Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 24 (1933)

Heft: 5

Rubrik: Messwandler. Diskussion

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. Siehe Rechtliche Hinweise.

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. Voir Informations légales.

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. See Legal notice.

Download PDF: 26.04.2025

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

Ein wesentlicher Fortschritt wurde in allerletzter Zeit erzielt durch eine Verbesserung der Gegenmagnetisierung bei den sogenannten Kombinationswandlern. Der Kombinationswandler besteht aus zwei Systemen, welche jedes für sich auf eine andere Permeabilität magnetisiert wird. Die Anordnung ist in Fig. 8 dargestellt. Die verblüffende Wirkung dieser Kombination besteht darin, dass man jedes System in dem Teilstromgebiet arbeiten lässt, wo es die geringsten Fehler hat.

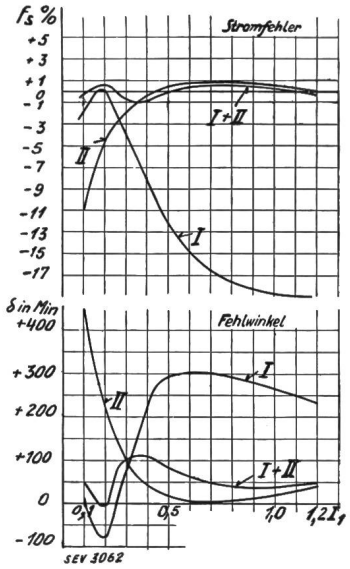

Fig. 9.
Fehlerkurven des Kombinationswandlers Fig. 8.

Durch die Abstimmung der Magnetisierung erreicht man, dass der Hauptanteil der Klemmenspannung U, die sich als Summe $U = U_1 + U_2$ beider Teilspannungen darstellt, im entsprechenden Teilgebiet hauptsächlich nur von einem System geliefert wird. Der Einfachheit halber sei gleiche magnetische Charakteristik für beide Systeme angenommen. Man kann an Hand der Permeabilitätskurve die Wirkung der Einzelsysteme plausibel machen. Im unteren Gebiet der Fehlerstromkurve wirkt das System I, das auf eine höhere Permeabilität abgeglichen ist, im oberen Gebiet tritt dieses System zurück und die Leistung wird automatisch vom zweiten System übernommen. Die Fehlerkurven in Fig. 9 bringen die Wirkung deutlich zum Ausdruck. Wie man sieht, sind die Fehlerkurven I + II das Resultat der Zusammenwirkung beider Systeme, während die Fehlerkurven I und II, für sich allein betrachtet, unbrauchbare Werte ergeben. Die Fehler eines Kombinationswandlers 75/5 A entsprechen bei einer Bürde von 15 VA der Klasse 1.

Es scheint, dass man hier eine sehr vollständige Lösung des Stromwandlerproblems gefunden hat. Da die Frage der Leistungsabgabe damit als gelöst zu betrachten ist, ist der Einleiterstromwandler wegen seiner unbeschränkten Kurzschlussfestigkeit der Wandler der Zukunft.

V. Referat

gehalten von Dr. *E. König*, Direktor des

Eidg. Amtes für Mass und Gewicht.

Dr. *E. König*, Direktor des Eidgenössischen Amtes für Mass und Gewicht, referiert über die neue «Vollziehungsverordnung über die amtliche Prüfung von Elektrizitätsverbrauchsmessern». Seine Bemerkungen beziehen sich in erster Linie auf die Aenderungen gegenüber den bisherigen Vorschriften oder dem ersten, seinerzeit den Firmen zur Vernehmlassung zugestellten Entwurf. Da die Vorlage im Januar an den Bundesrat zur Genehmigung ging, so kann ein Aufzählen der einzelnen Punkte umgangen werden; einige wenige der vorgesehenen neuen Bestimmungen sind die folgenden:

Für Stromwandler: Die Nennleistung des Sekundärkreises darf nicht kleiner sein als 10 VA, bei Einstabwandlern 5 VA. Stromfehler und Fehlwinkel sind charakterisiert durch $f_u = 0{,}5$ % und $\delta = 30'$; die Toleranzen sind 0,1 % für f_u und 5′ für δ.

Für Spannungswandler: Die Nennleistung der Sekundärkreise eines Spannungswandlers darf nicht weniger als 30 VA pro Phase betragen; Spannungsfehler und Fehlwinkel wie bei Stromwandlern, ebenso gleiche Toleranzen.

Diskussion [1]).

J. Fischer, Ingenieur der Emil Haefely & Cie. A.-G., Basel (EHB): Aus den gleichen Gründen, wie sie bereits in den vorausgegangenen Referaten erwähnt wurden, führt die EHB für dauernde betriebsmässige Messungen keine Wandler mit Massefüllung aus. Wer je bei der Explosion eines mit Masse gefüllten Wandlers dabei war, wird wohl kaum mehr ein derartiges Konstruktionsexperiment nachahmen. Fast möchte es scheinen, dass eine Betonung dieser Tatsachen nicht nötig sei, und doch sah ich in einer neuzeitlichen Anlage wieder Massewandler.

Für Wandler, welche zur Messung sehr grosser Energiemengen dienen sollen, bekennen wir uns als Anhänger der Idee grösster Genauigkeitsansprüche. An sich bedingen hohe Betriebsspannungen verhältnismässig grosse Abmessungen der Wandler und deshalb grössere Schwierigkeiten, ansehnliche Sekundärleistungen bei grosser Präzision zu erreichen. Dass diese Schwierigkeiten durch sorgfältige Konstruktion zu meistern sind, zeigen die Fehlerkurven (Fig. 1) eines Stromwandlers für 150 kV. Uebersetzungsfehler und Fehlwinkel bei $\cos\varphi = 1$ und 0,8 für volle Bürde, ebenso ¼ Bürde, sind günstiger als nach VDE-Klasse 0,2 zulässig wäre; bei Ausnützung dieser Grenzen könnten dem vorliegenden Wandler noch erheblich grössere Leistungen entnommen werden. Zum Vergleich wurden auch noch die Genauigkeitsansprüche gemäss dem eidgenössischen Vorschriftenentwurf 1933 eingetragen, die sich übrigens mit VDE Klasse 0,5 decken.

[1]) Fast alle Diskussionsbeiträge wurden dem Berichterstatter in freundlicher Weise nachträglich schriftlich formuliert zugestellt, wofür auch hier bestens gedankt sei. Verschiedene mussten gekürzt oder zusammengezogen werden.

Derartige grosse Genauigkeiten haben ihre volle Berechtigung bei Messung grosser Energiemengen, besonders wenn der $\cos\varphi$ im Hochspannungsnetz durchschnittlich gering oder stark schwankend ist. Die aufgeführten Messdaten und die daraus abgeleiteten Rechnungswerte, die ebenfalls in den Kurven eingetragen sind, wurden an drei Stromwandlern

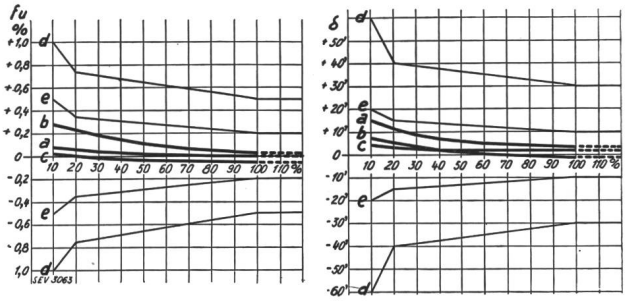

Fig. 1.
Fehlerkurven eines Stromwandlers (EHB) für 150 kV Nennspannung, 330 kV Prüfspannung, 200 VA Sekundärleistung,
a bei 200 VA, $\cos\varphi = 1$ (Messwerte).
b bei 200 VA, $\cos\varphi = 0{,}8$ (Umrechnung aus Kurve *a*).
c bei 50 VA, $\cos\varphi = 0{,}8$ (Umrechnung aus Kurve *a*).
d Zulässige Grenzen gemäss Eidg. Vorschriften.
e Zulässige Grenzen gemäss VDE-Klasse 0,2.

ermittelt, welche für dauernde betriebsmässige Messungen in einem 150-kV-Netz bestimmt sind. Die Wandler sind also keinesfalls nur Paradestücke. Mit dem Hinweis auf diese technisch möglichen Genauigkeiten sollen diejenigen für gewöhnliche Energiemessungen, wie sie beispielsweise durch die Vollziehungsverordnung umschrieben sind, nicht berührt werden.

Die Erörterungen der Herren Referenten über Spannungswandler betrafen nur Einphasenkonstruktionen; der Dreiphasenwandler darf jedoch nicht vergessen werden, denn auch er lässt sich mit der nötigen Genauigkeit herstellen.

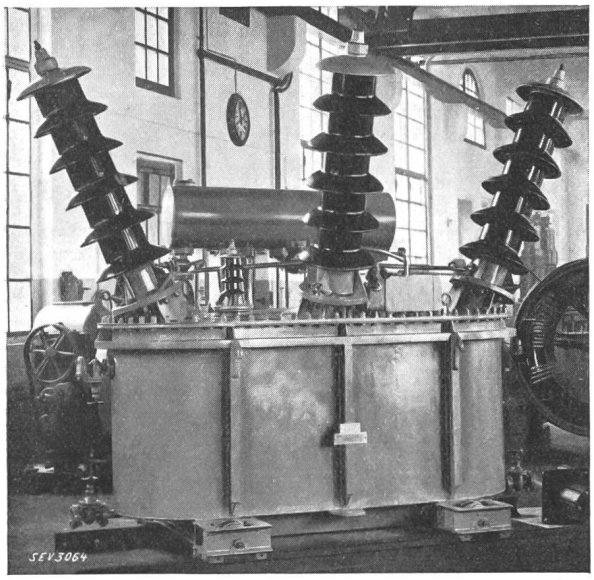

Fig. 2.
Dreiphasenspannungswandler (EHB), 150 kV Nennspannung, 301 kV Prüfspannung.

