

Messung von Stromverläufen mit dem Oszilloskop

1. Einführung

2. Grundprinzipien der Realisierung

2.1 Shunt-Methode

2.2 Messung nach dem Stromwandler bzw. Transformatorprinzip

2.2.1 Beschreibung

2.2.2 Fehler des Stromwandlers

2.3 Stromtastkopf nach dem Kompensationsverfahren mit Hall-Sensor

3. Ausführungsbeispiele

3.1 Stromwandler

3.2 Stromtastkopf

4. Beschreibung typischer Anwendungsbeispiele

1. Einführung

Das Oszilloskop ist ein vielseitig anwendbares Messgerät. Die einfachsten Ausführungen zeigen im Wesentlichen den zeitlichen Verlauf der Spannung an. Mit schaltungstechnischen Ergänzungen ist es auch in der Lage den zeitlichen Verlauf des Stromes zu oszillografieren.

Das kann z.B. dann notwendig werden, wenn der genaue Stromverlauf von Interesse ist und dieser sich so schnell ändert, dass er mit Zeigermessgeräten nicht erkennbar ist.

Eine solche Aufgabenstellung könnte sich z.B. ergeben, wenn der maximale Spitzenstrom eines Anlassers im Kfz-Motors gemessen werden soll, um z.B. die notwendige Batterie und die notwendigen Leiterquerschnitte zu bestimmen. Die Spitzenströme lägen in den Bereichen von einigen 100 Ampere.

2. Grundprinzipien der Realisierung

2.1 Die Shunt-Methode

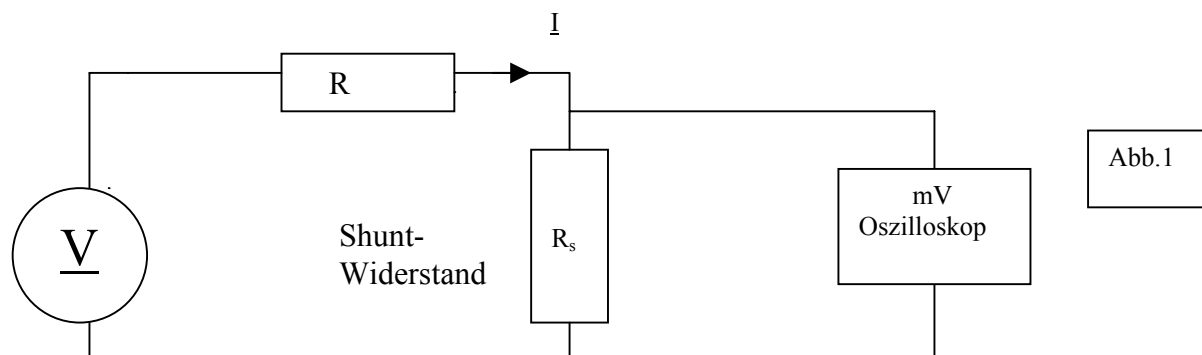


Abb.1

Bei der Shunt-Methode wird die Proportionalität zwischen Spannung und Strom ausgenutzt.

In den Stromkreis wird ein Shunt-Widerstand (Messwiderstand) mit möglichst kleinem und bekanntem Widerstandswert geschaltet. Die mit dem Oszilloskop gemessenen Spannung über dem Shunt-Widerstand ist dem Strom proportional.

Je kleiner der Widerstandswert des Shunt-Widerstandes ist und je kleiner die zu messenden Ströme sind desto kleiner sind die über den Messwiderstand abfallenden Spannungen. Man ist bestrebt den Shunt-Wert so klein wie möglich zu halten, denn je niedriger der Wert ist, desto weniger verfälscht er den wahren Betriebszustand der Schaltung, nämlich ohne Shunt-Widerstand. Leider machen sich beim Messen von sehr kleinen Spannungen mit dem Oszilloskop seine Fehlerquellen bemerkbar. Die grössten Fehlerquellen wären die Offset-Spannung der Eingangsstufen und die Anzeigeungenauigkeit des Bildschirms. Diese Fehlerquellen können minimiert werden, in dem man das Oszilloskop einige Stunden vor der Messung warm laufen lässt. Das gilt aber auch allgemein für alle "aktiven Messgeräte". Mit digitalen Oszilloskopen sind die erwähnten Fehlerquellen naturgemäß wesentlich geringer.

