**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens

**Herausgeber:** Association suisse des électriciens

**Band:** 49 (1958)

**Heft:** 25

**Artikel:** Messung der Berührungsspannung mit einem Erdungsprüfer für geerdete oder genullte Objekte

**Autor:** Induni, G.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-1058551

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 22.08.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

49e année N° 25 Samedi, le 6 Décembre 1958

# BULLETIN

## DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

ORGANE COMMUN
DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS (ASE) ET
DE L'UNION DES CENTRALES SUISSES D'ELECTRICITE (UCS)

# Messung der Berührungsspannung mit einem Erdungsprüfer für geerdete oder genullte Objekte

Von *G. Induni*, Zürich

621.317.799 : 621.316.99.053.24

*Es wird gezeigt, dass ein früher beschriebenes Messgerät für die Prüfung von geerdeten und genullten Objekten auf Grund der damals gegebenen Theorie mit geringfügigen apparativen Änderungen auch zur Messung der Berührungsspannung verwendet werden kann. Es werden Messresultate aus dem Netze der CKW mitgeteilt, mit den Messwerten des direkten Erdschlusses verglichen und gute Übereinstimmung festgestellt. Im weiteren wird auf eine neue Methode hingewiesen, welche der Autor als «absolut» bezeichnet, weil diese mit Hilfe von adimensionalen Beziehungen die Berührungsspannung auch mit ungeeichten Instrumenten und Geräten in Funktion der Nennspannung zu bestimmen gestattet.*

*L'auteur montre qu'un appareil de mesure, décrit précédemment et servant à l'essai d'objets mis à la terre ou au neutre, peut être également utilisé pour la mesure de la tension de contact, en se basant sur la théorie exposée autrefois, en apportant quelques légères modifications à l'appareillage. Des résultats de mesures effectuées dans le réseau des Forces Motrices de la Suisse Centrale sont comparés avec les valeurs obtenues lors de la mesure de la mise à la terre accidentelle directe, avec lesquelles ils concordent très bien. L'auteur indique en outre une nouvelle méthode, considérée comme absolue, car elle permet de déterminer, même avec des appareils non étalonnés, la tension de contact en fonction de la tension nominale, à l'aide de relations sans dimensions.*

Im Bulletin SEV 1938, Nr. 2, ist vom Autor ein Erdungsprüfer für geerdete oder genullte Objekte angegeben worden. Mit Bezug auf die einschlägigen Bestimmungen der Starkstromverordnung, Art. 26, Ziffer 4, vom 7. Juli 1933, dient der Apparat für die Überprüfung der vorschriftsgemässen Absicherung. Der einfachen Benützung halber ist der Apparat direkt in Sicherungsnennstrom geeicht, welcher an der Skala des Instrumentes abgelesen werden kann. Es wurde dort gezeigt, dass die aufgestellte Theorie auf alte klassische Methoden zurückgeführt werden kann. Das Gerät hat sich für die Lösung der gestellten Fragen wegen seiner Einfachheit und Zuverlässigkeit seit fast 20 Jahren gut bewährt. Auch im Ausland, wo wegen der etwas abweichenden Bestimmungen die Eichung für den Kurzschlußstrom verlangt wird, hat sich das Gerät gut eingeführt. Es gibt aber eine Anzahl von Fällen, besonders in alten Netzen oder bei langen Niederspannungsleitungen auf dem Lande, wo die Überprüfung der Sicherungen mit dem erwähnten Apparat ergibt, dass bei Erdschluss die Sicherungen nicht vorschriftsgemäss abschalten. Für solche Fälle schreibt die Starkstromverordnung vor, «dass bei Auftreten von Erdschlüssen keine Spannungen über 50 V gegenüber Erde an genullten, der Berührung ausgesetzten Teilen usw., auftreten bzw. länger als einige Sekunden bestehen dürfen». Die genaue Umschreibung des Begriffes «Berührungsspannung» ist der grundlegenden Arbeit von *M. Wettstein* im Bull. SEV 1934, Nr. 23...26 zu entnehmen, deren Studium für die Behandlung solcher Fragen nie dringend genug empfohlen werden kann. Unter «Erde» ist eine solche im Sinne der Starkstrom-Verordnung Art. 23, Ziffer 1, zu verstehen, d. h. *eine mindestens 20 m von einer stromdurchflossenen Erdelektrode entfernte Stelle der Erdoberfläche.* Auf Anregung der CKW[1]), Luzern, wurde nun untersucht, ob das erwähnte Gerät, auf Grund der Theorie, auch für die Messung der sog. «*Berührungsspannung*»[2]) verwendet werden kann. Die zitierte Originalarbeit von 1938 gestattet darauf auf einfache Art eine Antwort zu geben. Zum leichteren Verständnis der Beziehungen sei zunächst das Prinzipschema des Originalapparates (Fig. 1) betrachtet.