Die 50-kV-Typen der EHB erreichen bei Belastung von 100 VA pro Phase ca. 0,2 % Uebersetzungsfehler und Winkelfehler unter 20'. Die Genauigkeit liegt etwa zwischen Klasse 0,5 und 0,2 des VDE. Die gedrängten Abmessungen dieser Wandler gestatten deren leichtes Einfügen in Anlagen für Innen- und Freiluftbetrieb. Fig. 2 zeigt einen Dreiphasenwandler für 150 kV Nennspannung und 301 kV Prüfspannung, dessen Präzision bei 200 VA Belastung pro Phase in den eben erwähnten Grössen zwischen Klasse 0,2 und 0,5 des VDE liegt.

Unsere eingehenden Untersuchungen mit Sprungwellen, welche auf ein die Hochspannungswicklung eines Stromwandlers darstellendes Leitergebilde gegeben wurden, haben die Unzulänglichkeit der üblichen Silitwiderstände bewiesen. Es wurden hierbei Spannungsstösse mit Amplitudenwerten bis ca. 140 kV benützt, welche die Leiterisolationen je nach der gewählten Sprungwellenhöhe durchschlugen. Auch induktionsfreie Metallwiderstände statt Silit oder Metall und Silit in Parallelschaltung verhielten sich nicht besser. Nach jedem Versuch mit genügend langem Funkenspiel war der Schutzwiderstand erhitzt; die über ihn fliessende Energie war wohl sehr beträchtlich, aber nicht ausreichend, um Windungsdurchschläge durch Reduktion der Spannungsdifferenz zwischen Ein- und Ausgangswindung zu verhindern. Abhilfe brachten passend dimensionierte Schutzfunkenstrecken, deren Leitfähigkeit nach erfolgtem Ansprechen diejenige der Schutzwiderstände übertrifft. Seither wendet die EHB diese Einrichtung für Hochspannungswandler laufend an. Es ist lediglich darauf zu achten, dass die Funkenstrecke richtig eingestellt wird und bleibt, was nach erfolgter Montage am Platz zu kontrollieren ist.

Kürzlich wurde der EHB die Aenderung des Uebersetzungsverhältnisses einiger Einphasenspannungswandler bewährter ausländischer Konstruktion übertragen. Die Wandler waren bisher anstandslos im Betrieb. Bei der Untersuchung zeigten sich bei zwei Wandlern Drahtunterbruch und Lagendurchschlag mit Verschweissung an der Durchschlagsstelle, so dass keine kurzgeschlossenen Windungen vorhanden waren. Die Sekundärspannung wurde damit zu gross. Zieht man noch die möglichen Störungen an Stromwandlern in Betracht, so drängt sich der Gedanke auf, dass periodische Nachkontrollen der Messwandler im Betrieb empfehlenswert seien. Die Umständlichkeit derartiger Nachmessungen am Platz mag bisher der Ausführung dieses Gedankens hindernd im Wege gestanden haben. Notwendigkeit und Wichtigkeit dieser Kontrollen sollten meines Erachtens aber doch ausschlaggebend sein. Das ist nicht Aengstlichkeit des Konstrukteurs hinsichtlich des betriebsmässigen Verhaltens der Messwandler, nur nüchterne Bewertung von Tatsachen. Dahinter steht ja die Bedeutung exakter Energiemessungen, denn letzten Endes tangieren Fehlmessungen Sinn und Zweck eines Elektrizitätsunternehmens.

Dr. A. Täuber, Ingenieur der Firma Trüb, Täuber & Cie., Zürich (TTC), ruft den von der Firma TTC entwickelten Widerstandsspannungswandler für Spannungen über 100 kV in Erinnerung, der bis jetzt ausnahmslos ohne Störung gearbeitet hat. Dieser Wandler ist im Bulletin des SEV 1928, Nr. 23, von Prof. A. Imhof näher beschrieben.

Im weitern führt Dr. Täuber aus: Die Firma TTC baut für Stromwandler einen Kompensationsapparat nach der bekannten Schaltung von Schering und Alberti. Um den Apparat in gleicher Weise sowohl für stationäre als auch für ambulante Messungen geeignet zu machen, wurde die gesamte Apparatur in einem einzigen Kasten vereinigt. Fig. 3 stellt die Schaltung der Messeinrichtung dar, Fig. 4 zeigt eine Aussenansicht. An der Schleifdrahtskala kann der Uebersetzungsfehler in %, an den Tastern des Stufenkondensators der Fehlwinkel direkt in Minuten abgelesen werden. Bis 500 A werden primärseitig Widerstände (N_1), darüber Normalwandler benützt. Als Nullstromanzeiger wird bei ambulanten Messungen an Stelle des Nadelvibrationsgalvanometers nach Schering mit Vorteil das in jüngster Zeit ausgebildete Schwebungsgalvanometer verwendet (Fig. 5). Darunter verstehen wir ein gewöhnliches Zeigerdrehspul-Galvanometer mit Bandaufhängung und einer Halbschwingungsdauer von ca. 1 s, welches über einen rotierenden Gleichrichter an die Messeinrichtung angeschlossen wird. Der Gleichrichter wird über ein Zahnradvorgelege mit einer Uebersetzung von 1,01 durch einen Synchronmotor angetrieben, welcher seinerseits von derselben Stromquelle gespeist wird wie die Messeinrichtung. Dadurch bilden sich, wie aus der schematischen Darstellung in Fig. 5 hervorgeht,

Schwebungen aus. Ist die Schwebungsfrequenz gleich der Eigenfrequenz des Galvanometers, so erreicht man bei angemessener Dämpfung eine Erhöhung der Empfindlichkeit und gleichzeitig auch eine vom Vibrationsgalvanometer her geschätzte Selektivität für die Grundwelle. Daneben ist das Instrument von Erschütterungen und Fremdfeldern unbeeinflusst.

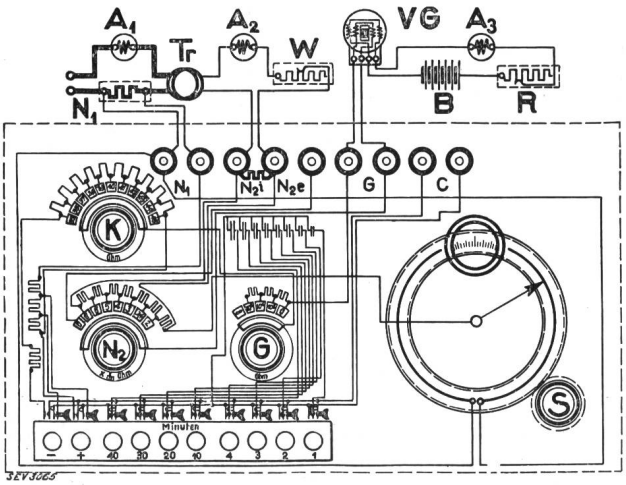

Fig. 3.
Schaltung des Kompensationsapparates (TTC) für Stromwandler.

Tr Zu prüfender Stromwandler.
N_1 Primär-Normalwiderstand.
N_2i Sekundär-Normalwiderstand.
A_1 A_2 Kontroll-Ampèremeter.
A_3 Ampèremeter für die Gleichstromerregung.
W Sekundäre Bürde des Stromwandlers.
VG Vibrationsgalvanometer.
R Widerstand für Gleichstromerregung.
B Akkumulatorbatterie 12 V.
G Widerstandsschalter zum Galvanometer.
N_2 Schalter der Teilwiderstände zu N_2i.
K Grobregulierung } Für die Messung des
S Feinregulierung } Uebersetzungsfehlers.

Fig. 4.
Ansicht des Kompensationsapparates Fig. 3.

Kompensationsapparate zur Messung von Spannungswandlern für mehr als 50 kV lassen sich in Verbindung mit Ohmschen Hochspannungsteilern nicht verwenden, da solche für so hohe Spannungen nicht mehr hinreichend winkelfehlerfrei gebaut werden können. Untersuchungen des Eidgenössischen Amtes für Mass und Gewicht in Bern mit kapazitiven Spannungsteilern haben deren Brauchbarkeit für beliebig hohe Spannungen gezeigt. Gestützt auf diese Untersuchungen und die für den genannten Zweck vom Amt für Mass und Gewicht empfohlene Schaltung, welche im wesentlichen gleich ist wie diejenige der Kompensationsapparate

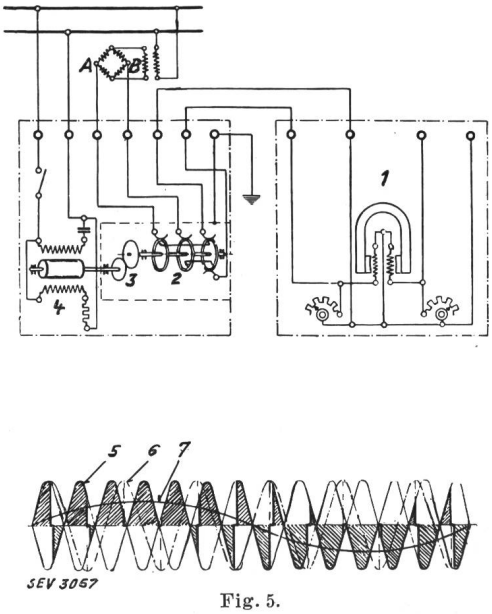

Fig. 5.
Schaltung des Schwebungsgalvanometers.

