Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 27 (1936)
Heft: 16

Artikel: Stromwandler zur Speisung von Selektivschutzrelais
Autor: Brügger, W.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057518

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: 12.12.2025

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

La figure 2 montre l'aspect extérieur de la station en ordre de marche. Tout cet ensemble prend place aisément dans les sacs de montagne de deux alpinistes, en plus du matériel ordinaire d'excursion. Il représente donc une surcharge tout à fait admissible pour une caravane.

L'appareillage n'est prévu que pour l'émission télégraphique, mais peut naturellement recevoir les messages radiotéléphoniques. Il est certain que la

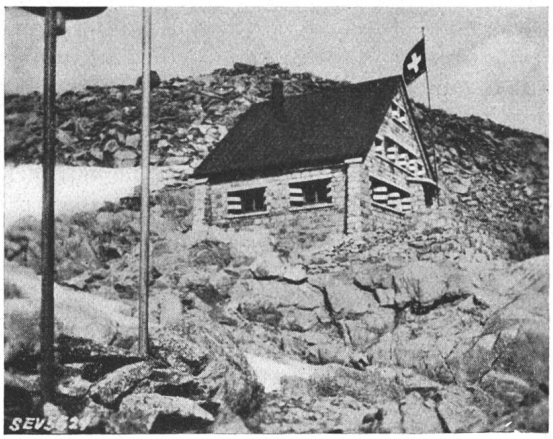

Fig. 3.
La cabane du Trient, où fut expérimentée la station fig. 2.

radiotéléphonie dispense les opérateurs de connaître l'alphabet Morse, mais cet avantage est compensé par un réglage plus délicat à l'émission et à la réception, une influence gênante plus grande des parasites atmosphériques et surtout une moindre portée à puissance égale.

C'est avec l'appareil décrit ci-dessus que l'auteur de cette note a effectué en juillet 1935 une série d'expériences à la cabane du Trient (3180 m), avec la collaboration de M. Robert Luthi, D[r] es-sciences, de Genève. Pendant les 4 jours de l'expédition, la petite station nous a permis de rester en communication régulière avec les stations expérimentales de Genève, Lausanne, Yverdon, Chésières et la Lenk. Au total, 28 communications eurent lieu, à des distances variant de 34 à 91 km. En outre, nous reçumes chaque jour également, les messages météorologiques synoptiques établis quotidiennement par l'Office national météorologique français, et transmis sur l'onde de 73,5 m par le poste de la Tour Eiffel. Ces renseignements nous permettaient de tracer la carte barométrique de l'Europe, d'après laquelle nous pouvions établir une prévision du temps.

Enfin, lors d'une ascension à l'Aiguille du Tour (3648 m), l'auteur, ayant installé sa station au sommet, put entrer en conversation pendant 3/4 d'heure avec une station expérimentale de Genève.

En effectuant ces expériences, nous n'avons évidemment pas la prétention d'avoir résolu le problème dont nous avons déjà dit, au surplus, qu'il comporte en réalité nombre de solutions. Nous avons toutefois montré que des résultats déjà très intéressants pour l'alpinisme peuvent être obtenus dès maintenant au moyen d'appareils relativement simples et peu coûteux. Aussi ces essais ont-ils attiré l'attention du Club alpin suisse, que préoccupe à juste titre tout ce qui touche à la sécurité en montagne, et il est à souhaiter que des études systématiques soient entreprises dans la voie que nous avons eu le privilège de tracer dans notre pays.

Stromwandler zur Speisung von Selektivschutzrelais.

Von *W. Brügger*, Wettingen.

621.314.224.08

Diese Arbeit erläutert die Bedingungen, welche Stromwandler, die zur Speisung von im Ueberstromgebiet arbeitenden Relais dienen, erfüllen müssen. Die Ueberstromziffer und ihre Kontrolle werden einer genauen Prüfung unterworfen. Es wird festgestellt, dass sie einen Stromwandler für obige Bedingungen zu wenig präzis charakterisiert. Zum Schluss wird ein Vorschlag für eine neue Stromwandlerklasse, welche die Fehler bis ins Ueberstromgebiet begrenzt, unterbreitet.

L'auteur expose les conditions que doivent remplir les transformateurs d'intensité qui alimentent des relais travaillant dans la zone des surintensités. Le coefficient de surcharge et son contrôle sont soumis à un examen attentif. Il en résulte que ce coefficient est insuffisant pour caractériser un transformateur d'intensité fonctionnant aux conditions énoncées ci-dessus. L'auteur propose finalement de créer une nouvelle classe de transformateurs, pour laquelle les erreurs sont limitées jusque dans la zone de surcharge.

A. Einleitung.

In der Schweizerischen Vollziehungs-Verordnung vom 23. Juni 1933 über die amtliche Prüfung von Elektrizitäts-Verbrauchsmessern, Art. 23, sind die Strom- und Winkelfehler-Grenzen angegeben, innerhalb derer ein systemfähiger Stromwandler sein muss. Diese Vorschriften beschäftigen sich nur mit dem Leerlauf-Vollastgebiet des Stromwandlers, d. h. mit dem Bereich von 10 % bis 120 % des Nennstromes. Mit den Regeln der Commission Electrotechnique Internationale (CEI) verhält es sich gleich. Andere Staaten besitzen mehrere Genauigkeitsklassen, die den Forderungen an Stromwandler für verschiedene Anwendungsgebiete angepasst sind. Alle diese Vorschriften, sogar die Genauigkeitsklassen für Relaisspeisung, gehen nicht oder nur wenig über das Leerlauf-Vollast-Gebiet des Stromwandlers hinaus.