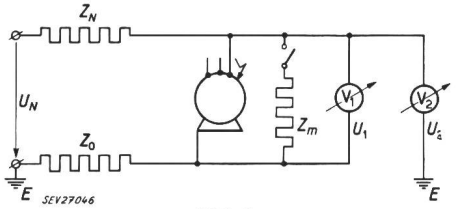


Fig. 1
**Schaltung zur Messung des Kurzschlußstromes bei Erdschluss mit Hilfe von 2 Voltmetern**

$Z_N$ gesamte Polleiterimpedanz; $Z_m$ Belastungsimpedanz des Messgerätes; $Z_0$ Nulleiterimpedanz; $E$ gute Erde; $V_1$ Voltmeter im Gerät; $V_2$ Voltmeter separat; $U_N$ Netzspannung (Leerlauf); $U_1$ Spannung an der Belastung $Z_m$; $U_2$ Spannungsdifferenz Polleiter—Erde bei Belastung mit $Z_m$

An diesem sei zusätzlich ein zweites, separates Voltmeter zwischen Polleiter und einer guten Erde (im Sinne von Art. 23 der Starkstromverordnung) angeschlossen. Es bedeuten ferner:

[1]) Centralschweizerische Kraftwerke.

[2]) Die sog. Schrittspannung, welche im Zusammenhang mit solchen Prüfungen auch oft erwähnt wird, ist in jedem Fall kleiner als die Berührungsspannung, weil diese nach Definition der Starkstromverordnung den gesamten Spannungsabfall des Potentialtrichters an der Erde umfasst, während die Schrittspannung nur einen Ausschnitt aus dem Potentialtrichter darstellt.

$Z_N$ gesamte Polleiterimpedanz
$Z_m$ Belastungsimpedanz des Messgerätes
$Z_0$ Nulleiterimpedanz
$E$ gute Erde
$V_1$ Voltmeter im Gerät
$V_2$ Voltmeter separat
$U_N$ Netzspannung (Leerlaufspannung)
$U_1$ Spannung an der Belastung $Z_m$
$\Delta V_1$ Spannungsabfall an $V_1$ bei Belastung mit $Z_m$
$\Delta V_2$ Spannungsabfall an $V_2$ bei Belastung mit $Z_m$
$U_{Z0}$ theoretisch höchste Berührungsspannung

Man beachte zunächst, dass der Erdungspunkt von $Z_0$ nicht ohne weiteres am Messort zugänglich ist, sonst wäre $U_{Z0}$ durch Messung des Abfalles an $Z_0$ in trivialer Weise bestimmt.