1 Drehspul-Galvanometer mit zwei Wicklungen für zwei weit auseinander liegende Spannungsempfindlichkeiten, mit Widerständen für die Empfindlichkeitsregulierung.
2 Rotierender Gleichrichter.
3 Zahnradvorgelege, Uebersetzung 1,01.
4 Synchromotor.
5 Gleichgerichteter Messtrom, Klemmen *A, B*.
6 Gedachte Wechselstromkurve am Gleichrichter, welche die Kommutierung der Kurve 5 bestimmt.
7 Schwebungskurve, welche vom Galvanometer angezeigt wird.

für Stromwandlermessungen, stellen TTC eine solche Apparatur für Spannungswandlermessungen her. Als Nullstromanzeiger kann auch hier an Stelle des Vibrationsgalvanometers ein Schwebungsgalvanometer verwendet werden.

P. Müller, Ingenieur der Technischen Prüfanstalten des SEV, Zürich: Herr Fischer (EHB) erachtet die Nachprüfung von Messwandlern im Betriebe als wünschbar, aber wahrscheinlich mit einigen Schwierigkeiten verbunden. Die Eichstätte des SEV hat solche Messungen schon mehrmals mit Erfolg durchgeführt; die Spannungswandler wurden mit einer transportablen kapazitiven Messbrücke, die Stromwandler mit einer etwas geänderten Ausführung des Schering-Alberti-Kompensators geprüft. Neuerdings wurde von der Firma Siemens & Halske eine interessante transportable Prüfeinrichtung für Stromwandler ausgearbeitet, die eine etwas geringere, aber für die Praxis durchaus genügende Messgenauigkeit ergibt.

Bezüglich der Veränderung von Spannungswandlern im Betriebe dürfte der erwähnte Fall (Windungsschluss, der ausbrennt) doch vereinzelt dastehen. Hingegen konnten wir mehrmals feststellen, dass Fehlmessungen entstanden, weil aus irgendwelchen Gründen eine der Spannungswandlersicherungen der V-Schaltung abgeschmolzen war. Es wäre interessant zu vernehmen, welchen Standpunkt die Fabrikanten und Werke bezüglich der Notwendigkeit und Zuverlässigkeit von solchen Sicherungen einnehmen.

Bei Stromwandlern konnten wir schon oft feststellen, dass infolge Remanenzerscheinungen nicht unbeträchtliche zusätzliche Fehler auftraten; bei Wandlern, welche den Anforderungen der heutigen Vollziehungsverordnung genügten ($\pm$ 90′ und 1,5 %), wurden Aenderungen der Winkelfehler von 40′ und der Uebersetzungsfehler von ca. 1 % festgestellt, je nachdem vor der Messung entmagnetisiert wurde oder nicht. Solche Magnetisierungen können auch im Betriebe durch zufälliges sekundärseitiges Oeffnen oder durch

Ueberstrom auftreten. Die Gefahr einer Aenderung bei sekundärseitigem Oeffnen dürfte jedenfalls besonders ausgeprägt bei den Wandlern vorhanden sein, welche durch Kunstschaltungen, zusätzliche Belastungen usw. günstigste Magnetisierungsverhältnisse erzwingen.

Dr. **J. Goldstein:** Die hier aufgeworfene Frage, wie sich die Remanenz bei gegenmagnetisierten Stromwandlern auswirkt, ist Gegenstand ernster Nachprüfung gewesen. In allen Fällen muss der normale Stromwandler, der im unteren Gebiet der Magnetisierungskurve arbeitet, bezüglich der Remanenz empfindlicher sein als der gegenmagnetisierte, der bei festgelegten höheren Sättigungen arbeitet. Ausserdem ist ja die zusätzliche Magnetisierung keine zufällige Magnetisierung, sondern eine durch den eigenen Wechselstrom streng definierte Magnetisierung. Wir haben wiederholt am gleichen gegenmagnetisierten Stromwandler Fehlerkurven aufgenommen und keine Abweichungen feststellen können. Ferner wurden Vergleichsmessungen mit Normalwandlern ausgeführt, wobei sich ein einwandfreies Verhalten der neuen Stromwandler ergab.

Was die Schaltung anbetrifft, so hatte ich schon ausgeführt, dass die immer bedenklich erscheinenden Parallelkreise in unserer Schaltung nicht vorkommen. Es ist eine reine Serienschaltung.

F. Hug, Ingenieur der Nordostschweizerischen Kraftwerke, Baden (NOK): Den Schutzeinrichtungen der Stromwandler gegen Ueberspannungswellen, den Parallelwiderständen, mangeln meistens die Konstanz des Widerstandswertes (Spannungs-, Feuchtigkeits- und Temperaturempfindlichkeit), die nötige Wärmekapazität und oft auch einwandfreie Uebergangswiderstände an der Fassungsstelle des Widerstandskörpers. Die Gefahr einer thermischen Ueberlastung der gebräuchlichen Silitwiderstände ist gross, was allmählich zu Messfehlern oder Betriebsstörungen führen kann. Nach neueren Forschungen soll der die Windungen beanspruchende Ueberspannungswert durch zweckmässige Parallelwiderstände nur auf etwa die Hälfte gebracht werden können.

Schutzfunkenstrecken mit Einstellungen auf 3000 bis 4000 V fanden bei 150-kV-Schleifenstromwandlern im Netz der NOK vielfach Verwendung. Ein Ansprechen kann sogar bei gewissen Schaltmanövern beobachtet werden. Die Funken schlagen hierbei knallartig über, jedoch ohne Schmelzperlen an den Kugelelektroden zu hinterlassen. Die Primärwindungen werden jedenfalls auch bei Verwendung von Schutzeinrichtungen ausserordentlich hoch beansprucht, so dass eine ganz vorzügliche Windungsisolation anzustreben ist.

Als Schutzeinrichtungen der Spannungswandler kommen meist Schmelzsicherungen zur Verwendung. Der Ansprechstrom dürfte sich in den günstigsten Fällen auf das ca. 50fache des Wandlerbetriebsstromes beziffern, so dass kaum der Wandler, sondern höchstens, bei guter Löschfähigkeit, nur die Schaltanlage geschützt wird. Ein Verzicht auf jegliche Sicherung der Spannungswandler bedeutet trotzdem

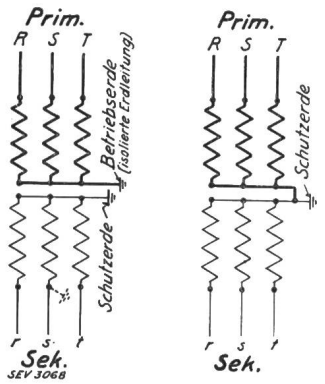

Fig. 6.
Erdung der Spannungswandlerwicklungen.

eine Kapitulation. Vorgeschaltete Dämpfungswiderstände mildern zwar die Kurzschlussbeanspruchung der Sicherung, ohne aber die Ansprechgrenze zu senken. Gewisse Spannungswandlerschutzapparate mit thermo-mechanischer Abschaltung lassen tatsächlich einen ausreichenden Schutz erzielen, jedoch werden die Wandlerqualitäten durch den Widerstandswert und die Wandlerlast beeinflusst. Es wäre von weiterem Interesse, zu vernehmen, wie Strom- und Winkelfehler in konkreten Fällen davon verändert werden.

Die Erdung des Nullpunktes der in Stern geschalteten Primärwicklung eines Spannungswandlers hat nach dem Antrag des SEV für neue Bundesvorschriften vom August 1928 bis zur Erdungsstelle über eine separate, isolierte Leitung zu erfolgen. Bei Spannungswandlern, die direkt zwischen Phasenleiter und Erde geschaltet werden, ist das zu erdende Wicklungsende oft direkt mit dem Metallfuss des Wandlers, der die Sekundärdurchführungen trägt, verbunden. Da die eine Sekundärklemme am Gehäuse liegt, ist die vorschriftsgemässe Erdungsbehandlung eines Poles, resp. des Nullpunktes ohne Spannungsgefährdung des Sekundärkreises kaum möglich. Sollten in solchem Falle die zusammengefassten primären und sekundären Nullpunkte nicht eher nach den Bestimmungen der Schutzerdung behandelt werden? (Fig. 6.)

M. Hürbin, Ingenieur des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich (EWZ): Der Umstand, dass die Messwandler unter ganz verschiedenen Gesichtswinkeln gesehen werden können, dass sich deren Einflüsse — und zwar sind es vielfach nicht die besten — auch auf Anlageteile geltend machen, die direkt mit der Messeinrichtung nichts zu tun haben, erleichtert dem Nichtspezialisten, auch einige wenige Betrachtungen vom Standpunkt des Betriebes aus in die Diskussion zu werfen.

Das Gebiet der Mittelspannungen, um mit diesem anzufangen, weist im Verhältnis zu den Normal- oder auch Nennleistungen die weitaus grössten Kurzschlussleistungen auf, insbesondere noch, wenn es sich dabei um ein Kabelnetz mit seinen kleinen Reaktanzen handelt. Im Gegensatz zu den für Höchstspannungen bestimmten Apparaten spielt hier das Isolationsproblem, sofern von besonderen Massnahmen gegen wellenartige Ausgleichsvorgänge vorläufig abgesehen wird, eine mehr untergeordnete Rolle. Um so grössere Beachtung muss, vor allem bei kleinen Nennstromstärken, der Erreichung einer genügenden Kurzschlussfestigkeit geschenkt werden. Wandler kleiner Nennströme sind bei Kurzschluss dem Durchschmelzen der Primärwicklung ausgesetzt. Mehr Störungen sind mir bekannt, die durch die magnetischen Kräfte des Streufeldes hervorgerufen wurden, indem bei Stromwandlern jeder Nennstromstärke mit zylindrisch angeordneten Wicklungen die seitlichen nicht direkt kompensierten Windungen der Sekundärwicklung nach aussen verschoben und übereinander gestülpt werden.