In vielen Anwendungsfällen ist es wesentlich, dass die Stromwandler auch im Strombereich, der den Nennstrom erheblich überschreitet, mit erträglichen Fehlern arbeiten. Als Beispiel nennen wir die Speisung von Distanz-, Richtungs- und Differential-Relais. Die Kenntnis der Fehlercharakteristik der Stromwandler bei Ueberstrom ist beim Differentialschutz von Transformatoren besonders wichtig, da

hier Stromwandler verschiedener Nennspannung, d. h. verschiedener Konstruktion und somit im allgemeinen voneinander abweichender Fehlercharakteristiken zusammen arbeiten müssen; bei Kurzschlüssen im Netz, Störungen, auf die der Differenzialschutz nicht reagieren sollte, besteht hier die Gefahr, dass infolge ungleicher Wandlerfehler ein Differenzstrom durch das Relais fliesst und ein unerwünschtes Ansprechen des Schutzes verursacht. Dies kann eine unnötige, zeitraubende Untersuchung des Transformators, verbunden mit dem gefürchteten Betriebsunterbruch zur Folge haben.

B. Die Ueberstromziffer.

Der bis heute einzige offizielle Versuch, das Verhalten der Stromwandler im Ueberstromgebiet zu kennzeichnen, wurde in den Regeln für Wandler des VDE (REW/1932) durch die Einführung des Begriffes der Ueberstromziffer gemacht. Mit Rücksicht auf die Beachtung, welche die VDE-Regeln auch bei uns finden, dürfte es nicht überflüssig sein, einige Beziehungen näher zu beleuchten, welche bei der Anwendung dieser Grösse berücksichtigt werden müssen. Die Definition der Ueberstromziffer lautet:

«Die Ueberstromziffer n ist bei Stromwandlern das Vielfache des Nenn-Primärstromes, bei dem bei Nennbürde ohne Rücksicht auf den Leistungsfaktor der Stromfehler 10 % ist.»

Die Ueberstromziffer gilt somit für den mit seiner Nennbürde belasteten Stromwandler. Das Vielfache des Primär-Nennstromes, welches bei beliebiger Belastung zu einem Stromfehler von 10 % führt, soll nach dem offiziellen Kommentar daraus umgekehrt proportional zur jeweiligen Leistung berechnet werden können. Eine entsprechend einfache Beziehung wird für die Messung der Ueberstromziffer angegeben. Aus der Arbeit von E. Billig [1]), Berlin, kann man schon ableiten, dass diese Angaben nur für die Fälle zutreffen, in denen die sekundäre Eigen-Impedanz der Stromwandler gegenüber ihrer Nennbürde vernachlässigt werden kann. Auf diese Zusammenhänge soll im folgenden näher eingegangen werden.

I. Bestimmung der Ueberstromziffer bei primärseitigem Speisen des Stromwandlers.

In den folgenden Gleichungen bedeuten:

A Windungsabgleichung in %.
f Stromfehler in %.
I_1 Primärstrom.
I_2 Sekundärstrom.
I_{1N} Primär-Nennstrom.
I_{01} Leerlaufstrom des Stromwandlers bei normaler Speisung.
I_{2S} Sollwert des Sekundärstromes.
I_{2N} Sekundär-Nennstrom.
I_{02} Leerlaufstrom bei sekundärer Speisung des Stromwandlers.
n Ueberstromziffer.
$\ddot{u}_N$ Nenn-Uebersetzungsverhältnis.
E_2 Induzierte Spannung in der Sekundärwicklung.
U_2 Sekundäre Klemmenspannung bei Normalbetrieb des Stromwandlers.
U_2' An die Sekundärklemmen anzulegende Spannung für die Kontrolle der Ueberstromziffer.
Z_a Aeussere Impedanz.
Z_2 Impedanz der Sekundärwicklung.
w_1 Windungszahl der Primärwicklung.
w_2 Windungszahl der Sekundärwicklung.

Unter Stromfehler eines Stromwandlers versteht man die prozentuale Abweichung des Sekundärstromes von seinem Sollwert. Die Grösse dieses Stromfehlers ist von folgenden Faktoren abhängig: Von der Impedanz und vom Leistungsfaktor im ganzen sekundären Stromkreis, d. h. vom Magnetisierungs- und Eisenverlust-Strom und ihrer Richtung relativ zum Sekundärstrom, sowie von der jeweils vorgenommenen Windungsabgleichung. Bei gegebener sekundärer Impedanz eines bestimmten Stromwandlers erhält man dann den grössten Stromfehler, wenn der Leerlaufstrom I_0 in Phase mit dem Sekundärstrom I_2 ist. Diesen Fall müssen wir bei der Bestimmung der Ueberstromziffer berücksichtigen.