Wenn man den Kurzschlußstrom eines Polleiters bei Erdschluss mit $I_k$ bezeichnet, dann wird:

$$U_{Z0} = I_k Z_0 \tag{1}$$

Nach der erwähnten Arbeit ist nun $I_k$ mit dem Gerät bestimmbar aus:

$$I_k = \frac{U_N U_1}{Z_m \Delta V_1} \tag{2}$$

Es ist ferner:

$$I_m Z_0 + I_m Z_m = U_N - \Delta V_2 = U_2 \tag{3}$$

und

$$I_m Z_m = U_N - \Delta V_1 = U_1 \tag{4}$$

$I_m$ Meßstrom in $Z_m$

Aus Gl. (3) und (4) ergibt sich durch Subtraktion:

$$I_m Z_0 = \Delta V_1 - \Delta V_2 \tag{5}$$

aus Gl. (5) und (4) durch Division:

$$\frac{I_m Z_0}{I_m Z_m} = \frac{Z_0}{Z_m} = \frac{\Delta V_1 - \Delta V_2}{U_N - \Delta V_1} \tag{6}$$

somit aus den Gl. (1), (2) und (6):

$$U_{Z0} = \frac{\Delta V_1 - \Delta V_2}{\Delta V_1} U_N \tag{7}$$

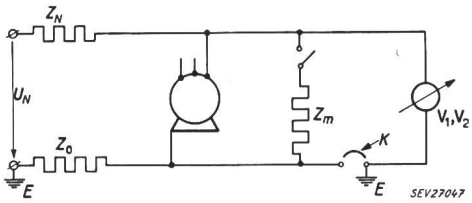


Fig. 2
**Schaltung des Erdungsprüfers von TTC zur Messung von Kurzschlußstrom und Berührungsspannung bei Erdschluss**
K Kurzschlußstecker
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1

Für die Bestimmung der Berührungsspannung $U_{Z0}$ braucht man also nur die beiden Voltmeter bei der Netzspannung $U_N$ auf Endausschlag einzustellen, und vom *Endwert ausgehend* mit einer Voltskala zu versehen (wie Fig. 3).

In der Praxis vermeidet man mit Vorteil die Verwendung eines zweiten Voltmeters durch entsprechende Umschaltung des Gerätes einmal auf

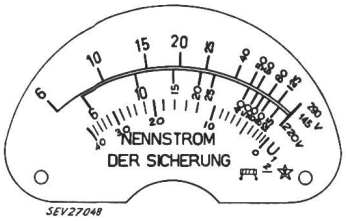


Fig. 3
**Skala des TTC-Apparates nach Fig. 2**

den Nulleiter, das andere Mal auf die Erde (z. B. Wasserleitung) (Fig. 2, 3, 4). Bei der zweiten Messung wird der Kurzschlussbügel $K$ herausgezogen und das Voltmeter an Erde $E$ gelegt um nochmals mit $Z_m$ belastet zu werden. — Diese Änderung an bestehenden Apparaten ist sehr gering; es wurden auch einzelne Geräte abgeändert und damit prak-

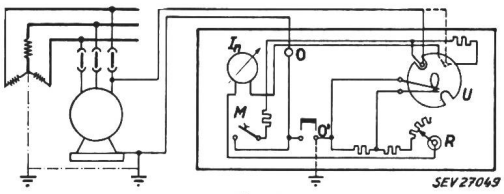


Fig. 4
**Vollständiges Schaltschema des Gerätes nach Fig. 2 für die Messung der Berührungsspannung**
*M* Druckknopfschalter für die Belastung; *U* Umschalter für 145/220 V; $U_S$ Berührungsspannung; $U_N$ Nennspannung; $U_1$ erste Ablesung auf der Skala *U* in Fig. 3; $U_2$ zweite Ablesung (mit Erde 0') auf der Skala; $I_n$ Voltmeter; *R* Voltmetereinstellwiderstand; 0' Erde für die zweite Messung

$$U_S = U_N \frac{U_1 - U_2}{U_1}$$

tische Messungen durchgeführt. Diese Messungen wurden in schutzgeerdeten Netzen durchgeführt und die Messergebnisse mit solchen von Apparaten anderer Herkunft und Prinzip verglichen. Die Übereinstimmung der Resultate war sehr gut. Einige Messresultate im Netz der CKW sind in Tab. I zusammengestellt.