Aus den Untersuchungen von Herrn Dr. Berger aus dem Jahre 1927 [2]) geht hervor, dass sich Ueberschläge an den Klemmen von Topfwandlern als Folge von Sprungwellen besonders atmosphärischer Herkunft, aber auch in Kabelnetzen, herrührend von intermittierenden Erdschlüssen, mit parallel geschalteten Silitwiderständen, infolge ihrer zu geringen Belastbarkeit, nicht mit Sicherheit vermeiden lassen. Herr Berger glaubte damals, in der Edelgasröhre möglicherweise ein Mittel zur Lösung des Problems gefunden zu haben. Wie bekannt, ist der Widerstand einer solchen Röhre unterhalb der Zündspannung praktisch unendlich, so dass im Normalbetrieb absolut keine Beeinträchtigung der Messgenauigkeit erfolgt. Nach der Zündung sinkt dann der Widerstand auf einen so kleinen Wert herab, dass der raschen Abführung der Ladungen nichts im Wege steht. Vielleicht kann uns einer der anwesenden Herren darüber Aufschluss geben, ob in der genannten Richtung inzwischen Resultate erzielt worden sind. Eine grosse Distanzierung der Stromwandleranschlüsse durch zwei getrennte Klemmen sollte wenigstens bei Oelwandlern bezüglich Ueberschlagsgefahr auch eine gewisse Verbesserung bringen. Dabei sind Ueberschläge von Windung zu Windung infolge der geringen Windungslänge kaum zu befürchten. Die bisher sicherste Abhilfe gegen Sprungwellengefährdung bieten Einstabwandler; auch die Querlochwandler, als Durchführungstype ausgeführt, dürften sich hierin bewähren.

[2]) s. Bull. SEV 1927, Nr. 11, S. 657.

Im Wandlerbau macht sich ähnlich wie bei den Schaltern die Tendenz geltend, sich vom brennbaren Oel frei zu machen. Da jedoch die Wahrscheinlichkeit der Entzündung des für Mittelspannungen ohnehin kleinen Oelquantums gering ist, so ist wohl die vermehrte Nachfrage nach Trokkenwandlern auch nicht zuletzt darauf zurückzuführen, dass diese im Gegensatz zum Oelwandler in beliebiger Lage montiert werden können und keiner Wartung bedürfen. Aehnliche Vorteile bezüglich Einbau würde der früher sehr verbreitete Massenwandler bieten. Dieser sollte jedoch vollständig aus Schaltanlagen verbannt werden, da jeder Windungsschluss, ohne dass sich dieser nach aussen sonst bemerkbar macht, regelmässig zur Explosion des Wandlers führt, worüber ich schlimme Erfahrungen machte.

Für den Spannungsbereich oberhalb ca. 35 kV scheinen für Innenmontage Stromwandler, welche als Konstruktionsprinzip die Kondensatorklemme benützen, nämlich Einstab- und Schleifenwandler, am besten den an sie gestellten Anforderungen gerecht zu werden. Je nach der Grösse der Nennstromstärke und der verlangten Messgenauigkeit wird der eine oder andere zur Verwendung gelangen. Es ist aber zu bemerken, dass der Schleifenwandler wegen seines rund dreimal höheren Preises, seines komplizierteren Aufbaues und seiner geringeren Sprungwellenfestigkeit, als Folge seiner grossen primären Windungslänge, nur in Verbindung mit Verrechnungszählern oder bei besonders kleinen Strömen auch mit Distanzrelais am Platze ist. Er bietet dagegen den Vorteil der primären Umschaltbarkeit, welche Möglichkeit beim Einstabwandler nur sekundärseitig unter Preisgabe der halben Ampèrewindungszahl besteht.

Wurden früher allgemein, nicht nur für Mittelspannungen, Einphasenspannungswandler paarweise in V-Schaltung angeschlossen, so trat mit der Einführung des Distanz- und Erdschlußschutzes in isolierten oder über Löschspulen geerdeten Netzen das Bedürfnis für Dreiphasenspannungswandler mit magnetischem Rückschluss bzw. 3 Einphasenwandler in Sternschaltung mit geerdetem primärem Nullpunkt auf. Die Isoliermantelspannungswandler des EWZ sind alle mit zwei Sekundärwicklungen ausgerüstet. Die eine davon wird zu Messzwecken und Selektivschutz herangezogen, während die andere bei Schaltung in offenem Dreieck nach Holmgren zur Erdschlussanzeige vorgesehen ist.

Im Zusammenhang mit Spannungswandlern mit magnetischem Eisenrückschluss oder was auf dasselbe herauskommt, mit 3 Einphasenwandlern in Sternschaltung, dürfte die Erwähnung einer nicht alltäglichen Erscheinung, der ich bei Versuchen begegnet bin, von gewissem Interesse sein. Es konnte nämlich festgestellt werden, dass bei im übrigen absoluter Symmetrie an einem kompletten Messaggregat die 3 Phasenspannungen der Grösse nach ziemlich genau gleich den 3 verketteten Spannungen waren. Es war anzunehmen, dass der Effektivwert der Phasenspannung infolge des Vorhandenseins einer dritten Harmonischen eine Steigerung erhalten hatte, was sich auch im Oszillogramm bestätigte. Für das rein zufällige Verhältnis Phasenspannung gleich verketteter Spannung errechnete sich, nebenbei bemerkt, eine Amplitudenhöhe der dritten Harmonischen von $\sqrt{2}$ oder 141 % derjenigen der Grundharmonischen. Da sich bei nicht angeschlossenem Nulleiter eine dritte Oberwelle im Magnetisierungsstrom nicht ausbilden kann, so tritt diese dafür im Hauptflux zutage und findet hier im Gegensatz zum gewöhnlichen Dreischenkelwandler einen Rückschluss kleinen magnetischen Widerstandes von Joch zu Joch. Diese eigenartige Erscheinung dürfte durch die gleichzeitige direkte und indirekte Erdung der Nullpunkte des Spannungswandlers bzw. des speisenden Transformators ihr Ende gefunden haben. Aber auch eine dermassen verzerrte Spannungskurve hätte, mit der einen Ausnahme der Voltmeterbeeinflussung, bei irgend welchen wattmetrischen Messungen, selbst bei Heranziehung der Phasenspannung, zu keinen Fehlern Anlass geben können. Denn die Stromkurve der Phasenleiter kann keine merkliche 3. Oberwelle enthalten, so dass eine Drehmomentbildung nicht zu Stande kommt.

Bezüglich der Absicherung von Spannungswandlern kann ich aus eigener Erfahrung nur so viel sagen, dass es ausgeschlossen erscheint, mit Schmelzsicherungen Windungsschlüsse zu erfassen. Der Fehler offenbart sich vielfach erst dann, wenn ein nachfolgender Kurzschluss seine zerstörende Wirkung verrichtet hat[3]).

Im Hinblick auf die bevorstehende Aenderung der Vollziehungsverordnung, betreffend die amtliche Prüfung von Elektrizitätsverbrauchsmessern, sei die Anregung erlaubt, neben der Prüfung mit rein Ohmscher Bürde auch eine solche bei induktiver Belastung von etwa $\cos \varphi = 0{,}5$ vorzusehen. Da die Messwandler durch angeschlossene Zähler immer induktiv belastet werden, so ist der Betriebsmann eben auf Eichergebnisse angewiesen, die unter Verhältnissen aufgenommen worden sind, welche der Wirklichkeit möglichst nahe kommen. Die Fehler der Messwandler sind weder Einflüssen der Raumtemperatur noch der Zeit unterworfen, was beim Zähler im allgemeinen nicht zutrifft. Aus diesem Grunde wäre es meines Erachtens berechtigt, für Messwandlerzähler oberhalb einer bestimmten Leistungsgrenze, beispielsweise 1000 kW, nur solche mit Temperaturkompensation und grossem Drehmoment zuzulassen.

Es sei noch betont, dass eine Steigerung der Messwandlergenauigkeit von Seiten der Werke dann ganz besonders begrüsst wird, wenn dadurch die Anwendung einfacherer und betriebssicherer Konstruktionsprinzipien gefördert wird. Ich möchte deshalb nicht unterlassen, in diesem Zusammenhang auf das vielversprechende Verfahren der weitgehenden Verbesserung von Einleiter-Durchführungswandlern nach Schwager nachdrücklich hinzuweisen[4]).

Dr. **K. Berger**, Ingenieur des SEV, Zürich: Es wurde die Frage des Ueberspannungsschutzes der Stromwandler durch Ueberbrückungswiderstände angeschnitten. Stellen wir uns also eine auf den im Zuge der Leitung liegenden Stromwandler auftreffende Welle vor. Deren Höhe kann, sofern es sich um atmosphärische Ueberspannungen handelt, irgend einen Betrag erreichen, der nur durch die Ueberschlagsspannung der Leitungs- oder Anlagenisolation nach oben begrenzt ist. Die Wellensteilheit beträgt bei nahen Blitzeinschlägen *mindestens* 100 bis einige 100 kV/μs. Da sich der Stromwandler für rasche Spannungsänderungen oder Hochfrequenz wie eine zwischen Ein- und Ausgang der Primärwicklung geschaltete Kapazität verhält[5]), dringt zunächst bei genügender Wellensteilheit ein sehr kurzer Stromstoss kapazitiv, d. h. quer zur Primärwicklung zum Wicklungsausgang L_2 durch und fliesst über die Leitungsfortsetzung ab (Fig. 7). Darauf entsteht am Eingang L_1 der Primärwicklung eine Wellenreflexion mit Spannungserhöhung gegen Erde, maximal bis zur doppelten Wellenhöhe, wobei die Windungen auf Windungsdurchschlag beansprucht werden. Zugleich beginnt der Stromfluss längs des Drahtes der Primärwicklung, womit die wellenhafte Spannung auf den quasistationären Spannungsabfall absinkt. Durch den Stau der Welle an L_1 kommen somit auch die Klemmen L_1 und L_2 gegeneinander auf abnormal hohe Spannung, die im Grenzfall ebenfalls die doppelte Wellenhöhe annähernd erreichen kann. Ein Ueberschlag zwischen L_1 und L_2 ist die erste Folge. Bei offenliegenden Klemmen L_1 und L_2 entsteht durch diesen Funken die Gefahr, dass infolge der hochionisierten Luft am Klemmenkopf und der momentanen Wellenüberspannung gegen Erde auch ein Ueberschlag der Primärklemme, d. h. ein Erdschluss entsteht, oder beim gleichzeitigen Ueberschlag mehrerer Phasen (Blitzeinschlag in Holzstangenleitung) ein Kurzschluss über Erde. Die anlaufende Welle braucht nicht atmosphärischen Ursprungs zu sein. Es kann sich auch um eine Erdschluss-Entladewelle handeln. Nur besteht in diesem Falle keine Ueberschlagsgefahr vom Klemmenkopf nach Erde, sondern lediglich die Gefahr des eventuellen Anschmelzens von L_1 und L_2 infolge des von der Welle eingeleiteten, und vom nachfolgenden Netzkurzschlußstrom u. U. (bei Wandlern für kleine Primärströme und grosse Leistungen und kleinen Distanzen zwi-

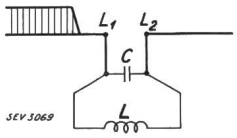

Fig. 7.