Wenn der Stromwandler entsprechend der Bedingung für die Ueberstromziffer —10 % Stromfehler hat, so heisst das, dass sein Sekundärstrom I_2 nur 90 % von seinem Sollwert I_{2S} beträgt. Es gilt dann die Beziehung:

$$I_2 = 0{,}9 \cdot I_{2S} = 0{,}9 \cdot n \cdot I_{2N}$$

Für den Leerlaufstrom erhält man:

a) *Wenn die Windungsabgleichung $A = 0$ ist*

$$f = \frac{I_2 - n \cdot I_{2N}}{n \cdot I_{2N}} \cdot 100 = \frac{-I_{02}}{n \cdot I_{2N}} \cdot 100 = -10\,\%$$

und daraus den zulässigen Leerlaufstrom auf die Sekundärwicklung umgerechnet zu:

$$I_{02} = \frac{n}{10} \cdot I_{2N} \qquad (1)$$

b) *Bei einer Windungsabgleichung von A%.*

Man setzt statt der Ströme die entsprechenden Werte der primären und sekundären Ampèrewindungen, was den physikalischen Vorgängen genau entspricht. Es gelten folgende Beziehungen:

$$\frac{I_{1N}}{I_{2N}} = \ddot{u}_N; \quad w_1 = \frac{1}{\ddot{u}_N} \cdot \frac{w_2}{1 - \frac{A}{100}}$$

$$f = \left(\frac{I_2 w_2 - I_1 w_1}{I_1 w_1} \cdot 100 + A \right) \cdot \frac{1}{1 - \frac{A}{100}}$$

Nun ist aber:

$$I_1 w_1 - I_2 w_2 = I_{01} \cdot w_1 = I_{02} \cdot w_2$$

Diese Werte in die Gleichung für den Stromfehler eingesetzt ergibt:

[1]) Bull. SEV 1934, Nr. 14.

$$f \cdot \left(1 - \frac{A}{100}\right) = \frac{I_{01} \cdot w_1}{I_1 w_1} \cdot 100 + A$$

$$= \frac{-I_{02} \cdot \left(1 - \frac{A}{100}\right)}{n \cdot I_{2N}} \cdot 100 + A$$

Daraus erhält man für den Leerlaufstrom, bezogen auf den Sekundärstromkreis, wenn für $f = -10\ \%$ gesetzt wird:

$$I_{02} = \frac{10 + 0{,}9 \cdot A}{100 - A} \cdot n \cdot I_{2N} \qquad (2)$$

Stellt man die Gleichungen (1) und (2) einander gegenüber, so erkennt man, das der für die Bedingungen der Ueberstromziffer zulässige Leerlaufstrom durch die Windungsabgleichung eine Vergrösserung erfährt.

In Fig. 1 ist das vollständige Diagramm eines Stromwandlers dargestellt. Der Leistungsfaktor der sekundären Belastung wurde so gewählt, dass die Leerlauf-Ampèrewindungen $I_{01}\, w_1$ in Phase mit den sekundären Ampèrewindungen $I_2 w_2$ liegen. Dieser Spezialfall wurde deshalb herausgegriffen, weil er den grössten Stromfehler, also die kleinste Ueberstromziffer ergibt. Wie das Diagramm zeigt, setzt sich die sekundär induzierte Spannung E_2 aus dem äusseren Spannungsabfalle entsprechend der nützlichen Sekundärimpedanz und dem Spannungsabfall in der Sekundärwicklung entsprechend der Eigenimpedanz zusammen. Der prozentuale Anteil der Eigenimpedanz kann je nach der Konstruktion des Stromwandlers und der Grösse der Nutzimpedanz einen beträchtlichen Betrag der gesamten sekundären Impedanz ausmachen.

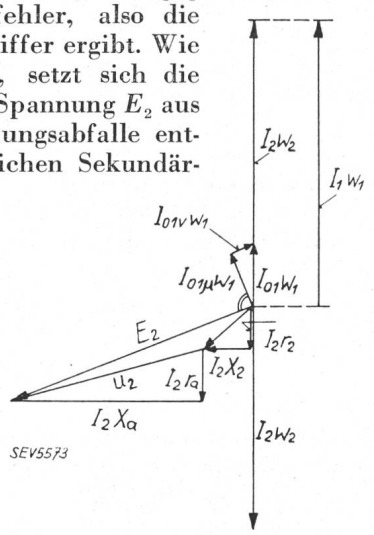

Fig. 1.

Normales Stromwandlerdiagramm.

Für die einzelnen Spannungsvektoren gelten folgende Gleichungen, welche streng genommen Vektorgleichungen sind; *wir wollen aber der Einfachheit halber voraussetzen, dass Z_a und Z_2 in Phase seien* und daher alle Gleichungen in der gewöhnlichen algebraischen Form schreiben.

Gesamte induzierte Spannung:

$$E_2 = I_2 \cdot (Z_a + Z_2)$$

Für die Bedingungen der Ueberstromziffer beträgt der Sekundärstrom nur 90 % seines Sollwertes und somit die induzierte Spannung:

$$E_2 = 0{,}9 \cdot n \cdot I_{2N} \cdot (Z_a + Z_2) \qquad (3)$$

Aeussere nützliche Spannung:

$$U_2 = E_2 - I_2 \cdot Z_2 = 0{,}9 \cdot n \cdot I_{2N} \cdot Z_a \qquad (4)$$

Messtechnisch ist die Bestimmung der Ueberstromziffer, wenn sie grosse Werte annimmt, bei primärseitiger Speisung des Wandlers schwierig, weil die zulässige Messzeit mit Rücksicht auf die Erwärmung sehr kurz ist. Aus diesem Grunde wurde nach andern Messmethoden gesucht.