*Vergleich von Messresultaten*

Tabelle I

| Nr. | Berührungsspanung $U_{Z0}$ gemessen mit TTC-Gerät | mit Fremdinstrument | bei direktem Kurzschluss |
|---|---|---|---|
| | V | | |
| 1 | 205 | 198 | 198 |
| 2 | 200 | 185 | 190 |
| 3 [1] | 192 | — | — |
| 4 | 81,3 | 75 | 83 |
| 5 | 198 | 198 | — [2] |
| 6 | 132 | 110 | 135 |
| 7 | 63 | 60 | — [3] |
| 8 | 72 | 79 | 90 |
| 9 | 71 | 70 | 70 |
| 10 | 126 | 100 | — |
| 11 | 5,6 | 20 | 5 |
| 12 | 150 | 155 | 155 |
| 13 | 204 | 200 | 196 |
| 14 | 169 | 170 | 170 |

[1] Wiederholung von Nr. 2.
[2] Sicherung geschmolzen.
[3] Ein Kurzschluss konnte nicht eingeleitet werden.

*Absolute Messung der Berührungsspannung*

Auf Grund der erreichten Resultate wurde nach weiteren Möglichkeiten einer einwandfreien Bestimmung aller Daten, welche eine exakte Berechnung der Berührungsspannung gestatten, gesucht.

Das Ideale wäre, wenn man sämtliche Widerstände, inkl. jenen der sog. Bezugserde, bestimmen könnte. In diesem Fall wäre es möglich, alle in Frage kommenden Einflüsse zu berücksichtigen. Aber auch wenn der Nulleiter gemischt, aus Sicherheitsgründen (Nulleiterunterbruch) an mehreren Stellen geerdet wird, bleibt die Bestimmung der Berührungsspannung trotz Messungen mit den bisher bekannten Methoden unklar. Die neu beschriebene Methode dagegen gestattet in Zweifelsfällen, die Verhältnisse genau abzuklären.

Bei den Berechnungen sind folgende Bezeichnungen verwendet worden (Fig. 5):

$Z_{N1}$, $Z_{N2}$, $Z_{N3}$ Netzimpedanzen
$Z_1$ Polleiterimpedanz
$Z$ Belastungsimpedanz
$Z_0$ Nulleiterimpedanz
$Z_e$ Impedanz der Bezugserde
$U$ Leerlaufspannung

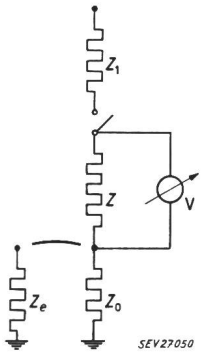


**Fig. 5**
**Schaltung zur absoluten Messung des Kurzschlußstromes an der Erdschlußstelle mit Hilfe von 3 Messungen**
$Z_1$ Polleiterimpedanz
$Z$ Belastungsimpedanz
$Z_0$ Nulleiterimpedanz
$Z_e$ Impedanz der Bezugserde

Damit ist:

$$Z_{N1} = Z_1 + Z_0 \tag{8}$$

$$Z_{N2} = Z_1 + Z_e \tag{9}$$

$$Z_{N3} = Z_1 + \frac{Z_e\, Z_0}{Z_e + Z_0} \tag{10}$$

Die Netzimpedanzen $Z_{N1}$, $Z_{N2}$, und $Z_{N3}$ werden in Gl. (8) über $Z_0$, in Gl. (9) über $Z_e$ und in Gl. (10) über $Z_0 + Z_e$ (parallelgeschaltet) gemessen.

