** β ?
- c. (3) Die Leitung wird durch eine fremde Einwirkung an ihrem Ende kurzgeschlossen. Wie groß ist der **Kurzschlussstrom**?
- d. (3) Wie groß ist die **Kurzschlussimpedanz (Eingangsimpedanz)** der Leitung?
- e. (6) Die Störung an der Leitung wird behoben und die Leitung wird an ihrem Ende mit einer dreiphasigen symmetrischen Last (siehe Bild unten) abgeschlossen und am Leitungsanfang mit Nennspannung betrieben. Wie groß ist die **Lastimpedanz** Z_2 der verlustlosen Leitung, wenn die **Eingangsimpedanz** Z_1 der Leitung $j134.39\Omega$ beträgt?



- f. (3) Wie muss die Leitung betrieben werden, damit die **natürliche Leistung** über die Leitung transportiert werden kann?

2. Drehstromkomponentensystem (24 Punkte)

Gegeben sei folgende Drehstromlast:



Wobei gilt

$$Z_a = 2 \cdot Z_b$$

$$Z_b = Z_c = 5 \cdot Z_N$$

- a. (9) Ermitteln Sie für diese Drehstromlast entsprechend der obigen Schaltung allgemeine Ausdrücke für die **Null-, Mit- und Gegenimpedanz** ($Z_{(0)}, Z_{(1)}, Z_{(2)} = f(Z_b)$).
Hinweis: Verwenden Sie dafür die Messvorschriften für das jeweilige System.
- b. (2) Berechnen Sie die Werte für die **Null-, Mit- und Gegenimpedanz** ($Z_{(0)}, Z_{(1)}, Z_{(2)}$) mit $Z_b = (15 + j \cdot 5)\Omega$

Diese Last wird nun an ein symmetrisches Drehstromsystem angeschlossen. Dabei ergeben sich folgende Phasenströme (Drehung zwischen den Phasen beträgt exakt 120°):

$$|I_a| = k \cdot I_{Ph}, |I_b| = I_{Ph}, |I_c| = I_{Ph}$$

Hinweis: Die folgenden Punkt sind auch ohne die Punkte a. + b. lösbar. Rechnen Sie dazu nun

mit $Z_{(0)} = \frac{9}{5} \cdot Z_b, Z_{(1)} = Z_{(2)} = \frac{6}{5} \cdot Z_b$

- c. (6) Berechnen Sie allgemein die **symmetrischen Stromkomponenten** $I_{(0)}, I_{(1)}, I_{(2)} = f(k, I_{Ph})$.
- d. (2) Berechnen Sie allgemein die **Spannungskomponenten** $U_{(0)}, U_{(1)}, U_{(2)} = f(Z_b, k, I_{Ph})$.
- e. (3) Berechnen Sie allgemein die **Phasenspannung** $U_a = f(Z_b, k, I_{Ph})$.
- f. (2) Berechnen Sie die **Phasenspannung** U_a mit $Z_b = (15 + j \cdot 5)\Omega, k = 0,619$ und $I_{Ph} = 13,05$ A.

3. Wasserkraft (24 Punkte)

Ein Pumpspeicherkraftwerk weist folgende Kenndaten auf:

Volumen Obersee	V_{OS}	50 Mio. m ³
Volumen Untersee	V_{US}	25 Mio. m ³
Füllstand Obersee (des Volumens)		40 %
Füllstand Untersee (des Volumens)		85 %
mittlere Fallhöhe	h	250 m
Nenndurchfluss	Q_N	110 m ³ /s
Hydraulischer Wirkungsgrad	η_H	94 %
Turbinenwirkungsgrad	η_T	90 %
Pumpenwirkungsgrad	η_P	88 %
Elektrischer Wirkungsgrad	η_{el}	96 %
Eigenbedarfsfaktor	ε	2 %

Die mittlere Fallhöhe h und der Durchfluss Q sollen als konstant angenommen werden.

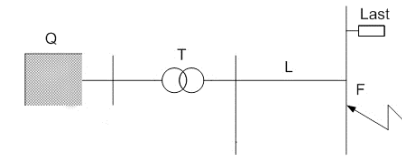
- (4) Welche **potenzielle Energie** weist der **Speicherinhalt** des **Oberbeckens** gegenüber dem Unterbecken auf?
- (3) Um wie **viel °C** würde die Temperatur von Wasser im Untersee ansteigen, wenn Wasser aus dem oberen Becken abgelassen wird damit der **Untersee zur 100%** gefüllt wird? (Spezifische Wärmekapazität von Wasser ist $c = 4,18 \text{ kWs/kgK}$)
- (6) Wie hoch ist die **elektrische Pumpleistung P_{el}** des Pumpspeicherkraftwerks, um einen Durchfluss von $Q = 90 \text{ m}^3/\text{s}$ im **Pumpbetrieb** zu erzielen?
- (5) **Wie lange** kann unter den gegebenen Füllständen und dem Durchfluss aus Punkt (c) das Kraftwerk im **Pumpbetrieb** gefahren werden?
HINWEIS: es finden keine weiteren Zu- oder Abflüsse aus Ober- und Untersee statt.
- (3) Welche **elektrische Energie** wird in dem Zeitraum aus Punkt (d) aufgenommen?
- (3) Um wie viel erhöht sich dabei die **potenzielle Energie** des Wassers im Pumpspeicherkraftwerk?

4. Fünf Sicherheitsregeln (4 Punkte)

Bringen Sie die fünf Sicherheitsregeln in die richtige Reihenfolge:

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

5. Dreipoliger Kurzschluss (24 Punkte)



Die **Netzeinspeisung** weist folgende Kenndaten auf:

Nennspannung	U_{nQ}	110 kV
Kurzschlussleistung	S_{kQ}	5 GVA
Sicherheitsfaktor	c	1,1
Resistanz-Reaktanz-Verhältnis	R_Q / X_Q	0,35

Der **Transformator** weist folgende Kenndaten auf:

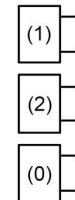
Primärspannung	U_1	110 kV
Sekundärspannung	U_2	30 kV
Nennscheinleistung	S_N	40 MVA
Kurzschlussspannung	u_k	0,14
Kurzschlussverluste	P_k	300 kW

Die **Leitung** weist folgende Kenndaten auf:

Widerstandsbelag	R'	0,1 Ω/km
Induktivitätsbelag	L'	0,75 mH/km
Kapazitätsbelag	C'	13 nF/km
Länge	l	60 km

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

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



- (4) Berechnen Sie den Betrag des dreiphasigen **Anfangs-Kurzschlussstrom I_{k3p}''** .
- (4) Berechnen Sie den Betrag des maximalen **dreiphasigen Stoßstrom i_p**
HINWEIS: $i_p = \sqrt{2} (1 + e^{-t.R/L}) I_{k3p}''$ „worst case“ für $t \cong 10 \text{ ms}$
- (5) Wie hoch ist der Anfangs-Kurzschlussstrom I_{k3p}'' , wenn der dreipolige **Fehler** nicht am Ende der Leitung sondern auf der **Primärseite** des **Transformators** erfolgt?