Die Messungenauigkeiten des Oszilloskops insgesamt stecken die Grenze des Messwiderstandswertes nach unten hin ab. Ebenso sind Bauteiltoleranzen der Shunt-Widerstände zu berücksichtigen.

Ein Vorteil dieser Messmethode ist die hohe Grenzfrequenz der messbaren Ströme.

Die Annahme eines idealen Widerstandes ist auch bei einem koaxialen Aufbau, nur bedingt richtig.

Auch eine Induktivität im Bereich von piko Henry in einem Meßshunt verursacht bei einer sehr schnellen Stromänderung, eine Induktionsspannung, die zu einem Meßfehler führt. Ein solcher Messfehler wird beispielsweise in einer nicht-realen negativen Stromspitze zu

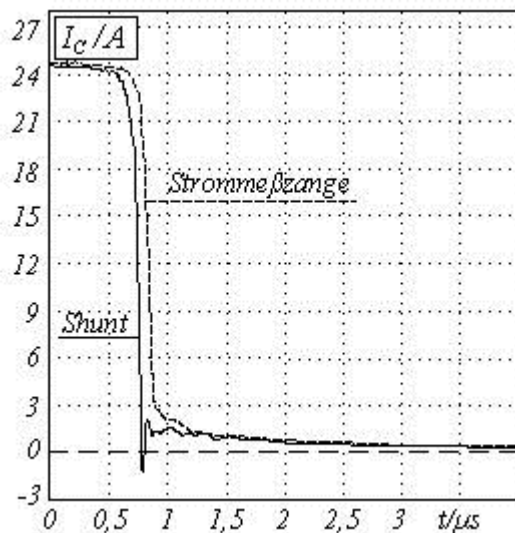


Abb. 2:

Vergleich eines gleichzeitig mit Strommeßzange und Shunt gemessenen Stromabfalls.

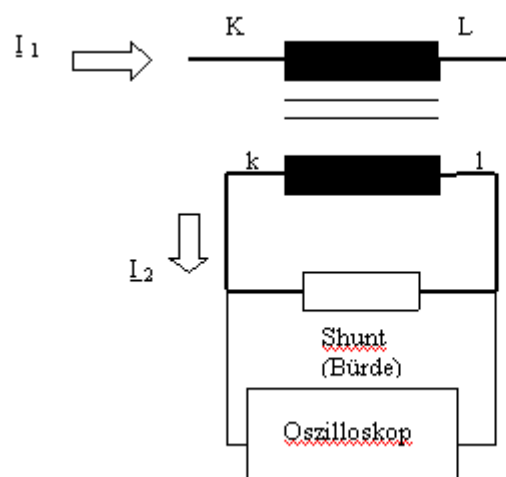
Quelle: Universität Stuttgart

Beginn der Trailstromphase in Abb.2 sichtbar und zeigt einen vermeintlich schnelleren Stromabfall.

Ein Nachteil dieser Messmethode ist, dass das Gehäuse des Oszilloskops auf Mess-Masse liegt, und diese Masse kann ein gefährliches Potential gegenüber Erde aufweisen. D.h. nach dem Einschalten darf das Oszilloskop nicht mehr berührt werden. Deshalb ist es ratsam, hier einen Trenntransformator zu benutzen, der ein potentialfreies Gehäuse schafft.

2.2 Messung nach dem Stromwandler bzw. Transformatorprinzip

2.2.1 Beschreibung

Abb.3:
Stromwandler

Meßwandler (Stromwandler) haben die Aufgabe hohe Ströme bzw. Spannungen in einfach meßbare Werte zu transformieren. Sie werden ebenfalls aus Sicherheitsgründen eingesetzt, da sie das Messgerät galvanisch vom Messkreis trennen, was z.B. bei Hochspannungsanlagen von Vorteil ist. Die Primärseite des Stromwandlers, ist mit Großbuchstaben L und K gekennzeichnet, die Sekundärseite dagegen mit Kleinbuchstaben l und k (siehe Abb.3).

Bei dieser Messmethode ist nur die Registrierung von Wechselstrom möglich. Beim Stromwandler wird der zu messende Wechselstrom I_1 (Abb.3) durch die Primärwicklung des Transformators geschickt. Im Idealfall ist die Sekundärseite mit einem Strommesswerk kurzgeschlossen, hier allerdings wird ein niederohmiger Shunt eingesetzt, um einen Spannungsabfall zu erzeugen, der dem Strom proportional ist und der vom Oszilloskop gemessen werden kann.