II. Kontrolle der Ueberstromziffer durch sekundärseitiges Speisen des Stromwandlers bei offener Primärwicklung.

Diese Messmethode liefert dann das Resultat, das sich beim normal arbeitenden Stromwandler ergibt, wenn sämtliche Faktoren, welche die Ueberstromziffer, d. h. den Leerlaufstrom und die Induktion beeinflussen, im richtigen Sinne berücksichtigt werden. Es seien folgende Fälle betrachtet:

a) *Die Eigenimpedanz und die Windungsabgleichung seien 0.*

In diesem vereinfachten Falle rechnet man den zulässigen Leerlaufstrom nach Gl. (1). In Gl. (4) fällt das Glied mit dem Faktor Z_2 weg; d. h. aber, dass die induzierte Spannung E_2 und die äussere sekundäre Klemmenspannung U_2 gleich gross sind.

$$U_2 = E_2 = 0{,}9 \cdot n \cdot I_{2N} \cdot Z_a \qquad (5)$$

Für die magnetische Sättigung und den Leerlaufstrom ist es somit gleichgültig, ob der Stromwandler primärseitig erregt werde und bei angeschlossener Sekundärimpedanz die Klemmenspannung U_2 erzeugt, oder ob bei offener Primärwicklung die Spannung $U_2' = U_2$ an die Sekundärklemmen angelegt wird. Speist man den Stromwandler von der Sekundärseite aus mit dieser Spannung U_2', welche nach Gl. (5) mit der festgelegten Nennleistung $(I_{2N}^2 \cdot Z_a)$ und der festgelegten Ueberstromziffer n errechnet wird, so muss der Leerlaufstrom I_{02} der Gl. (1) genügen.

Die Werte, welche man für die sekundär anzulegende Spannung und den dabei zulässigen Leerlaufstrom erhalten hat, sind identisch mit denjenigen, welche in den Erläuterungen zu den REW/1932 angegeben werden.

b) *Die Eigenimpedanz sei 0, die Windungsabgleichung sei A %.*

Bei diesen Annahmen sind die induzierte Spannung E_2 und die sekundäre Klemmenspannung U_2 einander gleich wie im vorhergehenden Abschnitt. Der Leerlaufstrom I_{02} muss aber nach Gl. (2) gerechnet werden. Speist man den Stromwandler sekundärseitig mit der Spannung $U_2' = U_2$, die man nach Gl. (5) rechnet, so darf der Leerlaufstrom den Wert nach Gl. (2) haben. Die Windungsabgleichung hat zur Folge, dass der Leerlaufstrom

$$\frac{10 + 0{,}9 \cdot A}{100 - A} \cdot 10 \qquad (2a)$$

mal grösser sein darf als beim Stromwandler ohne Windungsabgleichung. In Tabelle I ist dieser Faktor für verschiedene Werte von A angegeben:

Tabelle I.

Windungsabgleichung A %	$\frac{10 + 0{,}9 \cdot A}{100 - A} \cdot 10$
1	1,1
2	1,2
5	1,53
10	2,12

Der Faktor, mit dem die Ueberstromziffer multipliziert werden darf, ist im allgemeinen kleiner als die in dieser Tabelle angegebenen Werte, da der Stromwandler im Ueberstromgebiet meistens ziemlich gesättigt ist, der Leerlaufstrom also schneller zunimmt als die Induktion und die ihr proportionale Ueberstromziffer.

c) *Die Eigenimpedanz sei Z_2, die Windungsabgleichung sei 0.*

Die induzierte Spannung E_2 und die Klemmenspannung U_2 sind nicht gleich gross. Für primärseitige Speisung des Stromwandlers ist das Spannungsdiagramm in Fig. 1 angegeben; E_2 ist um den Betrag $0{,}9 \cdot n \cdot I_{2N} \cdot Z_2$ grösser als U_2.

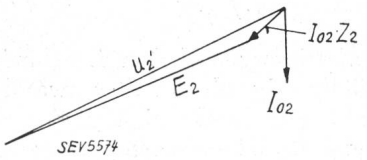

Fig. 2.
Stromwandlerdiagramm bei sekundärseitiger Speisung und offener Primärwicklung.

Bei sekundärseitiger Speisung des Stromwandlers erhält man, wie Fig. 2 zeigt, ein ganz anderes Bild. Den zulässigen Leerlaufstrom I_{02} rechnet man für $A = 0$ nach Gl. (1). Um die gleichen Sättigungsverhältnisse zu erhalten wie beim Normalbetrieb des Stromwandlers, muss die von aussen angelegte Spannung U'_2 grösser als U_2, sogar grösser als das nach Gl. (3) gerechnete E_2 sein, und zwar um den Spannungsabfall, welchen der Leerlaufstrom I_{02} in der Sekundärwicklung des Stromwandlers erzeugt. Dabei ist zu beachten, dass die sekundäre Streureaktanz bei offener Primärwicklung nicht den gleichen Wert hat wie beim normal betriebenen Stromwandler, sondern je nach Konstruktion um einen Faktor k verschieden sein kann. Für die zur Kontrolle der Ueberstromziffer n an den Sekundärklemmen des Stromwandlers anzulegende Spannung U'_2 erhält man die Gleichung

$$U'_2 = E_2 + I_{02} \cdot Z_2 \cdot k$$

Für die weitere Untersuchung wird die Annahme gemacht, dass $k = 1$ sei; es gilt

$$U'_2 = 0{,}9 \cdot n \cdot I_{2N} \cdot (Z_a + Z_2) + \frac{n}{10} \cdot I_{2N} \cdot Z_2$$

$$U'_2 = n \cdot I_{2N} \cdot (0{,}9 \cdot Z_a + Z_2) \qquad (6)$$

Wenn man die Gl. (5) und (6) betrachtet, so erkennt man, dass die tatsächliche Ueberstromziffer nur

$$\frac{0{,}9 \cdot Z_a}{0{,}9 \cdot Z_a + Z_2} \qquad (6a)$$

mal so gross ist als der Wert, welcher unter Vernachlässigung der Eigenimpedanz gerechnet wurde. In Tabelle II ist dieser Faktor für einige Werte von $\frac{Z_2}{Z_a}$ angegeben. (Es sei wiederholt, dass Z_a und Z_2 als in Phase liegend angenommen sind.)

