

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 36 (1945)  
**Heft:** 17

**Artikel:** Der Spannungsabfall beim Betrieb von Widerstands-Schweissmaschinen  
**Autor:** Ringger, L.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1060246>

### **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:** 03.04.2025

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

## Der Spannungsabfall beim Betrieb von Widerstands-Schweissmaschinen

Referat, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 24. Mai 1945 in Zürich,

von L. Ringger, Baden

621.3.015.1 : 621.791.739

Durch Anwendung geeigneter Schaltergeräte und Anschlussschaltungen können die schädlichen Rückwirkungen von Widerstands-Schweissmaschinen auf das speisende Netz vermieden oder stark reduziert werden. Durch ein Berechnungsverfahren, das sich der symmetrischen Komponenten bedient, können die geeigneten Schaltelemente bestimmt werden. Anhand der Resultate eines durchgerechneten Beispiels werden verschiedene Schaltungen diskutiert und miteinander verglichen. Beim Anschluss von Widerstands-Schweissmaschinen soll künftig mit Rücksicht auf die Licht-Abonnenten nur die Forderung nach einem zulässigen Spannungsabfall gestellt werden.

Les répercussions défavorables qu'exercent les machines à souder par résistance sur le secteur d'alimentation peuvent être évitées ou fortement réduites par l'emploi d'appareils de couplage et de modes de connexions appropriés. Un procédé de calcul, basé sur les composantes symétriques, permet de déterminer les éléments de couplage qui conviennent le mieux. M. Ringger examine et compare entre eux différents couplages, à l'aide des résultats d'un calcul indiqué à titre d'exemple. En cas de raccordement de machines à souder par résistance, il suffira dorénavant d'exiger une chute de tension admissible, dans l'intérêt des abonnés à l'éclairage.

Bei der Ueberprüfung von Anschlussmöglichkeiten für Widerstands-Schweissmaschinen kann die Feststellung gemacht werden, dass verschiedene Werke Vorschriften erlassen, welche unter gewissen Umständen den Anschluss verunmöglichen. Dabei werden Spezialschaltungen zur Lastverteilung oder zur Reduktion des Spannungsabfalles verlangt, die bei näherer Ueberprüfung der Netzverhältnisse nicht immer notwendig wären und nur die Anlagekosten unnötig verteuern. Da die Widerstandsschweissung in der modernen Fertigungstechnik immer mehr Verwendung findet, wird dem Anschluss von Widerstands-Schweissmaschinen in Zukunft vermehrte Aufmerksamkeit zu schenken sein. Zur Erhaltung von störungsfreien Netzen müssen dabei Massnahmen getroffen werden, welche in technischer sowie in wirtschaftlicher Hinsicht annehmbar sind. Dies ist jedoch nur möglich, wenn sie auf einer genauen Kenntnis der Betriebseigenschaften der Widerstands-Schweissmaschinen und ihrer Rückwirkungen auf das Netz beruhen.

Der Betrieb von Widerstands-Schweissmaschinen ist gekennzeichnet durch häufig aussetzende einphasige Belastung und Blindleistungsaufnahme. Diese unangenehmen Merkmale machen die Widerstands-Schweissmaschinen oft zu unbeliebten Stromverbrauchern, weil sie tatsächlich störende Rückwirkungen auf das speisende Netz ausüben können.

Als erste störende Rückwirkung sei das Zucken oder Flimmern des Lichtes erwähnt, weil dieses Kriterium offenbar die schärfsten Bedingungen ergibt (Fig. 1). Eigene Messungen bestätigen die Ausführungen von Herrn Altherr<sup>1)</sup>, wonach die zulässige Grenze der Ungleichförmigkeit der Spannung sehr stark von der verwendeten Lampenart und der Störfrequenz abhängig ist. Innerhalb des Arbeitsgebietes der heute gebräuchlichen Primärunterbrecher für Nahtschweissmaschinen liegt sie für eine 60-Watt-Lampe bei 220 Volt tiefer als 0,5%. Durch Erhöhung der Störfrequenz kann die Grenze etwas erhöht werden. Diese Massnahme bedingt aber teurere Schaltergeräte und Vergrösserung des Schweißstromes.