Aus Gl. (1) ist

$$Z_{N1} = \frac{U}{I_{k1}}$$

$$Z_{N2} = \frac{U}{I_{k2}}$$

$$Z_{N3} = \frac{U}{I_{k3}}$$

Nach Gl. (2) sind die Kurzschlußströme:

$$I_{k1} = \frac{U_1\, U}{Z \cdot \Delta V_1}$$

$$I_{k2} = \frac{U_2\, U}{Z \cdot \Delta V_2}$$

$$I_{k3} = \frac{U_3\, U}{Z \cdot \Delta V_3}$$

Daraus resultieren die entsprechenden Erdschlussimpedanzen:

$$Z_{N1} = \frac{U\, Z \cdot \Delta V_1}{U_1\, U} = \frac{Z \cdot \Delta V_1}{U_1}$$

$$Z_{N2} = \frac{Z \cdot \Delta V_2}{U_2}$$

$$Z_{N3} = \frac{Z \cdot \Delta V_3}{U_3}$$

Die Werte in Gl. (8), (9), (10) eingesetzt, ergeben:

$$Z_1 + Z_0 = \frac{Z \cdot \Delta V_1}{U_1} \tag{11}$$

$$Z_1 + Z_e = \frac{Z \cdot \Delta V_2}{U_2} \tag{12}$$

$$Z_1 + \frac{Z_e\, Z_0}{Z_e + Z_0} = \frac{Z \cdot \Delta V_3}{U_3} \tag{13}$$

Es werden also aus 3 Messungen $\Delta V_1$, $\Delta V_2$, $\Delta V_3$, $U_1$, $U_2$, $U_3$ bestimmt und nun sollten damit die 3 Unbekannten $Z_1$, $Z_0$, $Z_e$ berechnet werden können. Um Schwierigkeiten bei den Berechnungen zu vermeiden, bezeichne man

$$Z\,\frac{\Delta V_1}{U_1} \text{ mit } \Psi_1 \tag{14}$$

$$Z\,\frac{\Delta V_2}{U_2} \text{ mit } \Psi_2 \tag{15}$$

$$Z\,\frac{\Delta V_3}{U_3} \text{ mit } \Psi_3 \tag{16}$$

Damit ist

$$Z_1 + Z_0 = \Psi_1 \tag{17}$$

$$Z_1 + Z_e = \Psi_2 \tag{18}$$

$$Z_1 + \frac{Z_e\, Z_0}{Z_e + Z_0} = \Psi_3 \tag{19}$$

aus Gl. (17) und (18) ist:

$$Z_0 - Z_e = \Psi_1 - \Psi_2 = \Psi_{12}$$
$$Z_e = Z_0 - \Psi_{12}$$

in Gl. (19) eingesetzt wird

$$Z_1 + \frac{(Z_0 - \Psi_{12})\, Z_0}{2\, Z_0 - \Psi_{12}} = \Psi_3 \tag{20}$$

Wenn man Gl. (17) von Gl. (20) subtrahiert, so wird:

$$\frac{(Z_0 - \Psi_{12})\, Z_0}{2\, Z_0 - \Psi_{12}} - Z_0 = \Psi_3 - \Psi_1 = \Psi_{31}$$

Mit $\Psi_3 - \Psi_1 = \Psi_{31}$ wird:

$$Z_0^2 + 2\, Z_0\, \Psi_{31} - \Psi_{31}\, \Psi_{12} = 0 \tag{21}$$

Die Lösung von Gl. (21) ergibt für $Z_0$:

$$Z_0 = \sqrt{\Psi^2_{31} + \Psi_{31}\,\Psi_{12}} - \Psi_{31}$$

Nun ist aber

$$\Psi_{31} = \Psi_3 - \Psi_1$$
$$\Psi_{12} = \Psi_1 - \Psi_2$$

und somit:

$$Z_0 = \sqrt{(\Psi_3 - \Psi_1)^2 + (\Psi_3 - \Psi_1)\,(\Psi_1 - \Psi_2)} - (\Psi_3 - \Psi_1) = \sqrt{\Psi^2_3 - \Psi_3\,\Psi_1 - \Psi_2\,(\Psi_3 - \Psi_1)} - (\Psi_3 - \Psi_1) \qquad (22)$$