Tabelle II.

$\frac{Z_2}{Z_a}$	$\frac{0{,}9 \cdot Z_a}{0{,}9 \cdot Z_a + Z_2}$
0	1
0,1	0,9
0,2	0,818
0,5	0,643
1	0,474

d) *Die Eigenimpedanz sei Z_2, die Windungsabgleichung sei A %.*

Diese Annahmen entsprechen den allgemeinen Bedingungen eines Stromwandlers. Es gelten die gleichen Ueberlegungen wie bei der Annahme c) mit dem einzigen Unterschied, dass der zulässige Leerlaufstrom I_{02} nach Gl. (2) berechnet werden muss. Man erhält für die an die sekundären Klemmen des Stromwandlers anzuschliessende Spannung die Gleichung

$$U'_2 = n \cdot I_{2N} \cdot \left[0{,}9 \cdot Z_a + Z_2 \left(0{,}9 \cdot \frac{10 + 0{,}9 \cdot A}{100 - A}\right)\right] \qquad (7)$$

Die Spannung, welche man bei Vernachlässigung der Eigenimpedanz und der Windungsabgleichung erhält, ist nur

$$\frac{0{,}9 \cdot Z_a}{0{,}9 \cdot Z_a + Z_2 \cdot \left(0{,}9 + \frac{10 + 0{,}9 \cdot A}{100 - A}\right)} \qquad (7a)$$

mal so klein; der Strom dagegen, welcher beim Anlegen der Spannung nach Gl. (7) auftreten darf, ist nach Gl. (2a) $\frac{10 + 0{,}9 \cdot A}{100 - A} \cdot 10$mal grösser als bei Windungsabgleichung 0. Sowohl die anzulegende Spannung als auch der zulässige Leerlaufstrom sind grösser als im einfachsten Falle nach Annahme a). Bei gegebener Abgleichung gibt es einen ganz bestimmten Wert für Z_2, bei welchem die Ueberstromziffer den gleichen Wert hat wie beim entsprechenden Stromwandler ohne Windungsabgleichung und ohne Eigenimpedanz. Bei den sogenannten starken Stromwandlern (Stromwandler mit grosser Nenn-Ampèrewindungszahl) treten aber 10 % Stromfehler erst dann auf, wenn der Eisenkern stark gesättigt ist, mit andern Worten, wenn trotz wesentlicher Vergrösserung des Leerlaufstromes die EMK nur

wenig mehr zunimmt. Die Ueberstromziffer ist hier ausschliesslich durch die Sättigung des Eisens gegeben. Da solche Stromwandler im allgemeinen ziemlich grosse Eigenimpedanz haben, muss die theoretische Ueberstromziffer entsprechend Annahme a) mit dem Faktor 7a) multipliziert werden.

Aus diesen Betrachtungen folgt, dass die sekundärseitige Messung der Ueberstromziffer eines Stromwandlers nach den Angaben in den Erläuterungen zu den REW/1932 je nach der Grösse der Windungsabgleichung und der sekundären Eigenimpedanz einen Wert gibt, welcher erheblich von der tatsächlichen Ueberstromziffer n abweichen kann. Will man diese genau bestimmen, so müssen die Windungsabgleichung und die sekundäre Eigenimpedanz bei Normalbetrieb des Stromwandlers und bei offener Primärwicklung bekannt sein und berücksichtigt werden.

III. Ueberstromziffer bei beliebiger Sekundärleistung.

Die schon erwähnten Erläuterungen zu den REW/1932 sagen aus, dass das Produkt Ueberstromziffer × Sekundärleistung bei einem Stromwandler konstant sei, also

$$n_1 \cdot Z_{a1} = n_2 \cdot Z_{a2} = n_3 \cdot Z_{a3} = \cdots$$

Aus dem Bisherigen erkennt man ohne weiteres, dass diese einfache Beziehung nur für den Stromwandler gilt, der keine sekundäre Eigenimpedanz aufweist. Wenn man die Impedanz Z_2 der Sekundärwicklung berücksichtigt, so erhält man folgende Beziehung zwischen der äusseren Impedanz Z_a und der Ueberstromziffer n:

$$n_1 \cdot (Z_2 + Z_{a1}) = n_2 \cdot (Z_2 + Z_{a2}) = \cdots$$

und daraus

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{Z_2 + Z_{a1}}{Z_2 + Z_{a2}}$$

Es sei z. B. $Z_2 = Z_{a2}$; $Z_{a1} = 2\,Z_{a2}$. Bei Vernachlässigung der Eigenverluste des Stromwandlers ist $n_2 = 2\,n_1$, während die tatsächliche Ueberstromziffer bei einer Belastung Z_{a2} nur

$$n_2 = \frac{Z_{a2} + 2\,Z_{a2}}{Z_{a2} + Z_{a2}} \cdot n_1 = 1{,}5 \cdot n_1 \text{ ist.}$$

Die Umrechnung der Ueberstromziffer für beliebige Sekundärleistung könnte dadurch erleichtert werden, dass man ihren Wert allgemein für zwei Leistungen, z, B. für Nenn- und 1/4-Leistung angeben würde.