Eine weitere Folgerung der plötzlichen Spannungsabfälle, welche vom Zu- und Abschalten einer Widerstands-Schweissmaschine herrühren, besteht

in der unsymmetrischen Verzerrung des Spannungsdreiecks, wenn keine besonderen Massnahmen für die Verwirklichung der Symmetrie getroffen werden. Sind Drehstrommaschinen mit Synchron- oder Asynchron-Charakter am Netz angeschlossen, so entsteht in diesen ein inverses Drehfeld, das sich vor allem durch abnormale Rotorverluste äussert. Die angestellten Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass die bei unsymmetrischer Speisung auftretende gegenlaufende Spannung mit Rücksicht auf die Lichtschwankungen sehr klein bleiben muss.

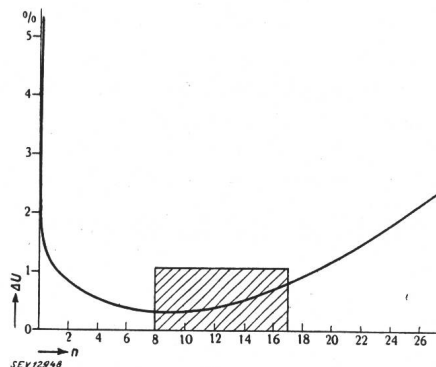


Fig. 1.

Maximal zulässige Spannungsschwankung für störungsfreies Licht in Abhängigkeit von der Flimmerfrequenz

Die Kurve hat Gültigkeit für eine innenmattierte 60-W-Lampe bei 220 V. Die schraffierte Fläche zeigt das Arbeitsgebiet des Primärunterbrechers.

ΔU Relativer Spannungsabfall in %.  
n Zahl der Schweißpunkte pro s.

Da sich die abnormalen Rotorverluste zu den normalen Vollastverlusten verhalten, wie die Quadrate der gegenlaufenden Spannung zur Kurzschlussspannung und diese zwischen 10 und 35% liegt, ist sofort erkennbar, dass die abnormalen Verluste die Maschine nicht gefährden können. Ausserdem wirkt sich günstig aus, dass der Betrieb ein häufig aussetzender ist, so dass die abnormalen Verluste nie dauernd auftreten. Die gegenlaufende Spannungskomponente des Netzes kommt zudem nur in der unmittelbaren Nähe der Schweissmaschine vor und nimmt in zunehmender Entfernung von dieser ab.

Die Blindleistungsaufnahme der Widerstands-Schweissmaschine lässt sich leicht in vernünftigen Grenzen halten. Beim Verschweissen von Stahl wird mit einem Leistungsfaktor von ca. 0,7 bis 0,8 gerechnet, beim Verschweissen von Leichtmetallen mit ca. 0,4 bis 0,6. Da die meisten Schaltungen zur

<sup>1)</sup> H. Altherr: Der Anschluss von Widerstands-Schweissmaschinen, Bull. SEV 1945, Nr. 12, S. 361...371.

Verkleinerung des Spannungsabfalles statische Kondensatoren benutzen, ist ohne weiteres zu sehen, dass durch Einhalten eines genügend kleinen Spannungsabfalles die Frage der Blindleistungsaufnahme in günstigem Sinne gelöst wird. In den nachfolgenden Ausführungen werden nun Mittel und Wege angegeben, um den Spannungsabfall auf die zulässigen Werte reduzieren zu können.

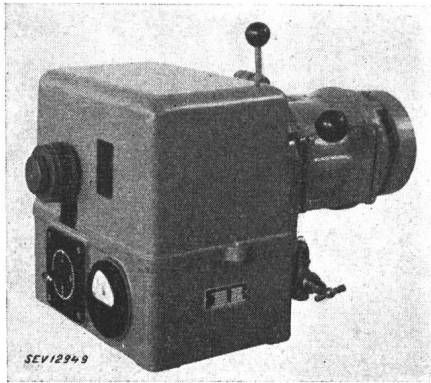


Fig. 2.

**Brown Boveri-Synchronschalter**

Mit diesem Schalter können die Einschaltstromspitzen vermieden werden.