[3]) s. Bull. SEV 1928, Nr. 10, S. 357.
[4]) s. Bull. SEV 1932, Nr. 20, S. 514.
[5]) s. Bull. SEV 1927, Nr. 11, S. 657.

schen L_1 und L_2) aufrecht erhaltenen Lichtbogens zwischen L_1 und L_2.

Ein *Widerstand* oder eine *Funkenstrecke* zwischen L_1 und L_2 sollen diese unerwünschten Ueberspannungserscheinungen beheben. In der Tat leitet ein im Verhältnis zum Wellenwiderstand der Leitung (ca. 500 Ohm bei Freileitung und ca. 30 Ohm bei Kabel) kleiner Widerstand die Welle ohne wesentliche Reflexion zur Klemme L_2 und somit zur Leitungsfortsetzung weiter. Die Spannungsverdoppelung an L_1 kommt nicht zustande. In diesem Mass wird auch die Windungsbeanspruchung herabgesetzt; sie beträgt höchstens noch die Hälfte derjenigen ohne Ueberbrückungswiderstand. Dafür dringt jetzt sowohl vom Wicklungseingang L_1 als auch vom Ausgang L_2 eine Welle in die Wicklung. Das kann unter Umständen günstige Wirkung haben, insbesondere zur Reduktion der Stossbeanspruchung zwischen langen und nahen Wicklungszuführungen bei den Konstruktionen mit einer langen Durchführung (z. B. für 150 kV) oder bei Schleifenstromwandlern mit grosser Windungslänge.

Aehnlich ist es bei der Ueberbrückung mit Funkenstrecke. Während beim Widerstand ein kleiner Ohmwert verlangt werden muss, damit der Spannungsabfall des Wellenstromes an L_1—L_2 nicht zu gross wird, soll die Funkenstrecke nicht zu grosse Schlagweite haben, damit ihre Ansprechspannung viel kleiner ist, als die Ueberschlagsspannung der Primärklemme. In diesem Falle kann auch mit dem annähernd gleichzeitigen Eindringen der Welle von L_1 und via Funkenstrecke von L_2 zur Wicklung gerechnet werden. Immerhin darf wohl eine Schlagweite von mehreren mm aus praktischen Gründen (Staub, Verschmoren der Elektroden an L_1 und L_2 usw.) nicht unterschritten werden.

Es ist daraus zu ersehen, dass die Sprungwellenbeanspruchung der Stromwandler trotz passender Ueberbrückung immer noch bis zur Hälfte des Wertes ohne Ueberbrückung betragen kann. Allgemein gültige Werte lassen sich nicht geben, da die Konstruktion, vor allem die Grösse der Windungskapazität eine wichtige Rolle spielt. Auf gute Windungsisolation sollte aber deshalb trotz der Ueberbrückung geachtet werden. Was das Verhalten der mit Silitwiderständen überbrückten Stromwandler im Betrieb betrifft, kann ich nur die Beobachtung von Herrn Hug bestätigen. Bei Erdschlüssen in Nähe eines solchen Stromwandlers lässt sich häufig das Sprühen des Widerstandes beobachten. Dieses Sprühen bildet die «Schattenseite» der heutigen Widerstandsüberbrückung, weil in diesem Falle auch hier die Gefahr der Einleitung eines Erdschlusses infolge atmosphärischer Ueberspannungen am Widerstand besteht. Aus diesem Grunde schlug ich früher eine eingeschlossene Edelgas-Funkenstrecke vor. Die bei gewissen Freiluftkonstruktionen angewendete Kapselung des Widerstandes tut wohl denselben Dienst. Immerhin wäre eine sichtbare Anordnung des Widerstandes oder der Funkenstrecke der Kontrolle wegen erwünscht.

Ueberbrückungswiderstände können aber, wie mir scheint, im Gegensatz zu den Funkenstrecken in gewissen Fällen eine Wirkung haben, die ebenso wichtig ist, als der mehr oder weniger vollständige Ueberspannungsschutz. Mit ihnen lässt sich nämlich der Fehlwinkel und in kleinerem Mass das Uebersetzungsverhältnis des Wandlers beeinflussen. Nach den heutigen und den neuern Vorschriften sind Wandler *mit* den Ueberbrückungswiderständen zu prüfen. Das führt dazu, dass ein Wandler, dessen Fehlwinkelkurve nicht innert den Garantiewerten liegt, durch Aussuchen eines passenden Widerstandsstabes unter Umständen so korrigiert werden kann, dass er genügt. Dem Sprecher sind solche Abnahmefälle bekannt. Diese Praxis führt für Präzisionswandler leicht zu einer Ungenauigkeit aus zwei Gründen. Es ist heute genügend bekannt, dass manche Silitwiderstände im Laufe der Zeit ihren Widerstandswert ändern, und zwar meistens erhöhen. Es braucht nicht zu verwundern, wenn in diesen Fällen der nach mehrjährigem Betrieb gemessene Fehlwinkel des Wandlers samt Widerstand sich verändert hat, wie Herr Müller uns erzählte. Bekanntlich sind aber auch bei Silitwiderständen desselben Nennwertes Unterschiede des wahren Betrages vorhanden. Wer bürgt dafür, dass bei der Auswechslung eines Silitstabes im Betrieb wirklich derselbe Ohmwert eingefügt wird? Natürlich sind nicht alle Wandler auf Widerstandsänderungen gleich empfindlich. Verallgemeinerung ist ja stets gefährlich. Am heikelsten sind auch hier, wie bezüglich Kurzschlußsicherheit und Ueberspannungswellen, die Wandler für kleine Primärströme und grosse Sekundärleistungen, bei denen aus Gründen der Messgenauigkeit hohe Ueberbrückungswiderstände gewählt werden müssen. In dieser Hinsicht wäre es wohl der Mühe wert, hie und da einen während mehrerer Jahre in Betrieb gestandenen Stromwandler auf seinen Fehlwinkel nachzumessen, insbesondere dann, wenn es sich um silitüberbrückte Präzisionswandler handelt.

H. Schiller, Ingenieur der Motor-Columbus A.-G., Baden: Von Seite der Fabrikanten wurde heute versucht, die Bestrebung «los vom Oel» in den Schaltanlagen als Modesache hinzustellen. Dieser Meinung kann ich mich nicht anschliessen; selbst das kleine Quantum Oel, wie es sich in Messwandlern findet, kann gefährlich werden. Es ist mir ein Fall bekannt, wo durch Explosion eines Spannungswandlers ein Brand entstand, der die ganze Anlage verrusste und ausser Stand setzte. Sofern zuverlässige Spannungswandlersicherungen vorhanden wären, dürfte in solchen das Oel auch weniger gefährlich sein. Mir sind zwei Sicherungstypen bekannt, die nach Aussage der Fabrikanten den Anforderungen genügen sollen. Beide verwenden zur Herabsetzung der Kurzschlussleistung Widerstände, die eine hochohmige, die andere niederohmige; Betriebserfahrungen sind mir jedoch nicht bekannt. Solange keine einwandfreie, billige Spannungswandlersicherung auf dem Markte ist, sind natürlich auch die schweizerischen Vorschriften, die das Absichern der Spannungswandler bis 50 kV verlangen, in gewissen Fällen illusorisch und sollten in dieser Beziehung den wirklichen Verhältnissen entsprechend geändert werden.

Es wurde noch die Frage der Sekundärspannung und des Sekundärstromes aufgeworfen. Bei grossen Längen der Sekundärleitungen werden bei der einzuhaltenden Messgenauigkeit sehr grosse Querschnitte nötig; sie könnten reduziert werden, wenn für die Spannungswandler die Sekundärspannung auf 220 V und für die Stromwandler der Sekundärstrom auf 1 A festgesetzt würde. Die Verwendung abnormaler Instrumente liesse sich eventuell durch Zwischenschalten von Hilfstransformatoren umgehen. Gegen die Wahl von 1 A werden allerdings erhöhte Klemmenspannungen bei geöffnetem Sekundärkreis mit damit verbundener erhöhter Durchschlagsgefahr genannt, ferner die grössere Schwierigkeit, Windungsschlüsse zu entdecken. Es wäre sehr interessant, die Ansichten der Fabrikanten über diesen Punkt zu hören.

