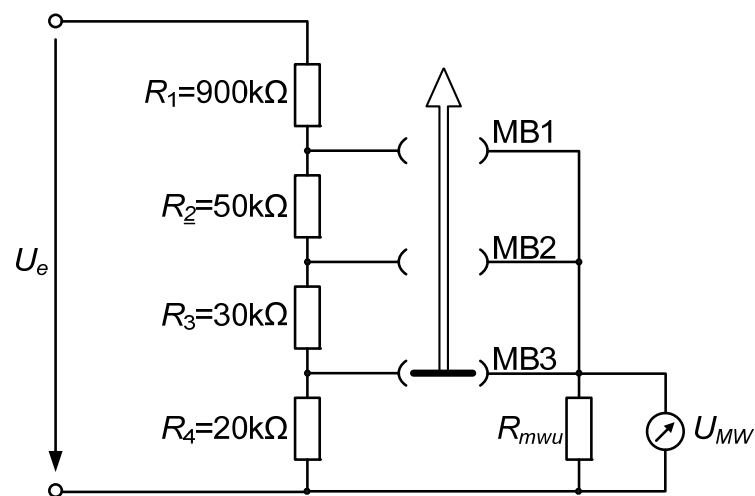


Name, Vorname	Testat	

## Aufgabe 1: Spannungsmessung

Der Messbereich MB eines Spannungsmessgeräts mit (parallelem) Innenwiderstand  $R_{mwu}$  soll gemäß **Fig.1** mit einer Spannungsteilerkette erweitert werden.



**Fig.1: Messbereichserweiterung mit Spannungsteilerkette**

- Welchen Wert hat die Eingangsspannung  $U_e$ , wenn die gemessene Spannung  $U_{MW}$  den Wert 1V besitzt? Berechnen Sie diese Eingangsspannung für alle drei Messbereiche. Das Messgerät kann für diese Teilaufgabe als ideal angenommen werden (d.h.  $R_{mwu} \rightarrow \infty$ ).
- In welchem Messbereich (Eingangsspannungsbereich) MB ist der relative Fehler durch  $R_{mwu} < \infty$  am grössten? Für den relativen Fehler gilt die Definition:

$$F = - \frac{U_{ist} - U_{gemessen}}{U_{ist}}$$

- Welchen Wert muss  $R_{mwu}$  mindestens aufweisen, damit der Betrag dieses Fehlers betragsmässig kleiner als 1 % bleibt?

## Aufgabe 2: Wissenswertes

### 2.1 Vergleich von Kupfer- und Aluminiumleitungen

Eine Kupferleitung ( $\kappa_{Cu} = 56 \text{ Sm/mm}^2$ ) mit dem Querschnitt  $A = 10 \text{ mm}^2$  soll durch eine widerstandsgleiche Aluminiumleitung ( $\kappa_{Al} = 34 \text{ Sm/mm}^2$ ) ersetzt werden.

- Welchen Querschnitt muss die Aluminiumleitung erhalten?
- Wie gross ist das Verhältnis der Massen eines Leitungsstücks gleicher Länge, wenn die Dichte von Kupfer  $\rho_{Cu} = 8.9 \text{ kg/dm}^3$  und von Aluminium  $\rho_{Al} = 2.7 \text{ kg/dm}^3$  beträgt?
- Kupfer ist pro Kilogramm etwa 2.797-mal teurer als Aluminium, oder anders ausgedrückt, Kupfer ist pro Kubikmeter etwa 9.42-mal teurer als Aluminium (Stand 2006). Warum werden elektrische Leitungen trotzdem in Kupfer und nicht in Aluminium ausgeführt?
- Nennen Sie Anwendungen in denen Aluminium vorteilhaft einsetzbar ist / eingesetzt wird.