IV. Andere Methode zur Kontrolle der Ueberstromziffer.

Ein Nachteil der unter II angegebenen Messmethode besteht darin, dass die Streuverhältnisse der Sekundärwicklung bei offener Primärwicklung nicht gleich sind wie wenn Primär- und Sekundärwicklung Strom führen. Diese Unbekannte, welche die Aenderung der sekundären Eigenstreuung berücksichtigt, wurde weiter vorn mit k bezeichnet. Eine andere Messmethode, mit welcher die angegebene Ueberstromziffer eines Stromwandlers nachgeprüft werden kann und welche den soeben erwähnten Nachteil in geringerem Masse oder gar nicht besitzt, ist folgende:

Man belastet die Sekundärwicklung des Stromwandlers mit derjenigen Impedanz, welche beim *sekundären Nennstrom* die gleiche induzierte Spannung, also die gleiche magnetische Sättigung und den gleichen Leerlaufstrom ergibt wie beim normal belasteten Stromwandler beim n-fachen Primärnennstrom. Man speist den Stromwandler *primärseitig* und steigert den Strom I_1 so lange, bis der Sekundärstrom seinen Nennwert erreicht hat. Die Gleichung für die induzierte Spannung lautet dann:

$$E_2 = (Z_a + Z_2) \cdot 0{,}9 \cdot n \cdot I_{2N} \qquad (3)$$

Da der Sekundärstrom gleich seinem Nennwert sein soll, beträgt die gesamte Impedanz des sekundären Stromkreises:

$$Z_{tot} = (Z_a + Z_2) \cdot 0{,}9 \cdot n \qquad (9)$$

Die an die Sekundärklemmen anzuschliessende Impedanz ist schliesslich:

$$Z'_a = Z_{tot} - Z_2 = 0{,}9 \cdot n \cdot Z_a + Z_2 \cdot (0{,}9 \cdot n - 1) \qquad (10)$$

Dabei ist zu beachten, dass diese Impedanz praktisch rein induktiv sein muss, damit der Leerlaufstrom in Phase mit dem Sekundärstrom ist.

Für den primärseitig gemessenen Leerlaufstrom folgt aus der schon früher angegebenen Gleichung für den Stromfehler f, wenn für diesen der zulässige Wert —10 % gesetzt wird:

$$I_{01} = \frac{10 + 0{,}9 \cdot A}{100} \cdot n \cdot I_{1N} \qquad (11)$$

Schliesslich folgt für den bei dieser Schaltung zulässigen Primärstrom:

$$I_1 = \frac{I_{01} w_1 + I_{2N} w_2}{w_1} =$$

$$I_{1N} \cdot \left(\frac{100 - A}{100} + \frac{10 + 0{,}9 \cdot A}{100} \cdot n \right) \qquad (12)$$

Aus den Abschnitten I—IV geht hervor, dass im allgemeinen die Ueberstromziffer wohl berechnet, aber nur schwer richtig gemessen werden kann. Die zugelassene Toleranz von —10 % ist somit gerechtfertigt. Es sei noch erwähnt, dass die meisten Stromwandler nur kleine Windungsabgleichungen besitzen. Dieser Umstand und der schon früher erwähnte, dass die Stromwandler im Ueberstromgebiet meistens gesättigt sind, und somit eine ansehnliche Vergrösserung des Magnetisierungsstromes nur eine unwesentliche Erhöhung von E_2 und der E_2 proportionalen Ueberstromziffer zur Folge hat, gestatten, in vielen Fällen den Einfluss der Windungsabgleichung zu vernachlässigen, ohne dadurch die Ueberstromziffer merklich zu beeinflussen. Die

Eigenimpedanz der Sekundärwicklung dagegen muss immer berücksichtigt werden, da sie die Ueberstromziffer direkt beeinflusst.

Es bleibt, abgesehen von der dargelegten Unsicherheit, mit der die Ueberstromziffer behaftet ist, zu untersuchen, ob sie Stromwandler genügend charakterisiert für Fälle, in denen diese Apparate zu speisen haben, welche gerade beim Auftreten hoher Kurzschlußströme in Wirksamkeit treten müssen.