Das Verhältnis von Primär- zu Sekundärstrom, (Sekundärseite kurzgeschlossen), ergibt sich im Idealfall aus dem Übersetzungsverhältnis \bar{u} :

$$\frac{I_{1\text{eff}}}{I_{2\text{eff}}} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{\bar{u}}$$

Der Transformator ist i.a. so ausgelegt, dass bei primärem Nennstrom der Sekundärstrom $I_2 = 5 \text{ A}$ bzw. $I_2 = 1 \text{ A}$ beträgt. Bei hohen Primärströmen kann dafür bereits eine Windung primärseitig genügen.

Der Kern eines Stromwandlers ist nur für den relativ geringen Differenzfluss ausgelegt, der sich ergibt, wenn die Sekundärseite niederohmig abgeschlossen ist. Die Durchflutungen der beiden Wicklungen sind beinahe gleich groß. Die magnetische Flussdichte im Eisenkern ist sehr klein, weil beide Durchflutungen entgegengesetzte Flüsse gleicher Größe hervorrufen.

Würde der Sekundärkreis unterbrochen werden, so müsste der Kern, den jetzt nicht mehr kompensierten Primärfluß, aufnehmen, was zu thermischer Überlastung führen könnte. Zusätzlich könnte es zu Spannungsüberschlägen kommen, da aufgrund des Übersetzungsverhältnisses sich eine hohe Spannung auf den Sekundärklemmen ergäbe. Wegen der genannten Gefahren darf ein Stromwandler nie sekundärseitig im Leerlauf betrieben werden.

Die diskutierte Messvariante, ein Stromwandler in Verbindung mit einem Oszilloskop, eignet sich nur für bekannte Stromverläufe, d.h für begrenzte Frequenzspektren, also im Wesentlichen für stationäre Aufgaben, wie etwa in einem Kraftwerk zur Kontrolle von Strömen und Phasen.

2.2.2 Fehler des Stromwandlers

Der Fehler eines Stromwandlers ist bei gegebenem Primärstrom I_1 die Abweichung, des mit der Nennübersetzung p multiplizierten Sekundärstroms I_2 , vom Primärstrom.

$$f = \frac{I_{2\text{eff}} * p - I_{1\text{eff}}}{I_{1\text{eff}}} * 100\%$$

Neben diesem Betragsfehler gibt es noch einen Winkelfehler. Der entsprechende Fehlwinkel ist die Voreilung des Sekundärstromes gegenüber dem Primärstrom. Der Fehlwinkel ist abhängig von der Belastung durch die Bürde im Sekundärkreis, was sich als Nachteil herausstellt, denn mit verändern der Bürde kann auch der Messbereich umgeschaltet werden. D.h. mit verändern des Messbereichs ändert sich der Winkelfehler. Für dieses Phasenproblem gibt es, jedoch eine fehlerkompensierende Stromwandlerschaltung. (s. Abb 4)

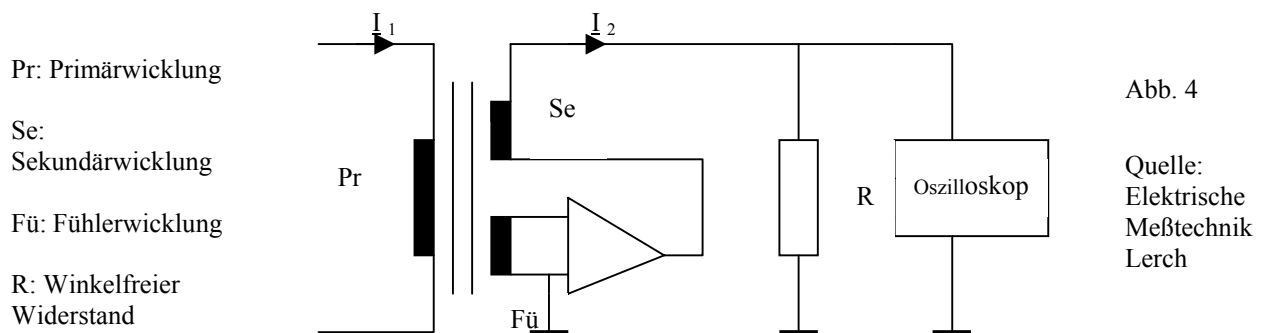


Abb. 4: Fehlerkompensierende Stromwandlerschaltung.

Mit Hilfe der Operationsschaltung kann der mit dem Magnetisierungsstrom gekoppelte Fluss annähernd zu Null abgeglichen werden, so dass die Stromwandlerfehler sehr klein werden.