O. Schaffner, Vorsteher der Zählerwerkstätte der Bernischen Kraftwerke A.-G., in Nidau (BKW): Für Stromwandler zu Messzwecken in Anlagen bis ca. 16 kV genügt im allgemeinen eine Sekundärleistung von ca. 20 VA. Bei Anlagen mit höherer Spannung, in denen in der Regel mehrere Messgeräte an die Stromwandler angeschlossen werden und zudem lange Messleitungen erforderlich sind, werden Leistungen von 80 und mehr VA benötigt. Nach den gehörten Referaten soll mit Zunahme der sekundären Belastbarkeit der Stromwandler ihre Betriebssicherheit beeinträchtigt werden. Wir fragen uns deshalb, ob in solchen Fällen mit hohen sekundären Belastungen nicht besser Stromwandler für sekundär 1 A angewendet würden. Ueber allfällig auftretende, gefährliche Spannungen in den Sekundärwicklungen von 1-A-Stromwandlern mögen die Konstrukteure ihre Ansicht bekanntgeben.

Die bisher angewendete Prüfspannung von 200 V der Wicklungshälften gegeneinander bei Stromwandlern mit zwei Uebersetzungen, bzw. 500 V der Sekundärwicklung gegen Eisen, wird als zu niedrig erachtet. Die neue Vollziehungsverordnung betreffend die amtliche Prüfung von Elektrizitätsverbrauchsmessern sieht daher in beiden Fällen eine Prüfspannung von 2000 V vor.

Die Sekundärklemmen der Strom- und Spannungswandler für Messzwecke sollten plombierbare Schutzdeckel besitzen. Bei den BKW werden solche seit einigen Jahren allgemein eingeführt.

Die Stromwandler für Messzwecke und für Schutzrelais sollten nach ihrer erforderlichen Charakteristik unterschieden werden. Für Messzwecke interessieren Uebersetzungs-

und Winkelfehler zwischen 0 bis 100 % des Nennstromes, für Schutzrelais dagegen, speziell für Differential- und Distanzrelais, der Verlauf des Sekundärstromes bis zu einem Vielfachen der Nennlast.

Mit Stromwandlern mit Masseisolation wurden in den früheren Jahren schlechte Erfahrungen gemacht. Fast sämtliche Massestromwandler mussten durch solche mit Oelisolation ersetzt werden. Für Hochspannungsanlagen sollten Wandler mit Masseisolation nicht mehr verwendet werden.

Die Betriebserfahrungen mit Schutzwiderständen an Stromwandlern zeigen keinen offensichtlichen Erfolg. Durch Sprungwellen wird die Belastbarkeit der Schutzwiderstände oft um ein Vielfaches erhöht, ohne dass eine sichtbare Deformation wahrgenommen werden kann. Die Widerstände sollten so bemessen sein, dass sie das Uebersetzungsverhältnis und den Fehlwinkel nicht beeinflussen.

Die Entstehung von Remanenz-Magnetismus im Stromwandlereisen infolge von Kurzschlüssen oder zufälliger Oeffnung des Sekundärkreises, wie sie geschildert wurde, ist eine unangenehme Erscheinung. Die Grösse dieses Einflusses auf die Messgenauigkeit sollte bei nachzuprüfenden Wandlern festgestellt werden, bevor die vorschriftsmässige Entmagnetisierung durchgeführt wird.

Die Registrier-Wattmeter, nach welchen die Energie verrechnet wird, gehören nach meiner Ansicht zu den prüfpflichtigen Elektrizitätsverbrauchsmessern.

A. Richard, Ingenieur der Bernischen Kraftwerke A.-G., Bern (BKW) frägt an, auf welche Weise Uebersetzungsfehler und Fehlwinkel bei Strömen bis zum 20- und mehrfachen des Normalstromes gemessen werden. Seit neuerer Zeit messen die BKW die Leerlaufcharakteristik von Stromwandlern, die für Differential- und Distanzrelais bestimmt sind. Dabei wird die Sekundärspannung am Stromwandler mit statischem Voltmeter gemessen und der Primärstrom, vom Werte 0 ausgehend, so lange gesteigert, bis auf der Sekundärseite die gleiche Spannung erscheint wie bei normaler Bürde des Stromwandlers und dem geforderten Mehrfachen des Normalstromes. Nach seiner Ansicht werden die Vektordiagramme an Spannungswandlern einfacher, wenn die Primärspannung nicht als aufgedrückte, sondern wie die Sekundärspannung als induzierte Spannung aufgetragen wird.

E. Grob, Oberingenieur des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich (EWZ): Gestatten Sie mir einige kurze Bemerkungen über die Messwandler, wie der Montage- und Betriebsingenieur sich zu ihnen stellt.

Am liebsten würden wir überhaupt keine Messwandler in unsere Schaltanlagen einbauen, denn jeder zusätzliche Apparat kann zu Störungen Anlass geben und die Betriebssicherheit vermindern. Da wir aber Messwandler brauchen, müssen wir uns mit ihren Mängeln abfinden. Wir verlangen vor allem Betriebssicherheit und dann die für den jeweiligen Verwendungszweck gewünschte Genauigkeit und Belastbarkeit.

Das EWZ hat eine grosse Anzahl Messwandler in seinen Verteilnetzen und im 6-kV- und 50-kV-Leitungsnetz eingebaut. In der 150-kV-Anlage haben wir auf Messwandler verzichtet, da es möglich war, Messung und Schalterauslösung von der 50-kV-Seite aus vorzunehmen.

Stromwandler. Das EWZ hat seit über 20 Jahren eine grosse Anzahl Stromwandler für 50 kV Betriebsspannung als Oeltopfwandler mit Isolierdeckel im Betrieb und machte damit keine schlechten Erfahrungen. Um bei Störungen keinen Oelbrand befürchten zu müssen, sind wir dann vor ca. 10 Jahren zu den öllosen Einstab- und Mehrschleifenwandlern übergegangen. Das Ergebnis war aber anfänglich nicht restlos befriedigend, denn es zeigte sich, dass die Durchführungen — es waren Kondensatordurchführungen — nicht immer einwandfrei waren. Im Laufe der Jahre stiegen die Wattverluste der Durchführungen, so dass sie schliesslich ersetzt werden mussten.

Betreffend Kurzschlussfestigkeit haben sich die Mehrschleifenwandler sehr gut gehalten. Wandler mit dem Uebersetzungsverhältnis 200/5 A wurden Kurzschlußstromstärken bis gegen 5000 A, also dem 25fachen Normalstrom ausgesetzt, ohne dass irgendwelche Beschädigungen eintraten.

Bei der Montage vermisst der Betriebsingenieur bei einzelnen Fabrikaten, dass an Stromwandlern nicht ein genaues Schaltbild mit Klemmenbezeichnung fest angebracht ist, ähnlich dem Schaltbild bei grösseren Transformatoren. Die Sekundär- und die Erdungsklemmen werden oft als Miniaturschränkchen ausgeführt. Sie sollten mit einem normalen Schraubenzieher oder einem kleinen englischen Schlüssel bedient werden können.

Stromwandler für 50 kV Nennspannung haben ein beträchtliches Gewicht. Sie werden in jeder Lage eingebaut. Für die Montage sollten daher mindestens zwei Ringschrauben so angebracht werden, dass man die Wandler in jeder Lage an einem kleinen Flaschenzug aufhängen kann, ohne dass die Gefahr besteht, Klemmen oder Durchführungen zu beschädigen.

Spannungswandler. Bei Spannungswandlern ist die Frage nach der Betriebssicherheit schon etwas heikler. Theoretisch sollten die Spannungswandler, genau wie die Leistungstransformatoren, durch einen Schalter, dimensioniert für die volle Kurzschlussabschaltleistung des Netzes, geschützt werden können. Da ein solcher Schalter aber ein Vielfaches eines Spannungswandlers kosten würde, behilft man sich mit Sicherungen der verschiedensten Systeme. Gerade das Auftauchen immer neuer Spannungswandlersicherungen beweist uns, dass eine hundertprozentige Lösung noch nicht gefunden ist. Das EWZ hat daher seit ca. 10 Jahren auf Spannungswandlersicherungen verzichtet und schliesst die Spannungswandler neueren Datums direkt mit Trennern an die Leitungen an, verlangt aber für die Spannungswandler erhöhte Prüfspannungen. Mit Spannungswandlern für 150 kV haben wir keine Erfahrungen, da wir die Messung wie bei den Stromwandlern aus Ersparnisgründen auf die 50-kV-Seite verlegten. Für 50-kV-Spannungswandler schreiben wir, da wir keine Sicherungen verwenden, eine Prüfspannung von 130 kV für die Unterwerke in Zürich vor, in den Kraftwerken verwenden wir Reihe 60 der VDE-Normalien, also 152 kV Prüfspannung.

Wir haben in den letzten Jahren trotz Weglassens der Sicherungen keine Spannungswandlerdefekte mehr gehabt, mit Ausnahme von 1 bis 2 Defekten, die von direkten Blitzeinschlägen in der Nähe der Station herrührten. Ob in diesen Fällen eine Sicherung geholfen hätte, bleibt mehr als fraglich. Die grössere Betriebssicherheit zeigt sich vor allem bei den neuen Typen ohne Durchführungen, den Isoliermantel- und Kaskadenspannungswandlern.

Auch bei den Spannungswandlern fehlt dem Betriebsingenieur wie bei den Stromwandlern der auf dem Kessel fest angebrachte Metallschild mit dem eingravierten Schema, ganz besonders, wenn der Spannungswandler zwei Sekundärwicklungen besitzt.

Spannungswandler ohne Oel sind in letzter Zeit von verschiedener Seite auf den Markt gekommen. Wir besitzen noch keine solchen Spannungswandler; wir stehen aber diesen Neukonstruktionen sehr sympathisch gegenüber, sofern sie bei gleicher Sicherheit wie die Oelspannungswandler uns nicht zwingen, eine grössere Teilung pro Schaltfeld auszuführen.