Mit den Gl. (14...16) wird:

$$Z_0 = Z\sqrt{\frac{\Delta V_3}{U_3}\left(\frac{\Delta V_3}{U_3} - \frac{\Delta V_1}{U_1} - \frac{\Delta V_2}{U_2}\right) + \frac{\Delta V_2 \cdot \Delta V_1}{U_2\,U_1}} - Z\left(\frac{\Delta V_3}{U_3} - \frac{\Delta V_1}{U_1}\right) \qquad (23)$$

mit Gl. (1) und (2) wird

$$U_{Z0} = U\,\frac{U_1}{\Delta V_1} \cdot \left\{\sqrt{\frac{\Delta V_3}{U_3}\left(\frac{\Delta V_3}{U_3} - \frac{\Delta V_1}{U_1} - \frac{\Delta V_2}{U_2}\right) + \frac{\Delta V_2 \cdot \Delta V_1}{U_2\,U_1}} - \left(\frac{\Delta V_3}{U_3} - \frac{\Delta V_1}{U_1}\right)\right\} \qquad (24)$$

Mit 3 Messungen ist es also möglich

$$Z_0 = f\,(\Delta V_1, \Delta V_2, \Delta V_3)$$

oder

$$U_{Z0} = f\,(U) \qquad \text{zu messen.}$$

Da $\Delta V/U$ und $U/\Delta V$ dimensionslose Zahlen sind, so kann die Messung auch mit ungeeichten Instrumenten mit in Prozenten vom Endwert geteilter Skala vorgenommen werden. In den Resultaten figuriert $Z$ nicht mehr, so dass die Messungen bei einer beliebigen Belastung durchgeführt werden können; das Gerät muss lediglich gut messbare Spannungswerte ergeben.

In diesem Sinne ist diese Methode als absolut zu bezeichnen, weil mit ihr genaue Messungen mit ungeeichten Messinstrumenten durchgeführt werden können. Der Grund liegt in den linearen Beziehungen zwischen $Z$, $\Delta V$, $U$ und $I$.

Gl. (23) kann an Hand von Beispielen leicht nachgeprüft werden.

*Annahmen:*

| | |
|---|---|
| Netzimpedanz . . . . . | $Z_N = 2\ \Omega$ |
| Prüfimpedanz . . . . . | $Z = 24\ \Omega$ |
| Impedanz der Bezugserde (Wasserleitung) . . . . . | $Z_e = 0{,}5\ \Omega$ |
| Impedanz bei Parallelschaltung (dritte Messung) . . . . . | $Z_p = 0{,}333\ \Omega$ |
| Nulleiterimpedanz . . . . . | $Z_0 = 1\ \Omega$ |
| Netzspannung . . . . . | $U = 100$ V |

Das Schaltschema zeigt Fig. 6.

Der Kurzschlußstrom $I_k = \frac{100}{3} = 33{,}3$ A

und die Berührungsspannung $U_{Z0} = 33{,}3$ V

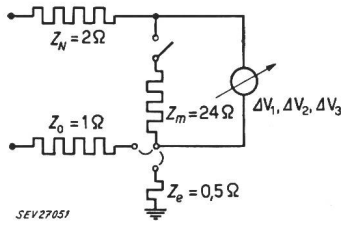


Fig. 6
**Schaltung nach Fig. 5 mit Zahlenbeispiel**
$\Delta V_1$, $\Delta V_2$, $\Delta V_3$ Spannungsabfälle bei Belastung mit der Prüfimpedanz
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 4

Nach der entwickelten Methode gemessen, würden die 3 Messungen ergeben:

1. Spannungsabfall $\Delta V_1$ infolge der Nulleiterimpedanz $Z_0$:

$$U_1 = \frac{100}{27}\,24 = 88{,}9$$
$$\Delta V_1 = 11{,}1$$

2. Spannungsabfall $\Delta V_2$ infolge Impedanz der Bezugserde $Z_e$:

$$U_2 = \frac{100}{26{,}5}\,24 = 90{,}6$$
$$\Delta V_2 = 9{,}4$$

3. Spannungsabfall infolge der Parallelschaltung von $Z_0$ und $Z_e$:

$$U_3 = \frac{100}{26{,}33}\,24 = 91{,}15$$
$$\Delta V_3 = 8{,}85$$

Diese Werte in Gl. (23) eingesetzt, erhält man für $U_{Z0}$:

$$U_{Z0} = 33{,}328 \text{ V}$$

gegenüber der berechneten Berührungsspannung von

$$U_{Z0} = 33{,}3 \text{ V}$$

In den Gl. (22) und (23) können die Messwerte zyklisch vertauscht werden, woraus $Z_N$ $Z_e$ berechnet werden kann.

Es kann auch vorkommen, dass $Z_0$ und $Z_e$ zufällig gleich sind. Dann sind auch

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 \text{ bzw. } U_1 = U_2$$

und $$Z_0 = 2\,Z\left(\frac{\Delta V_3}{U_3} - \frac{\Delta V_1}{U_1}\right)$$

Trotzdem diese Methode die Bestimmung aller nötigen Grössen mit hinreichender Genauigkeit durchzuführen gestattet, können die Resultate erst an Hand einer längeren Berechnung ermittelt werden. Die eingangs beschriebene Methode wird wohl in der Praxis bevorzugt werden. Da die Apparate zur Ausführung der ersten Methode mit einer $\Delta V$-Skala ausgerüstet sind, so kann man bei der gleichen Messoperation auch die Werte für die zweite Methode einfach bestimmen und nachträglich zur Kontrolle benützen. Von Nutzen ist die zweite, vollständige Methode, wenn überhaupt kein Spezial-Apparat zur Verfügung steht, weil ein beliebiges Voltmeter, welches nicht einmal geeicht ist, ein Einstellwiderstand für den Endausschlag und

ein beliebiger, ebenfalls ungeeichter Belastungswiderstand für die Durchführung der Messung genügen. Für sehr rasche Messungen empfiehlt sich in diesem Falle die Voltmeter-Skala nach $\Delta V/V$ einzuteilen oder sich einer Hilfsskala nach Fig. 7 zu

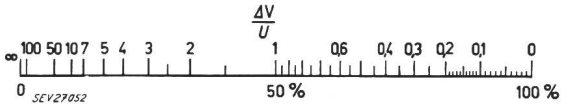


Fig. 7
**Skalenbeispiel für Messungen mit beliebigem Voltmeter**

$\Delta V = U_N - U$; $U$ Spannung an $Z$

$$\frac{\Delta V}{U} = a; \quad \frac{\Delta V_1}{U_1} = a_1 \text{ usw.}$$

bedienen. In diesem Fall kann die Berührungsspannung aus 3 Ablesungen $a_1$, $a_2$, $a_3$ rasch bestimmt werden.

$$U_{Z0} = \frac{U}{a_1}\left\{\sqrt{a_2\,a_1 - a_3\,(a_1 + a_2 - a_3)} + a_1 - a_3\right\}$$

Wenn z. B. die Ablesungen am Messinstrument sind:

$$a_1 = 0{,}9$$
$$a_2 = 0{,}6$$
$$a_3 = 0{,}5$$

und $U = 100$ V

dann wird

$$U_{Z0} = \frac{100}{0{,}9}\left\{\sqrt{(0{,}54 - 0{,}5 + 0{,}4)}\right\} = 66{,}6 \text{ V}$$

Die Hilfsskala $\Delta V/V$ umfasst von 0...1 alle Werte von

$$Z_N + Z_0 \leqq Z_m$$

Im Grenzfall $Z_N + Z_0 = Z_m$ ist der Spannungsabfall 50%. Auf der Skala eines Voltmeters von 0...100% können alle Werte $\Delta V/V$ von 0...∞ untergebracht werden. Diese können aber auch berechnet oder durch ein Nomogramm ermittelt werden.

