

XIX Stromzangenkalibrierung

XIX.1 Geltungsbereich

Stromzangen (Zangenamperemeter oder Zangenstromwandler) dienen zur berührungslosen Messung der elektrischen Stromstärke in stromdurchflossenen Leitern. In der Regel liefern Stromzangen am Ausgang ihres Sekundärkreises ein Signal, das in Verlauf und Amplitude proportional zu dem im Primärkreis fließenden Strom ist. Folgende Arten von Stromzangen lassen sich unterscheiden:

- **Direkt anzeigende Stromzangen** zeigen die gemessene Stromstärke sofort an einem integrierten oder angeschlossenen Messinstrument an.
- **I-U Stromzangen** wandeln die Stromstärke im Primärkreis in eine proportionale Spannung im Sekundärkreis. Die Anzeige erfolgt mit einem Spannungsmessgerät, Multimeter oder Oszilloskop und kann über den Wandlungsfaktor (z.B. 1:100 V/A) in die entsprechende Stromstärke umgerechnet werden.
- **I-I Stromzangen** liefern analog einen proportionalen Messstrom im Sekundärkreis, der an einem Strommessgerät oder Multimeter gemessen werden kann.

Je nach Ausführung können Zangendurchmesser handelsüblicher Zangen von 0,5 cm bis 10 cm variieren.

XIX.2 Kalibrierverfahren

XIX.2.1 Messung am kurzgeschlossenen Leiter

Die Kalibrierung bis 2,2 A erfolgt analog des in Kapitel III.1.2 dargestellten Kalibrierverfahren für Stromstärkemessgeräte. Der Messstrom wird am Multifunktionskalibrator Fluke 5700A im Modus „Current“ erzeugt und fließt über eine ungeschirmte, kurzgeschlossene Laborleitung. Senkrecht zum Leiter erfolgt dann die Messung mit der zu kalibrierenden Stromzange, wobei auf die richtige Polarität zu achten ist, die bei den meisten Zangen durch einen Hinweispfeil überprüft werden kann. Soweit möglich wird die Leiterposition in der Mitte der Zange gewählt. Es erfolgen immer mehrere Messungen mit verschiedenen Ausrichtungen und Positionen des stromdurchflossenen Leitungsstück relativ zur Zange. Soweit nötig werden dadurch bedingte Abweichungen erfasst, gemittelt und in die Angabe der Messunsicherheit miteinbezogen. Erfolgt die Ausgabe der Messwerte durch Strom- oder Spannungsmessung an einem Multimeter, so wird der genaue Wandlungsfaktor

$$G = \frac{Y_{aus}}{I_{ein}}$$

als Verhältnis der gemessenen Ausgangsgröße Y_{aus} zur eingespeisten Stromstärke

I_{ein} ermittelt und im Kalibrierschein angegeben.

Höhere Ströme können an einem der Stromverstärker Fluke 5220A erzeugt oder an einem Multifunktionskalibrator (Wavetek 9000, Fluke 5500A, Fluke 6100A) entnommen werden. In diesen Fällen erfolgt die genaue Ermittlung der im Messkreis fließenden Stromstärke auf Basis der ohmschen Zusammenhänge zusammen mit dem Messshunt Burster 1282-0,1 und Messung des Spannungsabfalls an HP 3458A (s. Kapitel IV.1).

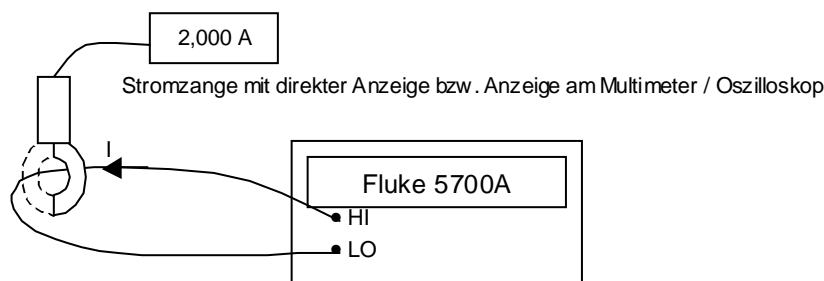


Bild XIX.1 Direkte Kalibrierung am Kalibrator bis 2,2A

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
5.5.11	von: PF am: 08.01.2009	von: PF am: 08.01.2009	Stromzangenkalibrierung	1 von 5

