
Grundlagen der elektronischen Messtechnik

Übung 3: Statische Eigenschaften von Messsystemen

Prof. Dr.-Ing. Clemens Gühmann
Daniel Thomanek, M. Sc.

Technische Universität Berlin
Fakultät IV Elektrotechnik und Informatik
Institut für Energie und Automatisierungstechnik
Fachgebiet Elektronische Mess- und Diagnosetechnik

Problemstellung

Ein Messsystem ist:

- Technisches Gerät mit dem eine Messung durchgeführt wird
- Besteht i.d.R. aus mehreren Komponenten:
 - Mechanische Komponenten zur Umsetzung des Messprinzips
 - Wie Magnetfeldspule zur Spannungsmessung
 - PT100-Temperaturabhängiger Widerstand
 - Komponenten zur Erfassung der Messgröße
 - Messspitzen, Zuleitungen, etc.
 - Komponenten zur Anzeige der Messgröße
 - ADU-Wandler
 - Zeigerinstrument

Die Gesamtheit dieser Komponenten und deren Zusammenspiel wird Messsystem genannt

Problemstellung

Ein solches Messsystem benötigt i.d.R. eine gewisse Zeit, bis es das gewünschte Messergebnis anzeigt:

- Statische Eigenschaften von Messsystemen
 - Eigenschaften eines Messsystems, nachdem es die benötigte Zeit hatte das Messergebnis zu ermitteln (stationärer Endzustand nach dem Einschwingvorgang)
 - Kann durch eine Kennlinie (Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgangsgröße) beschrieben werden
 - Diese Übung
- Dynamische Eigenschaften von Messsystemen
 - Eigenschaften eines Messsystems, während des Einschwingvorgangs bzw. bei Änderung der Messgröße
 - Nächste Übung

Aufgabe 3.1.1. Kennlinie

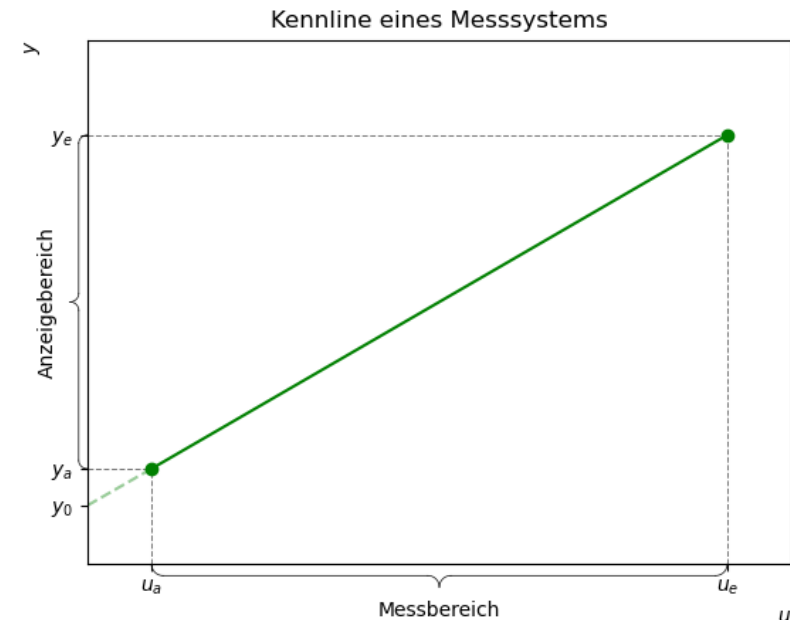
Die Kennlinie gibt das Verhalten zwischen Eingangs- und Ausgangsgröße eines Messsystems im statischen Endzustand (eingeschwungener Zustand) an

Bestandteile der Kennlinie

- y_0 : Nullpunkt (Nicht unbedingt Teil des Mess- oder Anzeigebereichs)
- $u_e - u_a$: Messbereich
 - u_a : Beginn des Messbereichs
 - u_e : Ende des Messbereichs
- $y_e - y_a$: Anzeigebereich
 - y_a : Beginn des Anzeigebereichs
 - y_e : Ende des Anzeigebereichs

Bei linearen Kennlinien:

- Empfindlichkeit:
 - $E = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_e - y_a}{u_e - u_a} = \frac{\text{Anzeigebereich}}{\text{Messbereich}}$

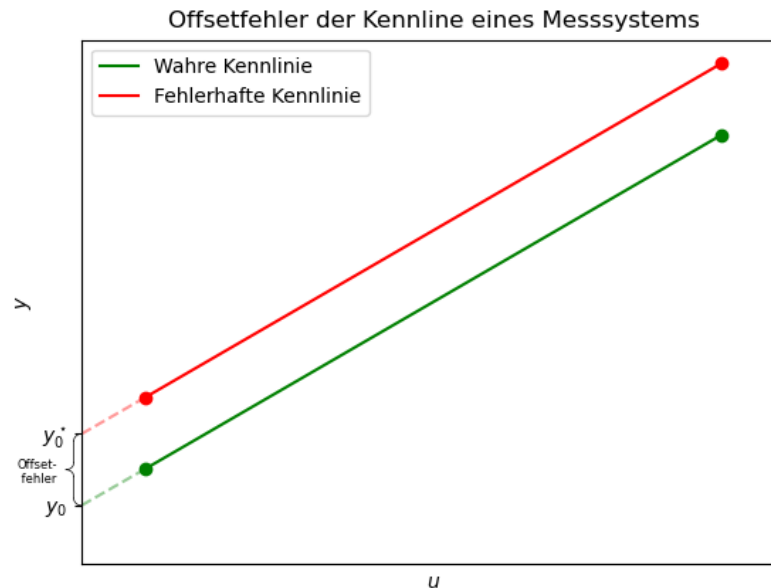


Aufgabe 3.1.2. Kennlinienfehler

Ist die Kennlinie des Messsystems linear, können die folgenden Kennlinienfehler auftreten:

1. Offsetfehler (auch Nullpunktfehler genannt)

- Die Steigung stimmt, aber die Gerade verläuft nicht durch den richtigen Nullpunkt y_0

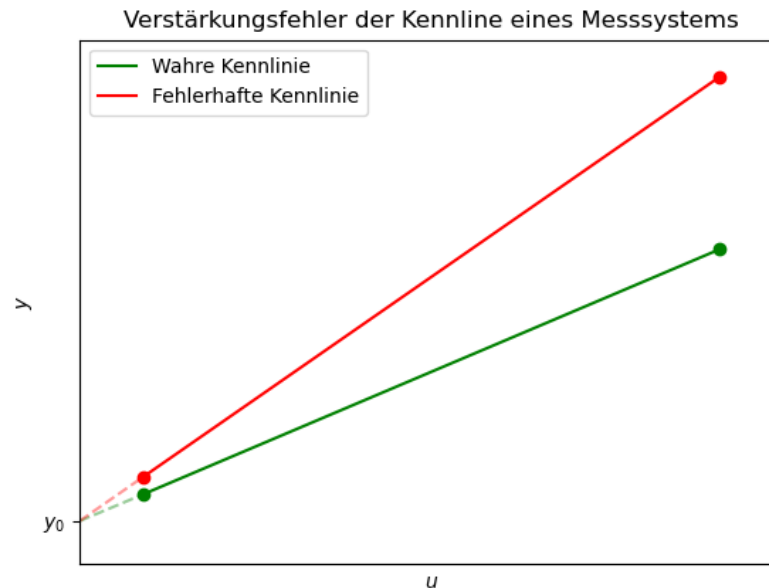


Aufgabe 3.1.2. Kennlinienfehler

Ist die Kennlinie des Messsystems linear, können die folgenden Kennlinienfehler auftreten:

2. Verstärkungsfehler (auch Skalenfaktorfehler genannt)

- Der Nullpunkt stimmt, aber die Gerade hat die falsche Steigung

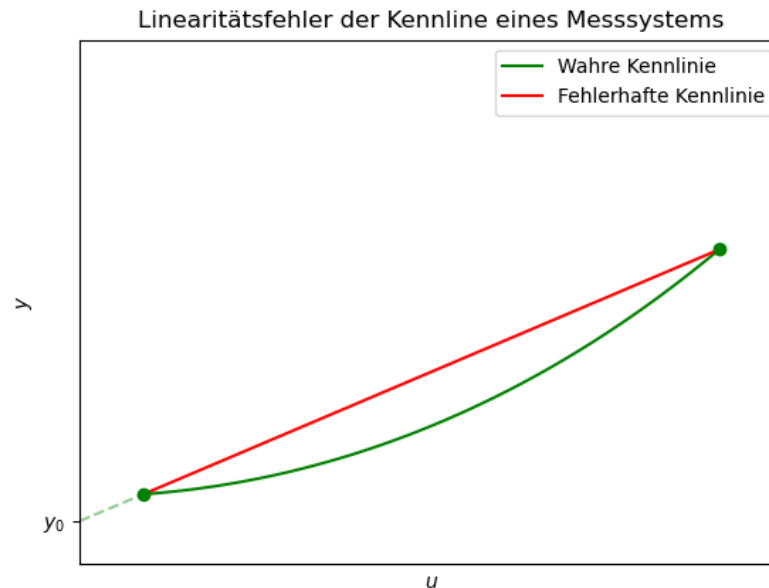


Aufgabe 3.1.2. Kennlinienfehler

Ist die Kennlinie des Messsystems linear, können die folgenden Kennlinienfehler auftreten:

3. Linearitätsfehler

- Anfangs und Endpunkt stimmen überein, dazwischen verläuft die Kennlinie nichtlinear

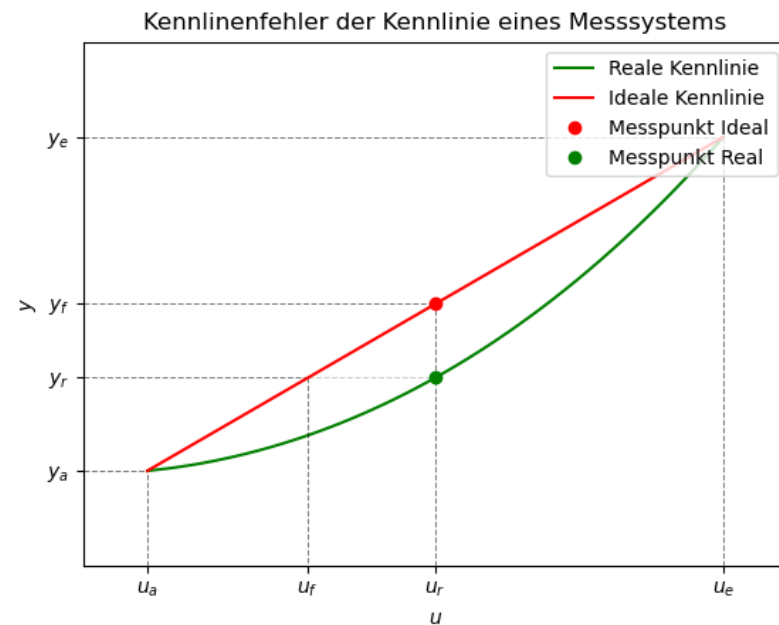


Aufgabe 3.1.2. Kennlinienfehler

Der Fehler zwischen realer und idealer Kennlinie kann für einen bestimmten Messwert angegeben werden:

Relevante Größen:

- u_r : Richtiger Messwert
- y_f : Falscher Anzeigewert
- u_f : Falscher Messwert
- y_r : Richtiger Anzeigewert
- u_a, y_a : Anfang des Messbereichs
- u_e, y_e : Ende des Messbereichs
- $y_r - y_f$: Relativer Kennlinienfehler



Aufgabe 3.1.2. Kennlinienfehler

Der absolute Kennlinienfehler ($y_r - y_f$) kann dabei in Bezug auf folgende Größen angegeben werden:

- Messanfang y_a (relativ $y_f - y_a$):

- $F_r = \frac{y_r - y_f}{y_f - y_a}$

- Anzeigebereich $y_e - y_a$:

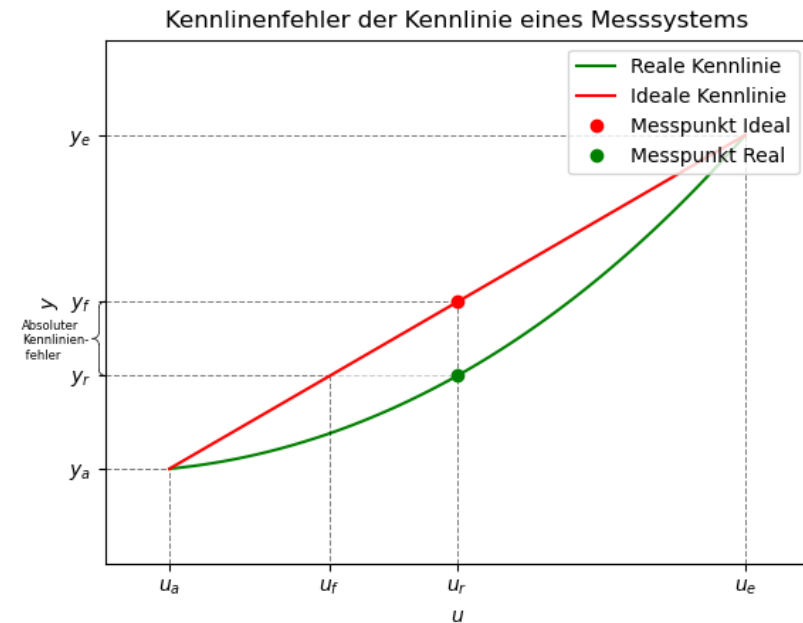
- $F_{r, An} = \frac{y_r - y_f}{y_e - y_a}$

- Anzeigewert y_f :

- $F_{r, S} = \frac{y_r - y_f}{y_f}$

- Anzeigeendwert y_e :

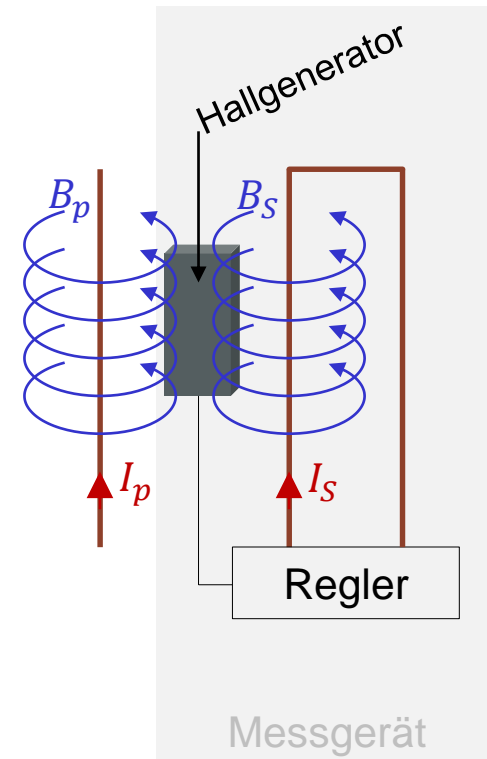
- $F_{r, E} = \frac{y_r - y_f}{y_e}$



Aufgabe 3.2.1. Kompensations-Stromwandler

Funktionsweise des Kompensations-Stromwandlers

- Der zu messende Strom I_p (Primärstrom) erzeugt ein Magnetfeld B_p um den Leiter (Ausrichtung nach Rechte-Hand-Regel)
- Ein Regler erzeugt einen Messstrom I_s , dieser erzeugt ein entgegengesetztes Magnetfeld B_s
- Ein Hallgenerator misst die Differenz der Magnetfelder und meldet diese an den Regler
- Der Regler stellt den Messstrom I_s so ein, dass das resultierende Magnetfeld verschwindet
- Das Resultierende Verhältnis beträgt:
 - $N_1 I_p = N_2 I_s$
 - I.d.R. ist der Sekundäre Leiter aufgewickelt um ein stärkeres Magnetfeld mit kleinerem Strom erzeugen zu können. N_1 und N_2 sind dabei die Anzahl Wicklungen



Aufgabe 3.2.1. Kompensations-Stromwandler

Vor- und Nachteile des Kompensations-Stromwandlers

Vorteile:

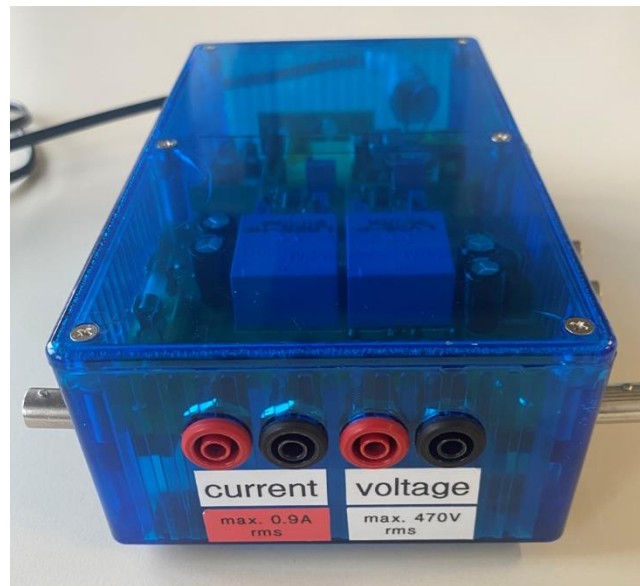
- Galvanische Trennung zwischen zu messendem Strom und Messgerät
- Strommessung ohne Auftrennung und Zwischenschaltung eines Messgerätes möglich

Nachteile:

- Kostenintensiver
- Eigene Stromversorgung nötig (z.B. Batterie oder Stecker)

Aufgabe 3.2.1. Kompensations-Stromwandler

Kennlinie eines Kompensations-Stromwandlers

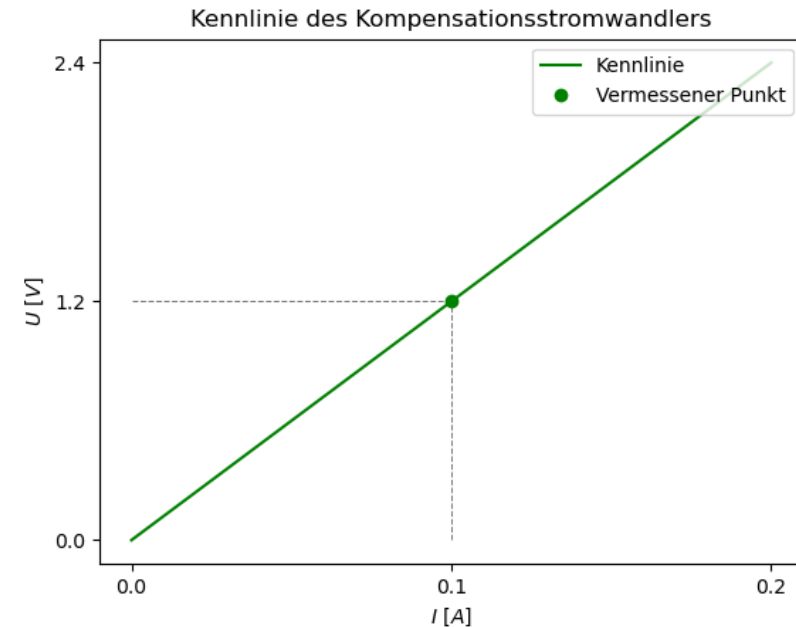


Stromwandler am Fachgebiet. Der Stromwandler gibt zu einem Eingangsstrom eine Spannung entsprechend seiner Kennlinie aus

Aufgabe 3.2.1. Kompensations-Stromwandler

Kennlinie eines Kompensationsstromwandlers:

- Bei einem Messstrom von 0.1A liegt eine Spannung von 1.2V an
- Die Verstärkung ist entsprechend:
 - $V_i = \frac{u_S}{i_e} = \frac{1.2V}{0.1A} = 12 \frac{V}{A}$
- Somit kann die Kennlinie unter den Annahmen:
 - die Kennlinie ist linear und
 - verläuft durch den Ursprunggezeichnet werden
- Die Steigung der Kennlinie entspricht der Verstärkung. Die Geradengleichung ist somit:
 - $U = V_i \cdot I$