C. Bedingungen, welche an einen im Ueberstromgebiet arbeitenden Stromwandler gestellt werden müssen.

Stromwandler, welche Zähler, Ampèremeter u. dgl. speisen, müssen im allgemeinen bei Primärströmen, die den Nennwert erheblich überschreiten, keine besondere Genauigkeit aufweisen. Mit Rücksicht auf die Gefährdung der Instrumente bei grossen Strömen ist es im Gegenteil oft erwünscht, dass die Stromwandler im Kurzschlussgebiet zusammenbrechen, d. h. sehr grosse Fehler aufweisen. Anders verhält es sich mit den Bedingungen für Stromwandler, welche ein System von Schutzrelais speisen. Hier müssen die Wandler, speziell im Ueberstromgebiet, je nach den Eigenschaften der Relais und der Schutzschaltungen bestimmte Genauigkeitsgrenzen einhalten. Bei Distanz- und Richtungsrelais ist die absolute Grösse des Strom- und Winkelfehlers ausschlaggebend. Beim Differentialschutz kommt es auf die Differenz zwischen den Fehlercharakteristiken der Stromwandler auf beiden Seiten des zu schützenden Objektes an, während die Fehlergrössen selbst eher eine untergeordnete Rolle spielen. Die Kennzeichnung von Stromwandlern zur Speisung von Distanz- und Richtungsrelais durch die Ueberstromziffer ist ungenügend, da von ihr aus auf den Verlauf der Fehlercharakteristiken im Strombereich von Leerlauf bis zum Vielfachen des Nennstromes, das der Kennziffer entspricht, keine eindeutigen Schlüsse gezogen werden können. Für Relais der genannten Art ist es jedoch wesentlich, dass Strom- und Winkelfehler in ihrem ganzen Arbeitsbereich gewisse Grenzen nicht überschreiten. Hinsichtlich der Speisung von Differentialrelais ist folgendes zu sagen: Ein Differentialstromrelais in üblicher Schaltung, das auf einen Störungsstrom von 30 % des Nennstromes eingestellt ist, spricht z. B. bei einem durchgehenden Kurzschlußstrom von $10 \times I_N$ an, wenn die Differenz der Leerlaufströme beider Wandler 3 % beträgt. Bei grössern Kurzschlußströmen ist die zulässige prozentuale Abweichung der Fehlercharakteristiken noch kleiner. Verwendet man zur Speisung eines Differentialschutzes Stromwandler gleicher Ueberstromziffer, so bietet dies keine Gewähr gegen Fehlauslösungen, da die beiderseitigen Fehlerkurven bei Ueberströmen unter dem Nennwert, welcher der Kennziffer entspricht, erheblich voneinander abweichen können. Dabei ist zu beachten, dass Unterschiede im Fehlwinkel ebensogut Differenzströme hervorrufen wie Unterschiede im Stromfehler. Betrachtet man schliesslich Fälle, in denen an Stelle der normalen Differentialrelais sogenannte Prozentdifferentialrelais verwendet werden, welche bekanntlich gegenüber der üblichen Relaisbauart auf Abweichungen der Wandlercharakteristiken bei hohen Ueberströmen weniger empfindlich sind, so ist zu sagen, dass aus der Angabe der Ueberstromziffer für die verwendeten Stromwandler keine eindeutigen Schlüsse auf die Einstellung dieser Relais gezogen werden können.

Es muss somit festgestellt werden, dass die Ueberstromziffer auch bei eindeutiger Auslegung ihrer Bedeutung, das Verhalten eines Stromwandlers im Ueberstromgebiet nicht genügend charakterisiert. Ein Bedürfnis nach einer eindeutigen Kennzeichnung der Stromwandler hinsichtlich ihrer Eignung zur Speisung von Schutzrelais im Ueberstromgebiet ist entschieden vorhanden. Dieses könnte u. E. am besten durch Definition einer Genauigkeitsklasse befriedigt werden, von welcher nur die max. zulässigen Strom- und Winkelfehler-Werte festgelegt werden, während der Strombereich, in dem diese Bedingungen erfüllt werden, bei jeder Wandlertype für eine oder mehrere Leistungen vom Fabrikanten jeweils angegeben werden muss. Während die vorgeschriebenen Fehlergrenzen nach der Eidgenössischen Vollziehungsverordnung mit Rücksicht auf ihre wirtschaftliche Bedeutung bei der Verrechnung des Elektrizitätsbezuges festgelegt wurden, sind bei der vorgeschlagenen Genauigkeitsklasse die technischen Eigenschaften der Relais und die Betriebsforderungen, welche an einen Selektiv- oder Differentialschutz gestellt werden, massgebend. Eine gewisse Willkür bei der Festlegung solcher Fehlergrenzen lässt sich kaum vermeiden. Solange man innerhalb vernünftiger Grenzen bleibt, die einerseits in den Genauigkeitsforderungen nicht zu hoch geschraubt sind, sich anderseits den Anforderungen des Schutzes für richtiges Funktionieren innerhalb des praktisch vorkommenden Bereiches der Ueberströme anpassen, lässt sich auf dem angedeuteten Wege ein praktisch brauchbares Verständigungsmittel schaffen.

Inoffiziell sind seit einigen Jahren im Zusammenhang mit Problemen der Speisung von Distanz- und Differentialrelais zwei Genauigkeitsklassen mit der Bezeichnung S 10 und S 20 in Verwendung. Dieses System hat sich gut bewährt. Die Klassen sind folgendermassen definiert:

Tabelle III.

Klasse	Max. Stromfehler	Max. Fehlwinkel	Gültig im Strombereich
S 10	± 5 %	± 5°	1/3 bis $10 \times I_N$
S 20	± 5 %	± 5°	2/3 bis $20 \times I_N$

Eine offizielle Definition einer Genauigkeitsklasse für Stromwandler zur Speisung von Selektivrelais müsste unseres Erachtens ungefähr folgenden Inhalt haben: Die maximal zulässigen Stromfehler und Fehlwinkel betragen ± 5 % und ± 5°. Die Klasse wird mit einem Buchstaben, beispielsweise S, bezeichnet, begleitet von einem Zahlenindex. Diese Zahl kennzeichnet den Strombereich, in welchem

die genannten Fehlergrenzen eingehalten werden, und zwar gibt eine erste Zahl die untere und eine zweite die obere Stromgrenze an. Diese Bereichangabe ist gültig für die Nennleistung des Wandlers. Beispielsweise würde eine Bezeichnung «S 0,5/25» für einen Wandler gelten, der bei Belastung mit seiner Nennleistung im Bereich von 0,5 bis 25 × Nennstrom innerhalb der definierten Fehlergrenzen arbeitet.