Weil die Widerstands-Schweißmaschinen nichts anderes darstellen als sekundärseitig belastete Transformatoren, treten neben den normalen stationären Strömen auch Einschaltstromstöße auf, die im speisenden Netz zusätzliche Spannungsschwankungen erzeugen. Durch richtige Wahl des Einschaltmomentes lassen sich diese Einschaltstromstöße vermeiden. Beim Nahtschweißen kann das auf einfache Weise mit dem *Synchronschalter* verwirklicht werden (Fig. 2). Ein- und Ausschaltmoment lassen sich unabhängig voneinander einstellen. Anhand eines in den Stromkreis geschalteten Amperemeters kann der einzig richtige Einschaltmoment sehr leicht und während dem Betrieb gewählt werden. Der Ausschaltmoment wird zur Schonung der Kontakte auf den kleinsten Ausschaltlichtbogen eingestellt. Die erzielte Wirkung ist am besten aus dem Vergleich der beiden Oszillogramme (Fig. 3) er-

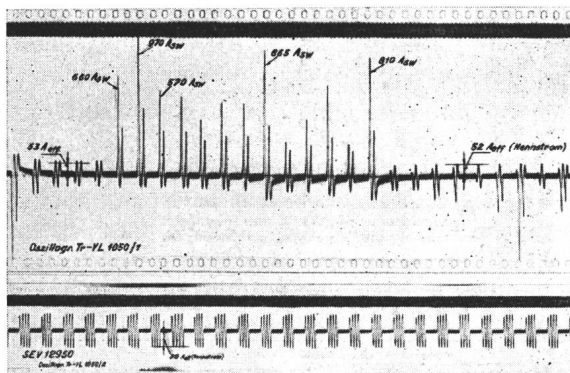


Fig. 3.

Oszillogramme des Primärstromes einer Nahtschweißmaschine  
 Oben: Primärstromverlauf beim Schweißen mit gewöhnlichem Asynchron-Unterbrecher.  
 Unten: Primärstromverlauf beim Schweißen mit dem Synchronschalter nach Fig. 2.

sichtlich, welche den Primärstromverlauf beim Arbeiten mit gewöhnlichem Asynchron-Unterbrecher und dem beschriebenen Synchron-Unterbrecher zeigen.

Beim Punktschweißen dagegen ist die Wahl des richtigen Einschaltmomentes nicht ohne weiteres möglich. Es wurden schon mehr oder weniger komplizierte Schützenschaltungen vorgeschlagen. Heute

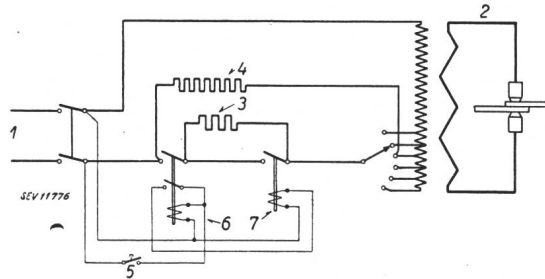


Fig. 4.

**Patentierter Brown Boveri-Schutzschaltung zur Vermeidung von Einschaltstromspitzen beim Punktschweißen**

- 1 Netz.
- 2 Schweißmaschine.
- 3 Einschaltwiderstand.
- 4 Entregungswiderstand.
- 5 Druckknopf.
- 6, 7 Schütz.

besitzt man in der patentierten Brown-Boveri-Schutzschaltung ein Mittel, das der idealen Lösung des Problems am nächsten kommt (Fig. 4). Der Einschaltmoment ist bei dieser sogenannten Zwei-Schützen-Steuerung nicht zwangsläufig richtig, zeitweise entstehende Stromspitzen werden aber durch den Einschaltwiderstand gedämpft. Ueber den Entregungswiderstand wird dem Transformator in den Schweißpausen eine reduzierte Spannung aufge-