Aufgabe 3.2.1. Kompensations-Stromwandler

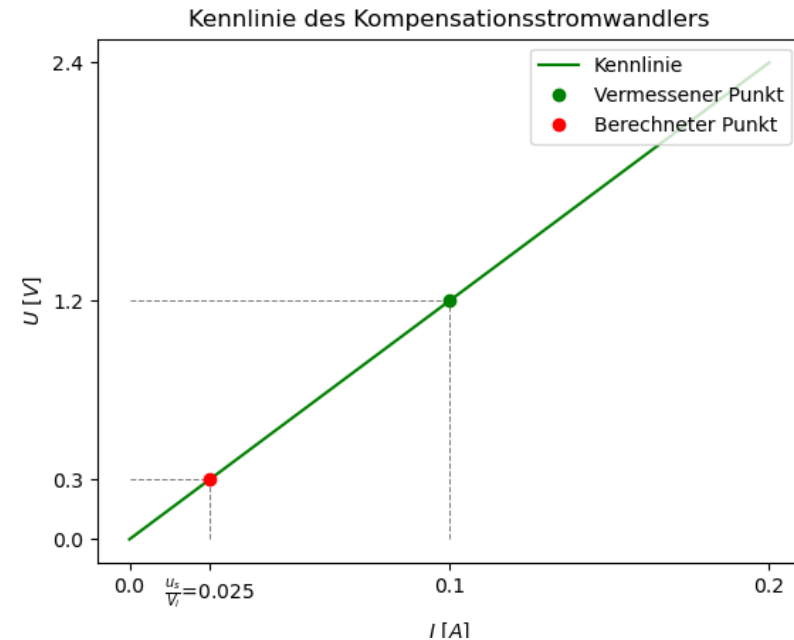
Kennlinie eines Kompensationsstromwandlers:

- Wurde eine Spannung von 0.3V gemessen, kann anhand der Kennlinie oder mithilfe der Gleichung, der entsprechende Strom berechnet werden:

$$U = V_i \cdot I$$

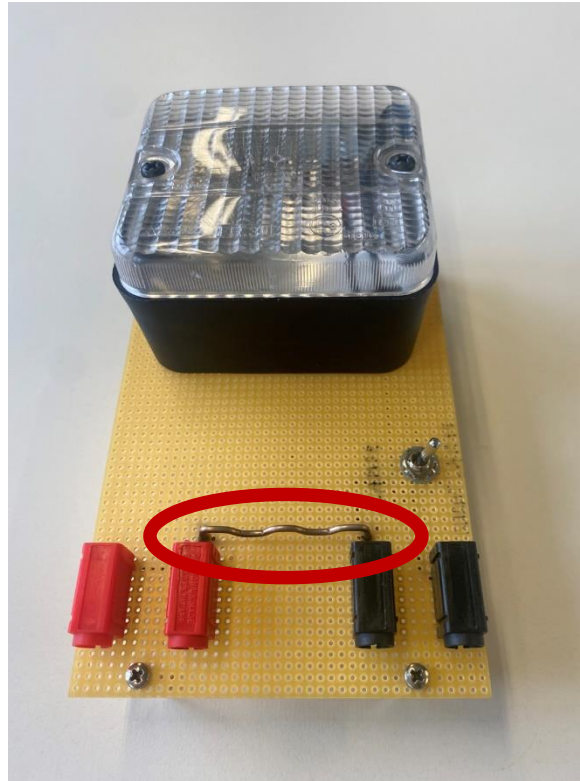
$$\rightarrow I = \frac{U}{V_i}$$

$$\rightarrow I = \frac{0.3V}{12\frac{V}{A}} = 25mA$$



Aufgabe 3.2.2. Shunt-Widerstand

Ein Shunt-Widerstand ist ein hochpräziser Normwiderstand mit sehr kleinem Widerstandswert mit dessen Hilfe der Stromfluss gemessen werden kann