### 2.2 Niederspannungs- und Hochspannungsleitungen

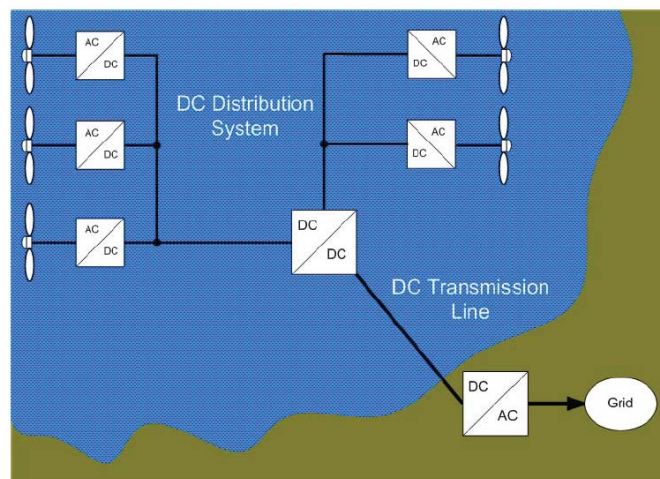


Fig.2: Kopplung eines Off-Shore Windparks an das elektrische Verteilnetz.

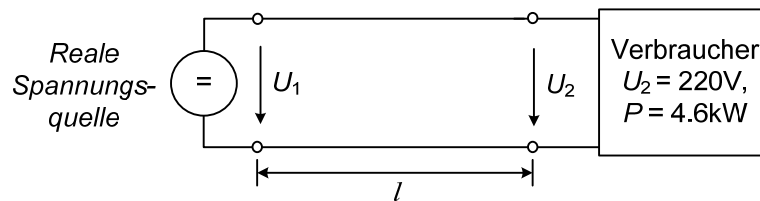
Nehmen wir an, die elektrische Leistung  $P = 165 \text{ MW}$  einer Windanlage soll über ein Seekabel (DC Transmission Line) in das elektrische Verteilnetz gespeist werden. Gehen Sie dabei von einer maximal zulässigen Stromdichte in den Leitern von  $J = 1 \text{ A/mm}^2$  aus.

- Welcher Leiterquerschnitt wird bei einer Übertragungsspannung  $U_1 = 132 \text{ kV}$  benötigt?
- Berechnen Sie den erforderlichen Querschnitt wenn die Übertragungsspannung nur  $U_1 = 220 \text{ V}$  betragen würde. Vergleichen Sie das Ergebnis mit Teilaufgabe a).
- Wie gross ist der totale Spannungsabfall an der Hin- und Rückleitung (bei der gegebenen Stromdichte)? Die Leitungen seien in Kupfer ( $\kappa_{Cu} = 56 \text{ Sm/mm}^2$ ) ausgeführt. Verwenden Sie für die Länge der Leitung  $l = 50 \text{ km}$ .
- Welcher Anteil der eingespeisten Leistung geht in der Übertragungsleitung verloren? Wie hoch ist der Wirkungsgrad der Energieübertragung? Verwenden sie für die Eingangsleistung  $P = 165 \text{ MW}$  und die Eingangsspannung  $U_1 = 132 \text{ kV}$ .

### Aufgabe 3: Vermischte Aufgaben

#### 3.1 Erforderlicher Leitungsquerschnitt

Für die in **Fig.3** abgebildete Gleichstromleitung, deren Hin- und Rückleiter aus Kupfer ( $\kappa_{Cu} = 56 \text{ Sm/mm}^2$ ) besteht, sei eine längenbezogene Verlustleistung  $P_V'$  von maximal  $2.5 \text{ W/m}$  (zusammen für Hin- und Rückleiter) zulässig.



**Fig.3:** Gleichstromleitung

Die Leitung soll einen Verbraucher mit  $U_2 = 220\text{V}$  versorgen, der dabei die Leistung  $P = 4.6\text{kW}$  aufnimmt.

- Welche Querschnittsfläche müssen Hin- und Rückleiter mindestens aufweisen?
- Welche Quellenspannung  $U_0$  muss die reale Quelle (Innenwiderstand  $R_i = 200\text{m}\Omega$ , Leitungslänge  $l = 1\text{m}$ ) aufweisen?
- Geben Sie ein Ersatzschaltbild der Anordnung an.

#### 3.2 Heizdraht

Welche Länge muss ein Heizdraht eines Kochgeräts mit dem Warmwiderstand  $R = 55\Omega$  bei einer Temperatur von  $300^\circ\text{C}$  haben, wenn er aus Chromnickel (Leitfähigkeit  $\kappa = 0.86 \text{ Sm/mm}^2$  bei  $300^\circ\text{C}$ ) besteht und den Durchmesser  $d = 0.45\text{mm}$  bei kreisförmigem Querschnitt aufweisen soll?