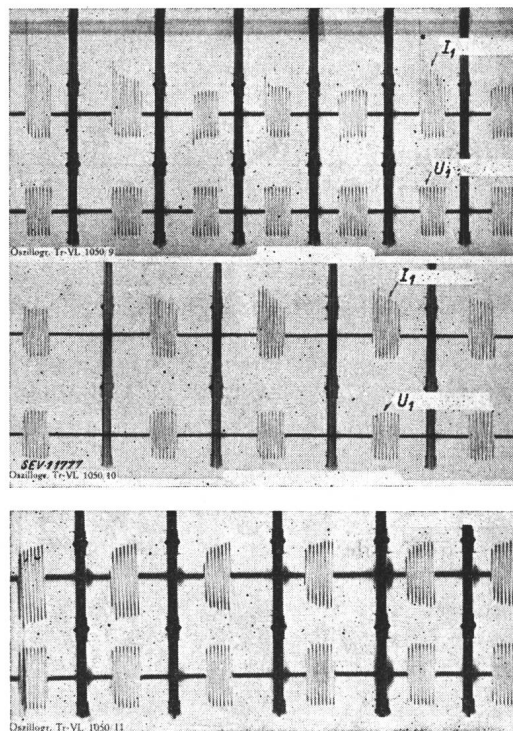


Fig. 5.

**Oszillogramme des Primärstromes und der Primärspannung einer Punktschweißmaschine**

Oben: Direktes Einschalten ohne Einschalt- und Entregungswiderstand.  
 Mitte: Einschalten über Einschaltwiderstand.  
 Unten: Einschalten mit der Schutzschaltung nach Fig. 4.

drückt, welche den unerwünschten Remanenzfluss zum Verschwinden bringt. Mit dieser einfachen Schaltung können die Einschaltstromstösse weitgehend vermieden werden. Sie erreichen in den schlimmsten Fällen das 1,3fache des Nennstromes, welcher Wert für den Betrieb nicht störend ist. Die erzielten Resultate sind in Fig. 5 zusammengestellt. Das oberste Oszillogramm ist ohne die Schutzschaltung aufgenommen und zeigt deutlich die etwa entstehenden Stromspitzen. Beim mittleren Oszillogramm wurde die Schweissmaschine nur über einen Einschaltwiderstand an das Netz geschaltet. Das unterste Oszillogramm wurde mit der kompletten Schutzschaltung, bestehend aus Einschalt- und Entregungswiderstand, aufgenommen.

Weitere theoretische Untersuchungen zeigten, dass der Spannungsabfall durch geeignete Kombination der Einphasenbelastung mit Blindreaktanzen in den gewünschten Grenzen gehalten werden kann. Dies ist in jedem Netz und für jede Belastung möglich, solange die Belastungsfähigkeit des Netzes nicht überschritten wird. H. Hafner hat diese Möglichkeit in einem früher erschienenen Artikel auseinandergesetzt<sup>2)</sup>. Zur Ermittlung der günstigsten Anschluss-Schaltung ist die Kenntnis folgender Daten notwendig:

Von der Schweissmaschine die Wirkleistung  $P$  und der Leistungsfaktor  $\cos \varphi$ .

Vom Netz die Komponenten  $R$  und  $X$  der internen Netzimpedanz  $Z$  oder die Kurzschlussleistung  $P_c$ .

Die Daten der Schweissmaschine sind dem Fabrikanten bekannt. Zur Bestimmung der Netzdaten in Niederspannungsnetzen hat Brown-Boveri ein Gerät entwickelt, mit dem die notwendigen Messungen vor Anschluss der Maschine, ja sogar bei der Projektierung, vorgenommen werden können. In Hochspannungsnetzen können in der Regel diese Grössen mit genügender Genauigkeit angegeben werden.

Durch ein Berechnungsverfahren, das mit diesen Grössen operiert, werden nun Zusatz-Blindreaktanzen, Kondensatoren und Drosselspulen bestimmt, durch welche das mit- und gegenlaufende Stromsystem so beeinflusst werden kann, dass die gestellten Forderungen erreicht werden. Dabei ist besonders zu beachten, dass Einphasenbelastung und Zusatzblindreaktanzen gleichzeitig zu- und abgeschaltet werden.

Anhand eines durchgerechneten Beispiels werden nun die Vor- und Nachteile verschiedener Schaltungen miteinander verglichen. Für die Schweissmaschine wurde dabei ein Leistungsfaktor von 0,75 angenommen, und der charakteristische Winkel  $\psi$  der Netzimpedanz  $Z$  zu  $30^\circ$  ( $\sin \psi = 0,5$ ).