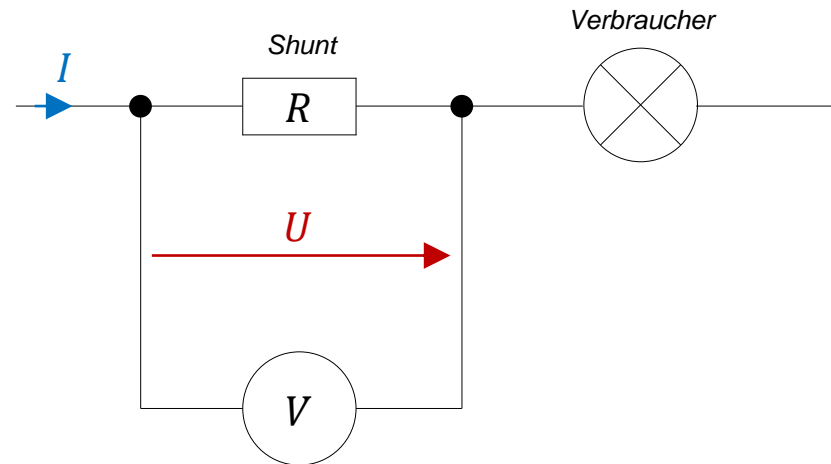


Versuchsplatine am Fachgebiet. Eingekreist ist hier der Shunt-Widerstand zu sehen

Aufgabe 3.2.2. Shunt-Widerstand

Strommessung mittels Shunt-Widerstand

- Der Shunt-Widerstand wird in Reihe zu einem Verbraucher geschaltet werden
- Der Spannungsabfall über dem Shunt kann mit einem Voltmeter gemessen werden
- Über das Ohm'sche Gesetz kann nun der Strom ermittelt werden
- Da der Shunt-Widerstand einen relativ kleinen Wert hat, wird der Strom nur minimal verfälscht
- Vorteil ist, dass auch sehr hohe Ströme so gemessen werden können



Aufgabe 3.2.3. Indirekte Strommessung mit Shunt-Widerstand

→ Handschriftliche Rechnung

Ergebnisse:

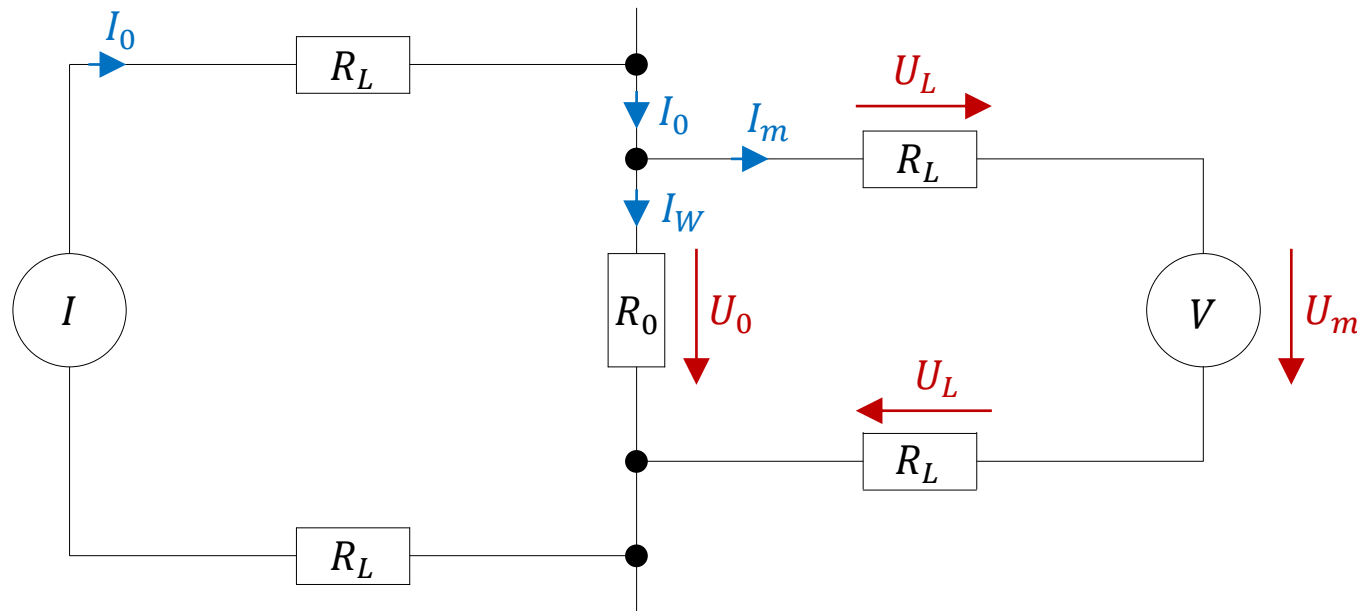
- Anzeige Voltmeter falsche Verkabelung: 130mV
- Anzeige Voltmeter richtige Verkabelung: 100mV
- Berechneter Strom falsche Verkabelung: 13A
- Berechneter Strom richtige Verkabelung: 10A
- Fehler falsche Verkabelung: 30%
- Fehler richtige Verkabelung: 0%