Stromzange mit direkter Anzeige bzw. Anzeige am Multimeter / Oszilloskop

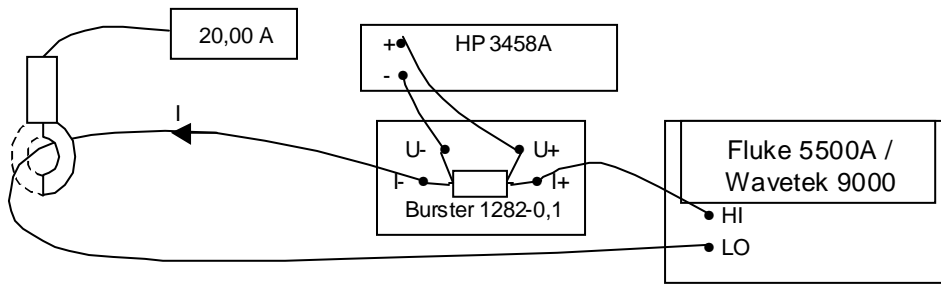


Bild XIX.2 Stromerzeugung über Shuntwiderstand bis 20 A

XIX.2.2 Messung an Leitungswicklungen

Um höhere Stromstärken zu kalibrieren fließt der Strom über Wicklungen mit entsprechender Windungszahl. Dazu stehen 10-, 20-, 50 und 60-fache Wicklungen zur Verfügung, die aufgrund der Leitungsdurchmesser die Kalibrierung von Stromzangen mit einem Durchmesser von etwa >3 cm ermöglichen. Die Wicklungen sind so konstruiert, dass sowohl Leitungswiderstand und Induktivität hinreichend gering sind, da die angeschlossenen Stromquellen nur eine begrenzte Ausgangsspannung (Compliance Voltage) besitzen. Für den Stromverstärker Fluke 5220A ergeben sich mit maximalen Spannungen der Endstufe von 4 V_{DC} und 3 V_{RMS} maximale Lastwiderstände Z_{MAX,DC}=0,2 Ω bzw. Z_{MAX,AC}=0,15 Ω bei einem Ausgangsstrom von 20 A. Im Wechselstrom-Betrieb bei 50 Hz ist daher durch die automatische Abschaltung der Endstufe bei hoher (induktiver) Last mit der 50-fachen Stromwicklung der Betrieb nur bis etwa 16 A gewährleistet.



verschiedene Leitungswicklungen

Um die genaue Stromstärke der Quelle zunächst zu ermitteln wird über den Messshunt Burster 1282-0,1 der Ausgangsstrom des Verstärkers „einkalibriert“ (s. Kapitel IV.1, Bild XIX.2). Danach erfolgt der Anschluss prinzipiell analog zu Bild XIX.1 mit der Leitungswicklung in Serie zum Stromfluss (Bild XIX.3).

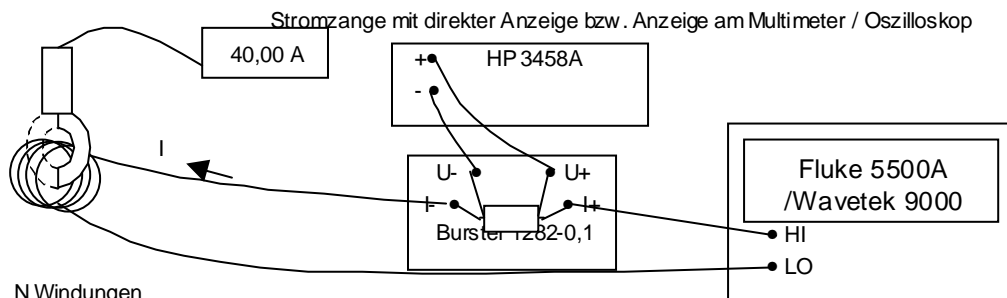


Bild XIX.3 Stromerzeugung über Leitungswicklungen

Die Kalibrierstromstärke ergibt sich somit zu $I = N \cdot I_{Out}$ als Produkt aus Ausgangsstromstärke am Kalibrator und Windungszahl N der Stromwicklungen.