Als einfachste Schaltung ist der Spannungsteiler  $S$  mit Anzapfung in der Mitte bekannt (Fig. 6a). Im gerechneten Beispiel würden die drei Phasenspannungen relative Abfälle nach Punkt  $U$ ,  $V$  und  $W$  in der untenstehenden graphischen Darstellung aufweisen. Als Ordinate ist der relative Spannungs-

abfall als Vielfaches des Quotienten aus Wirkleistung  $P$  der Einphasenbelastung zur Kurzschlussleistung  $P_c$  des Netzes aufgetragen.

Wird die Anzapfung der Belastungsspannung nach Fig. 6b so gewählt, dass der Spannungsabfall in dem am stärksten belasteten Polleiter ein Minimum ist, dann liegen die entsprechenden Punkte für die Spannungsabfälle bei  $U$ ,  $V$  und  $W$  in der zugehörigen graphischen Darstellung.

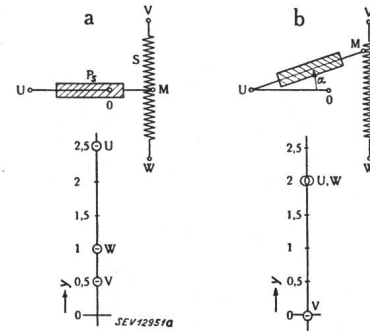


Fig. 6.

Anschlußschaltungen zur Reduktion des Spannungsabfalles an Widerstandsschweissmaschinen

- a) Spannungsteiler mit Anzapfung in der Mitte  
b) Spannungsteiler mit nach den Netz- und Belastungsverhältnissen gewählter Anzapfung. Leistungs-faktor  $\cos \varphi$  der Belastung zu 0,75 und charakteristischer Winkel  $\psi$  der Netzimpedanz  $Z$  zu  $30^\circ$  angenommen.

$P_1$  Einphasenbelastung (Scheinleistung).  
 $S$  Spannungsteiler.  
 $P$  Wirkleistung der Einphasenbelastung.  
 $P_c$  Kurzschlussleistung des Netzes.

$\Delta U = \frac{P}{P_c} \cdot y$  Relativer Spannungsabfall in %.

$U, V, W$  Spannungsabfälle in den Polleitern.

$\alpha$  Winkel um den die Belastungsspannung  $UM$  gegenüber der Sternspannung  $UO$  verschoben wird.

Durch Gegenüberstellung der beiden Figuren kann die Wirkungsweise des Spannungsteilers gut diskutiert werden. Der Spannungsteiler beeinflusst das gegenlaufende Stromsystem nicht, weil er keine Leistungsspeicherung ermöglicht. Der mittlere Spannungsabfall bleibt ebenfalls konstant. Dagegen kann bei günstiger Lage der Anzapfung  $M$ , der Spannungsabfall in dem am stärksten belasteten Polleiter herabgesetzt werden. Die Bestimmung der Lage dieser Anzapfung hat unter Berücksichtigung der Netz- und Belastungsverhältnisse zu geschehen. Der Spannungsteiler kann also sein Dasein vom Standpunkte des Spannungsabfalles aus rechtfertigen, jedoch nicht unbedingt bei Verlegung der Anzapfung in die Mitte der verketteten Spannung.

Der Spannungsteiler nach Fig. 6b kann durch Anschluss eines Kondensators  $C$  zu Fig. 7a ergänzt werden. Die Kondensatorspannung wird um den Winkel  $\beta$  gegenüber der Belastungsspannung  $UM$  verschoben. Die Grösse des Winkels  $\beta$  ist abhängig vom Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  der Belastung. Der Spannungsabfall verläuft gemäss den Geraden  $U_a, V_a, W_a$ , wobei als Abszisse das Verhältnis der aufgewendeten Kondensatorleistung  $P_q$  zur Wirkleistung  $P$  der Einphasenbelastung aufgetragen ist. Der Verlauf dieser beiden Geraden zeigt, dass es keinen Sinn hat, die Kondensatorleistung grösser zu machen, als bis Punkt  $a$  erreicht ist. Hier sind die Abfälle in allen drei Polleitern einander gleich. Es