**Adresse des Autors:**
*G. Induni*, Vizedirektor, Trüb, Täuber & Co. A.-G., Ampèrestrasse 3, Zürich 37.

# Messumformer nach dem Prinzip des Drehmoment-Kompensators

Von *E. Blamberg* und *W. Luder*, Wohlen

621.314.22.08

*Zunächst werden Bau- und Wirkungsweise von Messumformern nach dem Prinzip des automatischen Drehmoment-Kompensators erläutert. Sodann wird gezeigt, welche Rechenoperationen man mit solchen Geräten ausführen kann. Schliesslich wird beschrieben, wie man mit ihrer Hilfe die in Lastverteiler-Anlagen anfallenden Aufgaben beliebiger Summen- und Differenzbildung lösen kann.*

*Après un exposé de la construction et du fonctionnement de convertisseurs de mesure selon le principe du compensateur automatique de couple, les auteurs indiquent quelles sont les opérations numériques qui peuvent être effectuées avec de tels appareils, puis ils décrivent comment il est possible de résoudre, avec ceux-ci, les problèmes de sommations et de différences qui se posent dans des installations de répartition des charges.*

## 1. Allgemeines

Messumformer spielen im Rahmen der Fernmessung, Regelung und Automatisierung eine grosse Rolle. Sie formen eine zu messende beliebige physikalische Grösse in eine andere um, deren Messung oder Weiterverarbeitung technische oder wirtschaftliche Vorteile bietet.

Grosse praktische Bedeutung haben beispielsweise Messumformer auf pneumatischer Basis erlangt. Sie formen Druck, Temperatur, Bewegung oder Winkelstellung in proportionalen Luftdruck um, mit dem dann Messungen, Steuerungen und Regelungen ausgeführt werden können. Eine andere Art Umformer beruht auf thermischem Prinzip. Er formt Hochfrequenzströme in Gleichspannung um. Weiter sei der «Hallgenerator» erwähnt, der in den letzten Jahren eine stürmische Entwicklung erfahren hat. Man kann mit ihm elektrische und magnetische Grössen in Gleichspannung umformen. Dass man Wechselströme für Messzwecke mit Hilfe von Gleichrichtern in Gleichströme umformt, ist allgemein bekannt.

Winkelstellungen kann man mit Hilfe induktiver Geber in Wechselspannungen und diese nach Gleichrichtung und gegebenenfalls Verstärkung in Gleichströme umformen. Auf diese Weise lassen sich beispielsweise $\cos\varphi$-Messumformer herstellen.

Die folgenden Betrachtungen lassen alle diese Umformer ausser acht. Sie beziehen sich ausschliesslich auf das Gebiet der Umformung der für die Elektrizitätswirtschaft besonders interessanten Messgrössen, also in erster Linie der Wirk- und Blindleistung, daneben auch der Frequenz, und zwar nach dem Prinzip der Drehmoment-Kompensation. Immer ist dabei die Aufgabe gestellt, die Messgrösse in einen proportionalen Gleichstrom (nicht Gleichspannung) umzuformen.

## 2. Warum überhaupt Messumformer?

Die Messgrösse durch Gleichstrom darzustellen, empfiehlt sich immer, wenn man auf eine Entfernung von 100 m bis 100 km mehrere Anzeige- oder Schreibgeräte an verschiedenen Orten gleichzeitig betätigen will, wenn man Summen oder Differenzen von Leistungen zu bilden hat, oder wenn eine Regelaufgabe vorliegt. Besonders vorteilhaft ist die Verwendung von Messumformern dann, wenn alle drei Forderungen gleichzeitig vorliegen, wie das z. B. bei Lastverteiler-Anlagen der Fall ist.

Der grosse Vorteil des Gleichstromes besteht darin, dass man ihn einmal über dünne Drähte fernleiten und zum andern mit Leichtigkeit zur Bildung von Summen und Differenzen verwenden kann. Wollte man dagegen die Leistung eines Dreiphasen-