Der Fehler von 30% kommt nur dadurch zustande, dass nicht direkt am Shunt gemessen wurde. Der Widerstand der Messleitungen vom Voltmeter ist in beiden Fällen vernachlässigbar

Aufgabe 3.3.1. Vierleiter Widerstandsmessung

Bei der Vierleiter-Widerstandsmessung erfolgt die Stromzufuhr und Spannungsmessung über getrennte Leiter

- 2x Leiter für die Stromzufuhr + 2x Leiter für die Widerstandsmessung = 4 Leiter



Aufgabe 3.3.1. Vierleiter Widerstandsmessung

Der Widerstandswert müsste wie folgt berechnet werden:

$$R_0 = \frac{U_W}{I_W}$$

Tatsächlich wird folgender Widerstandswert berechnet:

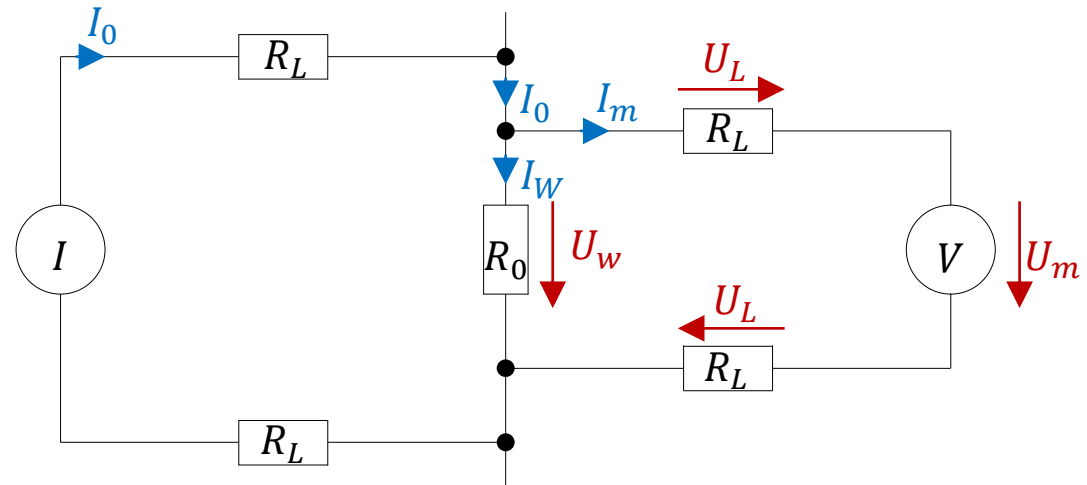
$$\hat{R}_0 = \frac{U_m}{I_0}$$

$$\hat{R}_0 = \frac{U_W - 2U_L}{I_W + I_m}$$

$$\hat{R}_0 = \frac{U_W - 2R_L I_m}{I_W + I_m}$$

Da $I_m \ll I_W$ ergibt sich:

$$\hat{R}_0 \approx \frac{U_W}{I_W} = R_0$$



Aufgabe 3.3.1. Vierleiter Widerstandsmessung

Vor- und Nachteil der Vierleitermessung

Vorteil:

- Es führen nur die Leitungswiderstände der Messleitungen zu Fehlern. Da der Strom durch die Messleitung (I_m) aber sehr viel kleiner ist als jener durch den Widerstand (I_w), haben diese nur einen geringen Einfluss auf die Messung

Nachteil:

- Höherer Apparativer Aufwand durch zusätzliche Messleitungen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Prof. Dr.-Ing. Clemens Gühmann
Daniel Thomanek, M. Sc.

Technische Universität Berlin
Fakultät IV Elektrotechnik und Informatik
Institut für Energie und Automatisierungstechnik
Fachgebiet Elektronische Mess- und Diagnosetechnik