Es ist jedoch möglich sehr exakte Phasenvergleichsmessungen ohne fehlerkompensierende Maßnahmen durchzuführen, soweit die absoluten Fehler nicht relevant sind. Dies geschieht dadurch, dass man Meßwandler gleichen Typs verwendet, und sich so die absoluten Fehler gegenseitig aufheben.

2.3 Stromtastkopf nach dem Kompensationsverfahren mit Hallsensor

Abb.5: Kompensations-Stromwandler

**Kompensations-Stromwandler
(Closed Loop = C/L)**

Funktionsprinzip C/L

Merkmale:

- Großer Frequenzbereich
- Hohe Gesamtgenauigkeit
- Kurze Ansprechzeit
- Geringe Temperaturdrift
- Hervorragende Linearität
- Keine Einfügungsverluste

Der durch den Primärstrom I_p erzeugte Magnetfluss wird mit Hilfe einer Sekundärspule kompensiert, wobei ein Hall-Sensor mit zugehöriger Elektronik-Schaltung verwendet wird. Der sekundärseitige Kompensationsstrom ist ein exaktes Abbild des Primärstroms.

Quelle: Firma LEM

Hier wird der Magnetfluss, der durch den zu messenden Strom erzeugt wurde, ausgewertet. Dabei wird mit Hilfe der Sekundärwicklung der Magnetfluss kompensiert. Es ist kein Auftrennen der Leitung notwendig. Der Magnetfluss wird mit Hilfe eines Hall-Sensors gemessen. Die Hall-Sensor-Spannung wird mit Hilfe des Operationsverstärkers hochohmig abgegriffen. Um den Ausgangswiderstand des Operationsverstärkers zu senken kommt eine komplementäre Gegentaktreiberstufe am Ausgang des Operationsverstärkers zum Einsatz, was eine symmetrische Versorgungsspannung notwendig macht. Der Kompensationsstrom ist dem zu messenden Strom proportional.

3. Ausführungsbeispiele

3.1. Stromwandler Beschreibung

Es gibt viele unterschiedliche Bauformen von Stromwandlern. Hier wird auf die Bauformen der Firma MBS GmbH eingegangen.

Stromwandler sind im Prinzip mit einer Primärspule und einer Sekundärspule aufgebaut, es gibt aber auch sogenannte Summenstromwandler (und viele andere Typen von Stromwandler), die aus mehreren Primärspulen bestehen und aus einer Sekundärspule.

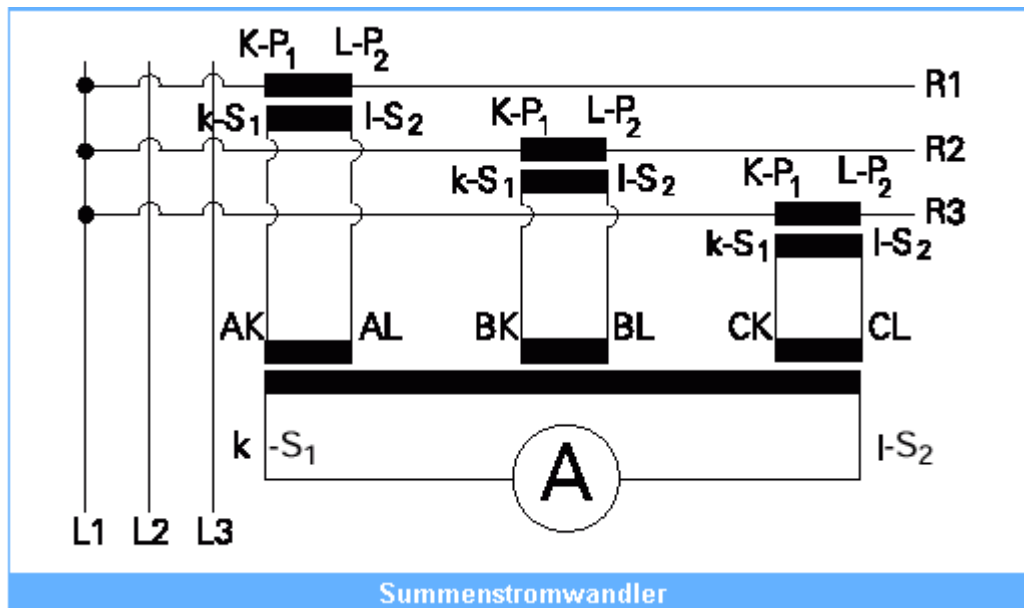


Abb.6:
Summenstrom-
wandler
Quelle:
Firma MBS GmbH

Die Wandler bestehen aus Polycarbonatgehäusen mit integrierter Sekundärabdeckung. Dadurch sind die Gehäuse schwer entflammbar und selbstverlöschend.

