

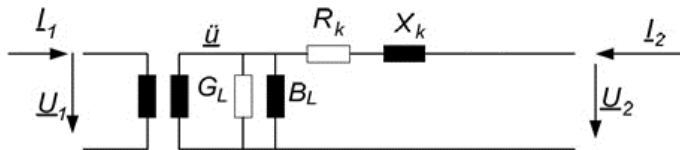
Schriftliche Prüfung aus Energieversorgung, am 06.03.2013

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

1. Ersatzschaltung des Zweiwicklungstransformators (24 Punkte)

Ein Zweiwicklungstransformator hat folgende Daten:

- Spannungsübersetzungsverhältnis: $U_1/U_2 = 110\text{kV}/10\text{kV}$
- Nennscheinleistung: $S_N = 32\text{ MVA}$
- Kurzschlussspannung: $u_k = 12\%$
- Kurzschlusswirkverluste: $P_k = 840\text{ kW}$
- Leerlaufstrom: $i_l = 0,3\%$
- Leerlaufwirkverluste: $P_L = 12\text{ kW}$

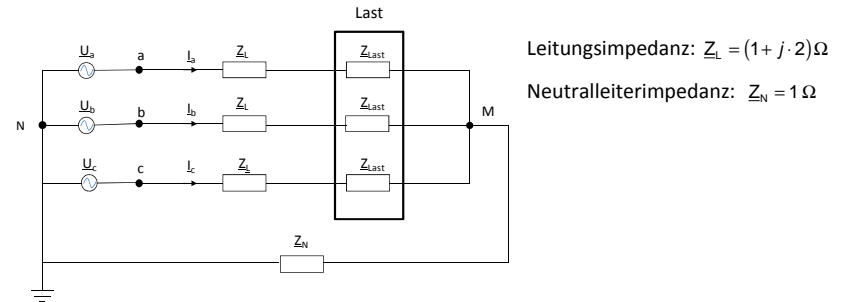


Hinweis: Für die Berechnung des Kurzschlussfalles können die Leerlaufverluste vernachlässigt werden.

- (4) Bestimmen Sie den Betrag der **Kurzschlussimpedanz Z_k** für die 10-kV-Seite
- (4) Bestimmen Sie die **Kurzschlussresistenz R_k** für die 10-kV-Seite
- (4) Bestimmen Sie die **Leerlaufkonduktanz G_L** für die 10-kV Seite
- (4) Bestimmen Sie die **Leerlaufsuszeptanz B_L** für die 10-kV Seite
- (4) Wie groß ist der **maximal auftretende Kurzschlussstrom** auf der 10-kV Seite
- (4) Bestimmen Sie den **Betrag der Kurzschlussimpedanz Z_k** für die 110-kV-Seite

2. Drehstromkomponentensystem (24 Punkte)

Gegeben ist folgendes Drehstromsystem:



Der symmetrische Drehstromverbraucher (Last) in Sternschaltung, besitzt folgende Nenndaten (Typenschild):

Asynchronmaschine	
Nennfrequenz f	50 Hz
Nennspannung U_N	380 V/660 V Δ/Y
Nennstrom I_N	9,2 A/5,3 A
Leistungsfaktor $\cos(\varphi)$	0,8
Nennleistung P_N (Welle)	4 kW (mechanisch)
Nennzahl n_N	1435 1/min

- (5) Berechnen Sie die **Impedanz Z_{Last}** des Drehstromverbrauchers entsprechend der oben dargestellten Ersatzschaltung für Nennbedingungen. **Komplexer Wert!**
- (4) Ermitteln Sie (für das gesamte Drehstromsystem entsprechend Skizze) **Null-, Mit- und Gegenimpedanz $Z_{(0)}, Z_{(1)}, Z_{(2)}$** .
Hinweis: Rechnen Sie nun mit $Z_{Last} = (60 + j \cdot 70)\Omega$

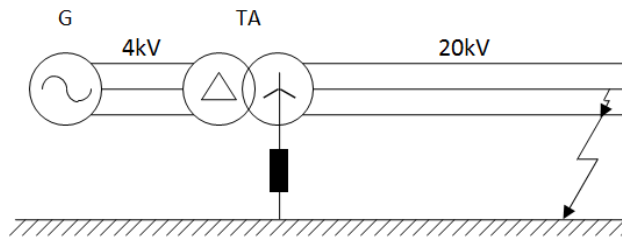
Durch Messung werden die Spannungen in den einzelnen Phasen ermittelt:

$$|U_a| = 360\text{ V}, |U_b| = 300\text{ V}, |U_c| = 300\text{ V}$$

Die Drehung zwischen den Phasen beträgt exakt 120° !