Diese neue Genauigkeitsklasse bildet an und für sich eine schärfer definierte Ueberstromziffer. Sie kann daher bei einem bestimmten Stromwandler neben anderen Genauigkeitsklassen aufgeführt werden. Wie man dies am besten darstellt, wäre Sache einer endgültigen Formulierung. Wie bei der Ueberstromziffer bietet auch hier die messtechnische Kontrolle erhebliche Schwierigkeiten, ebenso der Uebergang von den Angaben für eine bestimmte Leistung auf das Verhalten bei andern Leistungen. Diese Fragen müssen gelöst werden, sobald die Einführung einer Messklasse der angeregten Art konkrete Gestalt annimmt.

La mesure du courant de terre d'un réseau triphasé.

Par *Ch. Jean-Richard*, Berne.

621.317.31 : 621.3.014.3

On indique une méthode d'investigation permettant d'établir à l'avance la puissance de bobines d'induction nécessaires à la compensation du courant de terre d'un réseau triphasé. Cette méthode, dite d'infusion, applique une tension auxiliaire entre le neutre du réseau et la terre.

Es wird ein Verfahren angegeben, mit dessen Hilfe die Leistung von Löschdrosselspulen eines Dreiphasennetzes im voraus bestimmt werden kann. Das Verfahren, Nullpunktseinspeisung genannt, verwendet eine Hilfsspannung zwischen dem Systemnullpunkt und der Erde.

Un réseau à haute tension et triphasé est alimenté par plusieurs centrales. Entre les centrales, les sous-stations se suivent dans n'importe quel ordre. En outre, le réseau est situé dans une région accidentée. L'exploitant ayant été incommodé par des mises à la terre fréquentes se propose d'installer des bobines d'extinction. Le fabricant de telles bobines faisant des offres sur la base de calculs approximatifs, l'exploitant cherche une méthode de mesure lui permettant d'établir à l'avance exactement les conditions à remplir par ces bobines, toutefois sans intervention dans le réseau.

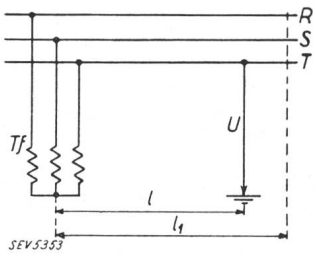

Fig. 1.

R, S, T Tensions de phase, régime normal.
Tf Transformateur alimentant *R, S, T*.
U Tension auxiliaire, de même valeur et de même fréquence que la tension *T*, mais de sens inverse au sens de celle-ci.
N Neutre du transformateur.
l Distance de l'endroit de la mise à la terre, présumée ou réelle, par rapport à *N*, cet endroit pouvant être choisi entre 0 et l_1.
l_1 Longueur totale de la ligne, y compris le transformateur *Tf*.

Nous sommes parti de l'idée que la mise à la terre peut être produite par l'application, à l'endroit d'une mise à la terre présumée, d'une tension *U* monophasée de même valeur, de même fréquence, mais de sens inverse que la tension normale par rapport à la terre à cet endroit (Fig. 1). On peut supposer que cette tension auxiliaire change de place le long d'une ligne du réseau. L'effet restera pratiquement le même. Finalement, la tension auxiliaire pourra être appliquée entre le neutre d'un transformateur branché sur ce réseau et la terre. L'effet en sera de reproduire plus exactement encore les conditions de service d'un réseau avec bobines d'extinction au cas d'une mise à la terre réelle. Cela est démontré par les diagrammes 2a, b et c.

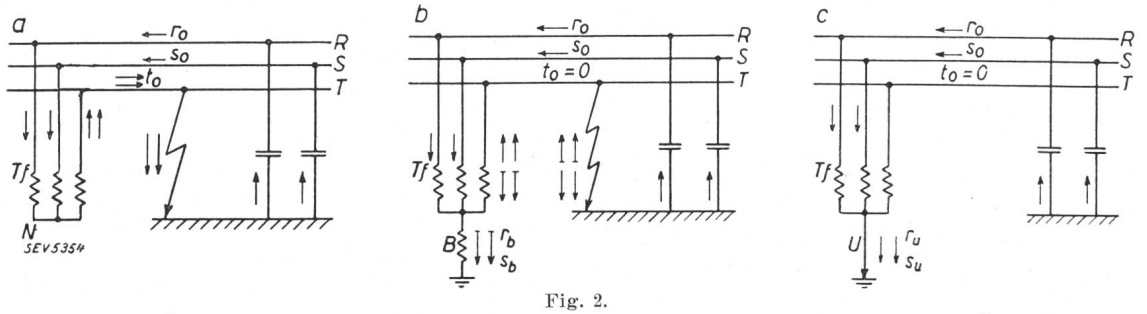

Fig. 2.

a

N Neutre isolé.

$|r_0 + s_0| = |\sqrt{3}\, r_0| = |\sqrt{3}\, s_0|$

$\underline{t_0 = r_0 + s_0}$

sur le parcours du transformateur jusqu'à l'endroit défectueux.

b

B Bobine d'extinction.

$r_0 = r_b$; $s_0 = s_b$;

$\underline{t_0 = 0}$

$r_0 - r_b = 0$; $s_0 - s_b = 0$.

c

U Tension auxiliaire.

$r_0 = r_u$; $s_0 = s_u$;

$\underline{t_0 = 0}$.

L'impédance monoaxiale du transformateur est supposée égale à zéro, ici et aux diagrammes de la fig. 3a, b et c tandis que le diagramme de la fig. 3d en montre l'influence lorsqu'elle n'est pas à négliger.

Notons en outre que le courant de terre d'un réseau donné est fonction linéaire de la tension de service de ce réseau.