Klassengenauigkeit... 0,2 (s), 0,5 (s), 1 - Accuracy class... 0,2 (s), 0,5 (s), 1

Sekundärstrom 1 A oder 5 A - Secondary current 1 A or 5 A



ASR 20.3

ASR ... Rohrstromwandler für
Primärstrom 50 A ... 600A, Rundleiter 21,0
mm – 22,5 mm

ASR ... bus-bar – type current transformers for
primary current 50 A ... 600 A, round conductor 21,0
mm – 22,5 mm

Abb.7: Rohrstromwandler
Quelle: Firma MBS GmbH

Technische Daten eines Niedervoltstromwandlers

In Tabelle 1 sind die Daten eines Niederspannungsstromwandlers der Firma MBS GmbH für Innenräume aufgelistet..

max. zulässige Betriebsspannung:	0,72 kV
Prüfspannung:	3 kV; 50 Hz; 1 min
Einsatztemperaturbereich:	-5° C ... + 40° C
Thermische Bemessungs-Dauerstromstärke:	1,0 x I _n
Bemessungsfrequenz:	50 Hz
Thermische Bemessungs - Kurzzeitstromstärke:	60 x I _n
Isolationsklasse:	E
Überstrom - Begrenzungsfaktor (FS):	FS 5 bis 1500 A FS 10 ab 2000 A
Anzugsmoment der Befestigungsschrauben:	2...3 Nm
Geltende technische Normen:	DIN VDE 0414 IEC 185 VBG 4

Tab.1:
Technische
Daten

Quelle:
Firma LEM

3.2 Stromtastkopf Beschreibung

Unter einem Stromtastkopf versteht man eine Strommesszange für Oszilloskope .



Abb.9: Stromtastkopf
Quelle Firma LEM GmbH

Technische Daten eines Stromtastkopfes

Ein Stromtastkopf, der mit dem Kompensationsverfahren mit Hall-Sensor arbeitet, zeichnet sich insbesondere durch seinen großen Frequenzbereich aus. Tabelle 2 zeigt die wichtigsten technische Daten eines Strommesskopfes der Firma LEM.

Typ und Datenblatt	Strombereich	Ausgangsempfindlichkeit	Genauigkeit	Frequenzbereich	Max. Leiterdurchmesser
PR 30	30 A _{PK}	100 mV/A	±1% vom MWV ± 2 mA	DC - 100 kHz	19 mm
PR 50	3 A _{PK}	1 V/A	Typ. ±0.5% vom Messbereich	DC - 50 MHz	5 mm
	50 A _{PK}	100 mV/A	Typ. ±1.5% vom Messbereich	DC - 50MHz	5 mm

Tab.2

Quelle : Firma LEM

4. Beschreibung typischer Anwendungsbeispiele

Die Strommesswandler werden eher stationär eingesetzt. Dabei muss auf Grund des Messprinzips der Stromkreis unterbrochen werden, um die Primärwicklung einzufügen. Gängige Einsatzorte sind Festinstallationen z.B.in Produktionshallen, in denen große Ströme gemessen werden.

Stromtastköpfe hingegen sind sehr flexibel einsetzbar. Auf Grund des Messprinzips ist keine Unterbrechung des Stromkreises notwendig, was sich in der Praxis als großer Vorteil erweist. Durch ihren großen Frequenzbereich sind sie geeignet, schnelle Stromänderungen sicher zu messen. Ebenso erleichtert der große Frequenzbereich Messungen von Stromverläufen, die im Vorfeld schwer abschätzbar sind, was in Entwicklung und Forschung von Vorteil ist. So könnte beispielsweise, im Zuge der Entwicklung eines Monitors, dessen Einschaltströme von Interesse sein, um Leiterbahnquerschnitte ausreichend zu dimensionieren. Bei Monitoren werden im Einschaltmoment die Bildröhren mit einem abglingendem Wechselmagnetfeld entmagnetisiert. Dadurch und durch das Einschaltverhalten des Schaltnetzteils wird ein ziemlich hoher und schneller "Stromstoß" im Einschaltmoment erzeugt, was sich mit einem Stromtastkopf elegant messen ließe.