- (7) Berechnen Sie die **symmetrischen Spannungskomponenten $U_{(0)}, U_{(1)}, U_{(2)}$** .
- (8) Berechnen Sie die **symmetrischen Stromkomponenten $I_{(0)}, I_{(1)}, I_{(2)}$** .

3. Zweipoliger Kurzschluss mit Erdberührung (24 Punkte)

Generator:

$U_N = 4\text{kV}$, $S_N = 7\text{MVA}$, $x_d'' = 12\%$

Transformator:

YNd5, $U_1/U_2 = 20/4$, $S_N = 7\text{MVA}$, $u_k = 15\%$, (Annahme $P_k = 0$), $X_0 \approx 0\ \Omega$ (auf 20kV Seite)

Sternpunkt **exakt kompensiert** („gelöschtes Netz“)

Freileitung:

$X'_1 = 0,35\ \text{Ohm/km}$, $X'_0 = 0,8\ \text{Ohm/km}$, $C'_E = 9\ \text{nF/km}$, $l = 20\ \text{km}$

Am Ende der Freileitung ereignet sich ein **zweipoliger Kurzschluss** zwischen den Phasen b und c **mit Erdberührung**.

- (4) Wie groß ist die im Sternpunkt verwendete **Petersonspule**, sodass die Leitungskapazitäten exakt kompensiert werden?
- (4) Berechnen Sie die wirksamen **Impedanzen** des **Generators**, des **Transformators** und der **Leitung** (in Ohm) am Kurzschlussort.
- (4) Berechnen Sie die **Mit-, Gegen und Nullimpedanz**.
- (4) Zeichnen Sie die **Ersatzschaltung** im Mit-, Gegen- und Nullsystem mit korrekter Verschaltung der drei Systeme für den dargestellten Kurzschlussfall.
- (4) Wie groß sind die drei **Komponentenströme** $I_{(0)}$, $I_{(1)}$ und $I_{(2)}$ am Kurzschlussort?
- (4) Wie groß sind die drei **Phasenströme** $I_{(a)}$, $I_{(b)}$ und $I_{(c)}$ am Kurzschlussort?

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. Barwertrechnung (24 Punkte)

In einem Verbundsystem soll ein Kraftwerk zur Erzeugung von Spitzenleistung mit einer Anschlussleistung von $200\ \text{MW}_{\text{el}}$ und einer jährlichen Einspeisung von $360\ \text{GWh}$ errichtet werden.

Zur Auswahl stehen ein Pumpspeicherkraftwerk und ein Gasturbinenkraftwerk. Der Zufluss des Pumpspeicherkraftwerks soll vernachlässigt werden. Ebenso soll der Restwert der Kraftwerke am Ende der Nutzungsdauer vernachlässigt werden. Der Zinssatz beträgt 6% . Folgende Kenndaten stehen Ihnen zur Verfügung:

	Pumpspeicher-KW	Gasturbinen-KW
spez. Errichtungskosten	3100 €/kW _{el}	1300 €/kW _{el}
Nutzungsdauer	50 a	35 a
Bezugskosten d. Pumpenergie	0,09 €/kWh _{el}	-
Brennstoffkosten	-	0,07 €/kWh _{thermisch}
leistungsabhängige Betriebskosten	30 €/kW _{el} a	25 €/kW _{el} a
arbeitsabhängige Betriebskosten	0,0015 €/kWh _{el}	0,003 €/kWh _{el}
Pumpenwirkungsgrad	87 %	
Turbinenwirkungsgrad	91 %	
Gesamtwirkungsgrad	-	38 %

Hinweise: Die Errichtungskosten fallen zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme an und der Betrachtungszeitraum ist die jeweilige Nutzungsdauer der Kraftwerke.

- (9) Wie groß ist der **Barwert des Pumpspeicherkraftwerks** zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme in Hinblick auf die Versorgungsaufgabe?
- (8) Wie groß ist der **Barwert des Gasturbinenkraftwerks** zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme in Hinblick auf die Versorgungsaufgabe?
- (5) Nach 35 Jahren wird das Gasturbinenkraftwerk um 25 Mio. € generalsaniert, sodass sich die Nutzungsdauer um weitere 15 Jahre erhöht. Wie groß ist unter diesen Umständen der **Barwert des Gasturbinen-KW zum Zeitpunkt der ursprünglichen Inbetriebnahme**?
- (2) **Welches Kraftwerk würde** aus rein wirtschaftlichen Gründen **gebaut werden** um eine Versorgung mit der geforderten Energiemenge für die nächsten 50 Jahre zu gewährleisten?