Vorschriften des SEV und des VDE. Nach unseren Erfahrungen sind die Prüfspannungen für Messwandler nach den Vorschriften des SEV mit einer Prüfspannung von $2\,E + 1000$ V für die Wandler und $2\,E + 10\,000$ V für die Durchführungen zu niedrig. Wir sind dazu gekommen, unsere Messwandler in Anlehnung an die VDE-Vorschriften zu bestellen, und zwar verwenden wir:

für die 6-kV-Anlagen Reihe 10 der VDE-Normalien;
für die 50-kV-Anlagen in den Unterwerken in Zürich Reihe 45 der VDE-Normalien, wobei die Prüfspannung der Durchführungen mindestens 130 kV betragen muss;
für die 50-kV-Anlagen in den Kraftwerken Reihe 60 der VDE-Normalien.

A. Peyer, Chef des Technischen Bureaus des Elektrizitätswerkes Basel: In verschiedenen Vorträgen wurden heute die an Messwandlern in neuerer Zeit erzielten erfreulichen Fortschritte, unter anderem auch die erreichbare höhere Genauigkeit bei Stromwandlern illustriert. Dabei wurde die normalerweise vorkommende Messung ins Auge gefasst, bei

welcher die gesamte Messenergie durch einen einzigen Leitungsstrang geführt wird, wo also der sekundärseitige Messstrom pro Phase einem einzigen Stromwandler entnommen werden kann. Ich möchte darauf hinweisen, dass zuweilen, und zwar gerade in Fällen, wo es sich um Messung grosser Energiemengen handelt, die Messenergie aus verschiedenen Gründen nicht in einen einzigen Leitungsstrang geführt werden kann, sondern in zwei oder gar in mehr Leitungssträngen erfasst werden muss. In solchem Falle kann für die Feststellung des sekundären Gesamtstromes die sekundärseitige Parallelschaltung der Stromwandler notwendig werden, insbesondere dann, wenn ungleiche Verteilung der Messenergie auf die einzelnen Stränge bis zur entgegengesetzten Energierichtung auswächst. Dieser Zustand kann in der Praxis leicht entstehen, z. B. wenn Energieschub von einem Leitungsstrang auf den andern stattfindet (an einem der Leitungsstränge mitarbeitende feste Kraftquote, welche zeitweise grössere Leistung aufweist als der am betreffenden Strang angeschlossene Konsum) oder bei parallel geschalteten Strängen, wenn, neben einem am Ende anschliessenden zu messenden Konsum, an einem der Stränge unterwegs noch ein erheblicher weiterer (in die Messung nicht einzubeziehender) Konsum angeschlossen ist. Die Verwendung je eines Zählers pro Leitungsstrang befriedigt in solchem Falle nicht, unter anderem weil aus naheliegenden Gründen unzulässig grosse Fehler zu gewärtigen wären. Die sekundärseitige Parallelschaltung der Stromwandler wird zur geeignetsten Lösung. Der bei dieser Kombination entstehende Stromübersetzungsfehler kann wesentlich abweichen vom Fehler des einzelnen verwendeten Stromwandlers. Die Beurteilung des totalen Stromübersetzungsfehlers ist nur anhand genauer Kenntnis der Stromwandlereigenschaften möglich und es liegt daher nahe, dass der Lieferant nicht nur zur Fehlergarantie für den einzelnen Stromwandler, sondern auch für die Kombination der Stromwandler, einschliesslich Verbindungsleitungen, verpflichtet wird. Bei Anlass einer vor kurzem für die Messung einer grossen Energiequote notwendig gewordenen sekundärseitigen Parallelschaltung von Stromwandlern bekam ich den Eindruck, dass dem Problem bisher sowohl in der Literatur wie auch von Seite mancher Lieferanten nicht die verdiente Beachtung geschenkt worden sei, und ich möchte daher nicht unterlassen, an dieser Stelle darauf aufmerksam zu machen.

G. Courvoisier: Die Ausführung des Herrn Müller betreffend seine Beobachtungen über Fehlervergrösserungen an ca. 20 im Betrieb befindlichen Stromwandlern veranlasst mich zur Feststellung, dass uns bisher erst ein solcher Fehler (zwei Stromwandler) vom Kunden bekanntgegeben wurde. Ich stehe nicht an, anzunehmen, dass unter den übrigen 18 Wandlern auch noch einige BBC-Wandler zu finden sind. Nun existieren bei allen Maschinen und Apparaten gewisse Erscheinungen, die im Laboratorium kaum reproduzierbar sind und über deren Existenz und Umfang nur die Betriebserfahrung Auskunft geben kann. Ich möchte daher neuerdings den Herren von den Betrieben sagen, dass wir ihnen ausserordentlich zu Dank verpflichtet wären, wenn sie uns über Schwierigkeiten, die sie mit unsern Konstruktionen haben, jeweils umgehend und vollständig orientieren wollten; dadurch allein werden wir in den Stand gesetzt, die nötigen Korrekturen an unsern Apparaten und Maschinen anzubringen.

Zum Thema Messgenauigkeit möchte ich noch zwei Bemerkungen machen: Sollten die Betriebsleitungen der Ansicht sein, dass die Genauigkeitsbedingungen, welche durch die neue «Vollziehungs-Verordnung» für Stromwandler für Verrechnungszwecke vorgeschrieben werden, nicht scharf genug sind, so möchten wir anregen, dass sie von sich aus klare Forderungen formulieren. Es sollte nicht zu schwierig sein, z. B. durch den SEV eine solche Klärung zu schaffen. Dabei sollte darauf Rücksicht genommen werden, dass man sich bereits mit den Genauigkeitsbedingungen der Klasse 0,2 des VDE mit den Fehlergrenzen der Grössenordnung der Differenzen zwischen den Prüfergebnissen verschiedener amtlicher Meßstellen an ein- und demselben Objekt nähert.

Wie Herr Dr. König schon ausführte, kennen wir in der Schweiz gesetzlich nur eine Genauigkeitsklasse, welche für Wandler vorgeschrieben ist, an die Zähler zur Energieverrechnung angeschlossen werden. In anderen Ländern sind weitere Genauigkeitsklassen höherer und auch geringerer Genauigkeit, wenn nicht gesetzlich, so doch durch Verbandsvorschriften festgelegt. Typisch für alle ist die Tatsache, dass sie nur Bestimmungen für Strombereiche bis höchstens zum 1,2fachen Nennstrom hinauf enthalten. Das genügt wohl für die Bedürfnisse der Instrumenten- und Maximalstromrelaisspeisung. Auf die Eignung der Wandler zur Speisung von Selektivschutzrelais, d. h. von Apparaten, welche auch bei hohen Vielfachen des Wandlernennstromes noch einigermassen genau arbeiten müssen, kann von diesen Klassen aus nicht geschlossen werden. Es ist z. B. typisch, dass Stromwandler mit Kernen aus Nickeleisenlegierung trotz ihrer hohen Genauigkeit im Untervollastbereich sich absolut nicht für den genannten Zweck eignen; ihre hohe Permeabilität gestattet, sie schon bei Nennstrom und Nennleistung mit relativ hoher Induktion arbeiten zu lassen; infolgedessen sättigen sie sich bei verhältnismässig kleiner Ueberschreitung des Nennstromes.

Zum Schluss noch eine Bemerkung an die Adresse der Herren Betriebsleute: Bei der Beantwortung von Anfragen sind wir nicht immer ganz sicher, ob wir Ihnen wirklich das anbieten, was Sie nötig haben; denn die Angaben von Ihrer Seite sind manchmal recht unvollständig. Wollen Sie beachten, dass wir zur eindeutigen Bestimmung eines Messwandlers nicht nur Angaben über Nennspannung, Prüfspannung, Uebersetzungsverhältnis und Frequenz brauchen, sondern auch über Leistung und Messgenauigkeit, die Sie wünschen; die drei Grössen Frequenz, Nennleistung und Messgenauigkeit gehören stets zusammen; werden Bestimmungen über eine weggelassen, so ist ein Wandler nicht bestimmt.

Weiter sei erwähnt, dass es manchmal möglich ist, Wandler für extreme Bedingungen zu vermeiden, wenn man sich zu relativ kleinen Dispositionsänderungen gegenüber einem ursprünglichen Projekt entschliesst. Beispielsweise sei auf den Fall der Speisung des Hilfsnetzes eines Kraftwerkes über einen Stationstransformator von den Sammelschienen aus verwiesen. Der oberspannungsseitige Transformatornennstrom ist gewöhnlich klein, der Kurzschlußstrom im Verhältnis dazu sehr gross. Will man Zähler, Messinstrumente und Schutzapparate von einem Stromwandler auf der Oberspannungsseite aus speisen, so hält es in manchen Fällen sehr schwer, einen geeigneten Wandler auf dem Markt zu finden. Die Sache wird sehr einfach, wenn man sich dazu entschliesst, Kurzschlußschutz einerseits und Messung + Ueberlastungsschutz andererseits sauber zu trennen. Der Kurzschlußschutz gehört auf die Oberspannungsseite; seiner Dimensionierung hat man die Kurzschlussverhältnisse bei unterspannungsseitigem Klemmenkurzschluss des Transformators zugrunde zu legen. Direkt wirkende Maximalstromrelais, welche bei etwas weniger als dem genannten Kurzschlußstrom ansprechen, oder Stabwandler und sekundäre Maximalstromrelais sind hier am Platze. Die Anschlüsse für Ueberlastschutz und Messinstrumente gehören auf die Unterspannungsseite; denn die Ströme, welche für sie wichtig sind, verlaufen ober- und unterspannungsseitig proportional.