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
5.5.11	von: PF am: 08.01.2009	von: PF am: 08.01.2009	Stromzangenkalibrierung	2 von 5



Stromzangenkalibrierung an 50-facher Leitungswicklung

Die folgende Tabelle verschafft beispielhaft einen Überblick über die mögliche Erzeugung der Stromstärke an Windungen und der verknüpften Messunsicherheit, bezogen auf die Erzeugung der Kalibriersignale:

Kalibrierwert [A]	Windungszahl N	Stromstärke der Quelle [A]	MU-DC	MU-AC 50 Hz
<1 ¹	1	<1	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$
2	1	2	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$8,3 \cdot 10^{-4}$
5	10	0,5	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$8,8 \cdot 10^{-4}$
10	10	1	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$8,5 \cdot 10^{-4}$
20	20	1	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$8,5 \cdot 10^{-4}$
40	20	2	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$8,3 \cdot 10^{-4}$
50	50	1	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$8,5 \cdot 10^{-4}$
100	50	2	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$8,3 \cdot 10^{-4}$
200	10	20	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$
500	50	10	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$
800	50	16	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$6,1 \cdot 10^{-4}$
1000	50	20	$1,5 \cdot 10^{-4}$	

MU-DC: rel. Messunsicherheit Gleichstromstärke („Erzeugung“), k=2

MU-AC 50 Hz: rel. Messunsicherheit Wechselstromstärke („Erzeugung“) 50 Hz, k=2

¹ $I_{DC} \geq 100 \mu A$, $I_{AC} \geq 2,2 \text{ mA}$ am Kalibrator

XIX.3 Messunsicherheitsbudget

XIX.3.1 Direkt anzeigende Stromzangen

Modellgleichung:

Für direkt anzeigende Stromzangen formuliert sich das Modell für die gemessene Stromstärke am Kalibriergegenstand zu

$$I_{Anz} - \Delta I = N \cdot I_{ein} \cdot K_A K_P K_{WP}$$

Die beigeordnete **relative** erweiterte Messunsicherheit (k=2) bestimmt sich zu:

$$W = 2 \cdot w = 2 \cdot \sqrt{w_{ein}^2 + w_A^2 + w_P^2 + w_{WP}^2}$$

XIX.3.2 Stromzangen ohne Anzeige

Modellgleichung:

Für Stromzangen ohne Anzeige ergibt sich für die Kalibrierung des Wandlungsmaßes

$$G = \frac{Y_{aus}}{N \cdot I_{ein}} \cdot K_A K_{D,Y} K_P K_{WP}$$

mit

Die beigeordnete **relative** erweiterte Messunsicherheit (k=2) bestimmt sich zu:

$$W_G = 2 \cdot w_G = 2 \cdot \sqrt{w_{aus}^2 + w_{ein}^2 + w_A^2 + w_P^2 + w_{WP}^2}$$

oder mit der relativen Unsicherheit von direkt anzeigenden Stromzangen w_{direkt} zu

$$W_G = 2 \cdot w_G = 2 \cdot \sqrt{w_{direkt}^2 + w_{aus}^2}$$

Im „worst case“ ergibt sich z.B. aus $W_G = 2 \cdot w_G = 2 \cdot \sqrt{w_{direkt}^2 + w_{aus}^2}$ selbst im unwahrscheinlichen Fall für $2w_{aus}=4,2 \cdot 10^{-3}$ (10 µA, 50 Hz) eine erweiterte Messunsicherheit von etwa 1 %.

XIX.3.3 Ergebnisse

Da in den allen Fällen der Faktor K_P den dominierenden Anteil an der Gesamtunsicherheit darstellt kann eine Obergrenze der Messunsicherheit angegeben werden:

	Kalibrierwert	Bedingung	W_{max}	Bemerkung
direkt anzeigende Zangenstromwandler und Kalibrierung des Wandlungsmaßes	10 µA bis 1000 A	DC	1 %	
	2,2 mA bis 800 A	50 Hz	1 %	
Kalibrierung des Wandlungsmaßes am Oszilloskop	2,2 mA bis 800 A	DC oder 50 Hz	1,4 %	Anzeige am Oszilloskop

Die zu Grunde liegenden **Zahlenwerte und Ergebnisse** der Berechnungen für die einzelnen Bereiche sind der mitgeltenden Excel-Tabelle

- „Messunsicherheiten Tabelle XIX - Stromzangen“ zu entnehmen, die Ergebnisse werden im Leistungsnachweis aufgeführt.

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
5.5.11	von: PF am: 08.01.2009	von: PF am: 08.01.2009	Stomzangenkalibrierung	5 von 5