#### 3.3 Widerstand mit Temperaturbeiwerten

An einem ohmschen Widerstand werden bei zwei Temperaturen  $\vartheta_1$  und  $\vartheta_2$  folgende Messungen durchgeführt:

$$1.) \vartheta_1 = 220^\circ\text{C} : \quad \frac{R_{\vartheta_1}}{R_{20}} = 1.1$$

$$2.) \vartheta_2 = 2020^\circ\text{C} : \quad \frac{R_{\vartheta_2}}{R_{20}} = 1.3$$

$R_{20}$  bezeichnet den Widerstandswert bei  $\vartheta = 20^\circ\text{C}$ . Bestimmen Sie die Temperaturbeiwerte  $\alpha_{20}$  und  $\beta_{20}$ .

*Hinweis: Diese Temperaturbeiwerte beschreiben die Temperaturabhängigkeit des Widerstandsmaterials gemäß der Formel  $R(\Delta\vartheta) = R_{20} (1 + \alpha_{20} \Delta\vartheta + \beta_{20} \Delta\vartheta^2)$  mit  $\Delta\vartheta = \vartheta - 20^\circ\text{C}$ .*

## Aufgabe 4: Dehnungsmessstreifen

### (Nicht testatpflichtig)

Wird ein elektrischer Leiter gestreckt oder gestaucht, so ändern sich Länge, Querschnitt und spezifischer Widerstand. Daraus resultiert eine Änderung des elektrischen Widerstandes, so dass über den Widerstand auf die Formänderung und die, die Formänderung verursachende Grösse (z.B. Kraft oder Drehmoment) zurückgeschlossen werden kann.

Dieses Grundkonzept findet bei Dehnungsmessstreifen (DMS) Anwendung. Bei DMS mit metallischen Leitern liegt eine mäanderförmig verlaufende Leiterbahn mit Anschlüssen zur Kontaktierung zwischen zwei elektrisch isolierende Trägerfolien. Zur Messung wird der DMS auf das zu untersuchende Werkstück geklebt. Da sich der spezifische Widerstand von Metallen bei elastischer Verformung nur wenig ändert, kann über die Widerstandsänderung direkt auf die Dehnung oder Stauchung geschlossen werden.



Fig.4: Dehnungsmessstreifen

Der in **Fig.4** abgebildete DMS bestehe aus Konstantan, mit einem spezifischen Widerstand von  $\rho_{20,Ko} = 0.5 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ . Die Temperaturabhängigkeit ist zu vernachlässigen. Die Messgitterlänge betrage  $l = 10 \text{mm}$ . Die Leiterbahnen seien rechteckig im Querschnitt, die Breite einer Leiterbahn betrage  $b = 100 \mu\text{m}$ , die Höhe  $h = 10 \mu\text{m}$ . Der Widerstand der Verbindungsbögen am Rand des Gitters, sowie der Kontaktflächen (bei den Anschlüssen A und B) sind in allen Teilaufgaben zu vernachlässigen.

- a) Berechnen Sie den ohmschen Widerstand  $R_{AB}$  des abgebildeten DMS im Bereich der Messgitterlänge.

Beachten Sie im Folgenden, dass sich der Querschnitt einer Leiterbahn ändert, wenn diese in Längsrichtung gedehnt wird. Gehen Sie davon aus, dass die Leiterbahn bei Dehnung keine Volumenänderung erfährt.

- b) Um welchen Wert  $\Delta R$  ändert sich der Widerstand des DMS, wenn er um 1mm in Längsrichtung gedehnt wird? Welchen Wert würde man für  $\Delta R$  bei Vernachlässigung der Querschnittänderung erhalten?
- c) DMS werden durch den k-Faktor beschrieben. Es gilt  $\Delta R \approx k R \epsilon$ , wobei  $\epsilon = \Delta l / l$  die Dehnung bezeichnet. Wie gross ist der k-Faktor für den abgebildeten DMS? Wie hoch ist also  $\Delta R$  für  $\epsilon = 0.08$ ?
- d) Nun werde der DMS an den Kontaktflächen (Anschlüsse A und B) mittels zweier Golddrähte kontaktiert ( $\rho_{20,Au} = 0.022 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ ). Die Golddrähte seien 50cm lang und vom kreisförmigen Querschnitt  $50 \mu\text{m}^2$ . Um wie viel Prozent wird dadurch der Betrag des zu messenden Widerstands verfälscht?