Prof. Dr. G. Keinath: Was die Fehler durch *Restmagnetisierung im Eisenkern* anbetrifft, so sind sie nach meinen Erfahrungen wesentlich geringer, als sie von Herrn Müller angegeben wurden. Wenn ein Wandler 1000 und mehr Ampèrewindungen hat, so sind diese Fehler nur in der Grössenordnung von einigen Minuten und einigen Zehntelprozent. Nur bei Ringkernwandlern mit wenigen hundert Ampèrewindungen und schwach gesättigtem Eisen können sie schliesslich auf die Werte kommen, die Herr Müller genannt hat. Bei Wandlern mit Nickeleisen-Kernen war es überhaupt nicht möglich, eine Verschlechterung festzustellen, auch nicht um $^1/_{100}$ % und nicht um 1 bis 2′. Das rührt offenbar von der sehr geringen Koerzitivkraft her.

Wenn auf den Widerspruch hingewiesen wird zwischen der von Herrn Dr. Goldstein vorgetragenen Verbesserung durch Vormagnetisierung und der von Herrn Müller beobachteten Verschlechterung durch Vormagnetisierung, so ist zu sagen, dass es sich in dem ersten Falle um eine gewollte

Vormagnetisierung durch Wechselstrom handelt, im zweiten Falle um eine ungewollte durch Gleichstrom; daraus ergeben sich wohl die geschilderten Unterschiede.

In bezug auf die *Verwendung von Füllmasse* bin ich der Meinung, dass man sie nicht so ganz und gar verwerfen sollte, wie es von einigen Diskussionsrednern geschehen ist. Wir müssen beachten, dass gute Füllmasse bei normaler Temperatur eine ungeheuer hohe Durchschlagsfestigkeit hat, 600 bis 1000 kV/cm, wie sie niemals von Oel erreicht wird, und dass sie diese Eigenschaft auch behält, wenn sie sachgemäss behandelt wird. Füllmasse darf aber nicht dort verwendet werden, wo sie Erhitzung ausgesetzt ist, also nicht bei überstromgefährdeten Wandlern. An eine Alterung der Masse glaube ich nicht, sofern nicht eine Zersetzung durch Glimmentladung oder übermässige Erhitzung vorliegt. Man muss die Masse nur sozusagen mit «Verstand» verwenden, um ihre Vorteile auszunutzen.

Was die Frage anbetrifft, ob man bei Stromwandlern *zwei getrennte Kerne* für den Anschluss von Messinstrumenten und Relais benutzen sollte, so möchte ich zu bedenken geben, dass dabei für manche Konstruktionen, beispielsweise für den Kreuzringwandler, eine Vergrösserung des Wandlers und damit eine Verteuerung eintreten muss. Ich gebe gern zu, dass von meiner Firma früher die Verwendung getrennter Kerne propagiert wurde. Heute aber liegen die Dinge so, dass wir mit grossen Längen zwischen Wandler und Schaltanlage zu rechnen haben und dass der Preis der Verbindungsleitungen auch noch ein sehr hoher ist. Ich empfehle zur Erreichung hoher Ueberstromziffern nur einen Kern und bei Ueberstrom mit einem Kurzschliesserelais alle Instrumentspulen und Zählerspulen kurzzuschliessen, so dass nur die Relais angeschlossen bleiben und man für diese bis zu einem hohen Vielfachen des Nennstromes proportionalen Anstieg des Stromes erhält, den man bei den anderen Apparategruppen gar nicht einmal wünscht.

Der Verwendung der *Sekundärstromstärke von 1 A* möchte ich für Freiluftanlagen durchaus das Wort reden. In Unterwerken des RWE kommen Entfernungen bis zu 800 m einfache Länge vor, die nur mit 1 A überbrückt werden können. Gewiss ist die Gefahr der Ueberspannungen beim Oel eine sehr grosse, man kann aber durch allerbeste Imprägnierung der Wicklung sehr hohe Sicherheit erreichen, ohne dass man auf Kurzschlussvorrichtungen usw. greifen muss. Wir haben für das RWE hunderte von Wandlern für 1 A Sekundärstrom geliefert und es ist bis jetzt noch nicht ein einziger defekt geworden, obwohl sicherlich schon manchmal der eine oder andere im Betriebe versehentlich geöffnet wurde.

Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

Vom Dnjeprostroj-Kraftwerk.

621.311.21 (47)

Eingeladen vom Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband und vom Linth-Limmatverband sprach am 15. Februar d. J. im «Weissen Wind» in Zürich der auch den Lesern unseres Bulletin bekannte [1]) Ing. P. Gurewitsch über das Dnjeprostroj-Kraftwerk und gab bei dieser Gelegenheit auch einen Einblick in die allgemeine russische Elektrizitätswirtschaft und -politik. Vor dem Kriege lieferten alle russischen Werke 2 Milliarden kWh pro Jahr bei einer installierten Leistung von $1{,}35 \cdot 10^6$ kW. Während des Krieges und in der ersten Zeit der Revolution stand die Entwicklung der russischen Elektrizitätswirtschaft vollständig still. Im Jahre 1921 stellte die «Staatliche Kommission für die Elektrifizierung Russlands» einen Elektrifizierungsplan auf, der als Richtlinie für die künftigen Kraftwerksbauten diente, mit dem Erfolg, dass die bis 1932 in Kraftwerken neu installierte Leistung $2{,}5 \cdot 10^6$ kW beträgt und die jährliche Erzeugungsmöglichkeit auf $13{,}5 \cdot 10^9$ kWh stieg. Heute besitzt Russland zehn Kraftwerke mit je mehr als 100 000 kWh installierter Leistung (neun Torf-, Kohle- oder Erdölkraftwerke), von denen das grösste das Wasserkraftwerk Dnjeprostroj ist, mit 600 000 kW installierter Leistung (an den Turbinenwellen) und einer Erzeugungsmöglichkeit von 2,5 bis $4{,}5 \cdot 10^9$ kWh (Extremwerte) im Jahr. Zum Vergleich mag erwähnt sein, dass im Jahre 1931/32 alle schweizerischen Werke der Allgemeinversorgung etwas mehr als $3{,}5 \cdot 10^9$ kWh erzeugten, wovon etwa $1 \cdot 10^9$ kWh ins Ausland abgegeben wurden. Die mögliche Erzeugung des Kraftwerkes Dnjeprostroj entspricht demnach etwa dem schweizerischen Bedarf.

Das Kraftwerk Dnjeprostroj liegt bei der Stadt Alexandrowsk am Dnjepr, rund 350 km oberhalb seiner Mündung in das Schwarze Meer. Der Dnjepr besitzt beim Kraftwerk ein Einzugsgebiet von über 500 000 km², das im Oberlauf grossenteils waldig ist (Flächeninhalt der Schweiz: 41 295 km²). Die Abflussmenge schwankt nach Beobachtungen von 1878 bis 1926 zwischen 300 und 21 795 m³/s (Rhein bei Basel 397 bis 2695 m³/s). Während des Baues trat (1931) ein aussergewöhnliches Hochwasser von 24 500 m³/s auf, das durch das im Bau befindliche Wehr anstandslos abgeführt wurde.

Das Werk dient zwei Zwecken: Es beseitigt einerseits das Hindernis der Stromschnellen, die zwischen Dnjepropetrowsk und Zaporozje die Schiffahrt auf dem im übrigen auf 1900 km schiffbaren Dnjepr unterbrachen, und versorgt anderseits die in rascher Entwicklung befindliche ukrainische Schwerindustrie mit elektrischer Energie, wobei es mit einer Reihe thermischer Grosskraftwerke zusammenarbeitet.

Das Wehr, das unterhalb der letzten Stromschnelle liegt, staut den Dnjepr auf einer Strecke von 160 km zu einem See, der gestattet, die Minimalwassermenge von 300 m³/s in guten Jahren auf 500 m³/s heraufzusetzen. Es ist eine bogenförmige Staumauer mit 820 000 m³ Inhalt, einer Länge von 760 m, einer grössten Höhe über der Fundamentsohle von 62 m und besitzt 47 Oeffnungen von 13 m l. W. Als Ueberlaufverschlüsse besitzt es 80 t schwere Stoneyschützen. Der Oberwasserspiegel liegt 51,2 m ü. M., der Unterwasserspiegel bei minimalem Niederwasser 12,7 m ü. M., bei Hochwasser 24,7 m ü. M., so dass ein Gefälle von 38,5 bis 26,5 m ausgenützt werden kann.

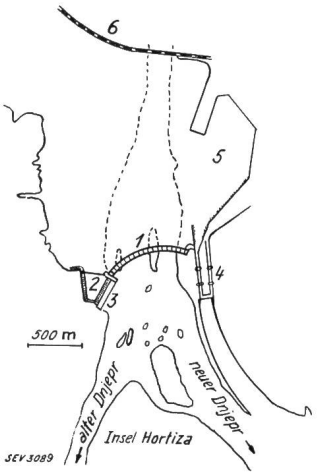

Fig. 1.

Situationsplan des Dnjepr-Kraftwerkes.

1 Stauwehr.
2 Vorbecken.
3 Maschinenhaus.
4 Schleusenanlage.
5 Hafen.
6 Eingestaute Eisenbahnstrecke.

In Fortsetzung des Wehres steht am linken Ufer die Schleussenanlage für die Schiffahrt und am rechten Ufer das Maschinenhaus. Das Einlaufbauwerk stellt eine Verlängerung des Wehres dar. Dem Einlaufbauwerk ist das im Grundriss trapezförmige, wirbelfrei angelegte Vorbecken vorgelagert. Das in moderner Architektur gebaute Maschinenhaus ist 230 m lang, 24 m breit und 47 m hoch, wovon 20 m auf die Höhe der Auslaufpfeiler entfallen. Die Sohle der Saug-

[1]) P. Gurewitsch, Die schweizerische elektrotechnische Industrie und der russische Markt: Bull. SEV 1915, Nr. 6, S. 99; ferner: Die elektrische Weltindustrie während des Krieges und die zukünftigen Absatzverhältnisse für schweizerische elektrotechnische Erzeugnisse: Bull. SEV 1918, Nr. 1, S. 9.