<sup>2)</sup> Bull. SEV 1944, Nr. 12, S. 309...319.

herrscht vollständige Symmetrie, das gegenlaufende Stromsystem ist Null. Wenn der Winkel  $\alpha$ , um den die Belastungsspannung gegenüber  $UO$  verschoben wird,  $\pm 30^\circ$  erreicht, erhalten wir Schaltung 7b, bei der Einphasenlast und Kondensator direkt an die verkettete Spannung angeschlossen werden. Die Spannungsabfälle in den Polleitern verlaufen

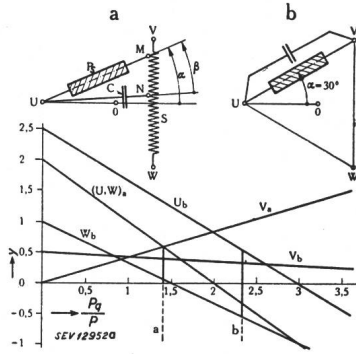


Fig. 7.

**Anschlußschaltungen zur Reduktion des Spannungsabfalles an Widerstandsschweißmaschinen**

- a) Spannungsteiler mit Kompensationskondensator und nach den Netz- und Belastungsverhältnissen gewählten Anzapfungen.
- b) Anschluss der einphasigen Belastung und des Kondensators an die verkettete Spannung  $\alpha = 30^\circ$ . Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  der Belastung zu 0,75 und charakteristischer Winkel  $\Psi$  der Netzimpedanz  $Z$  zu  $30^\circ$  angenommen.

- $P_s$  Einphasenbelastung (Scheinleistung).
  - $S$  Spannungsteiler.
  - $C$  Kondensator.
  - $P$  Wirkleistung der Einphasenbelastung.
  - $P_c$  Kurzschlussleistung des Netzes.
  - $P_q$  Kondensatorleistung.
- $$\Delta U = \frac{P}{P_c} \cdot y$$
- Relativer Spannungsabfall in %.

- $U_a, V_a, W_a$  Verlauf der Spannungsabfälle in den Polleitern nach Schaltung a.
- $U_b, V_b, W_b$  Verlauf der Spannungsabfälle in den Polleitern nach Schaltung b.
- Marke a und b Grenzen bis zu welchen eine Kompensation praktisch Wert hat.

dann nach den Geraden  $U_b, V_b, W_b$ . Hier kann bis zum Punkt b kompensiert werden, bei dem der Spannungsabfall der Phase U gleich der Spannungserhöhung in der Phase W wird. Symmetrie kann jedoch nicht hergestellt werden. Dieser Schaltung ist jedoch ihrer Einfachheit wegen grosse Aufmerksamkeit zu schenken.

Unter dem Namen Symmetrierungsschaltung ist die Anordnung nach Fig. 8 bekannt. Durch Wahl der Leistungen des Kondensators C und der Drosselspule L sowie der Lage ihrer Spannungen besteht die Möglichkeit, bei einer gegebenen Einphasenbelastung vollständige Symmetrie zu erreichen. Für die Wahl dieser Grössen ist die Kenntnis der Maschinen und Netzdaten unerlässlich. Durch Anpassung der Leistung von Kondensator und Drosselspule kann sowohl die Phasenverschiebung zwischen den Strangströmen und -Spannungen, als auch der Spannungsabfall in allen Polleitern beeinflusst werden. Nach Kurve U, V und W, welche den Verlauf aller drei Spannungsabfälle zeigt, ist es sogar möglich, bis auf einen Spannungsabfall 0 zu kompensieren. Dabei muss die Drosselspule jedoch durch einen Spannungsteiler mit parallel geschaltetem Kondensator ersetzt werden.

Auf Grund der erwähnten Methode ist es möglich, die Spannungsabfälle in den Sternspannungen, wie in den verketteten Spannungen zu bestimmen. Die gezeigten Beziehungen zwischen den einzelnen Schaltungen sollen jedoch nur als Beispiel dienen und dürfen nicht ohne weiteres verallgemeinert werden. Die grosse Anzahl der in

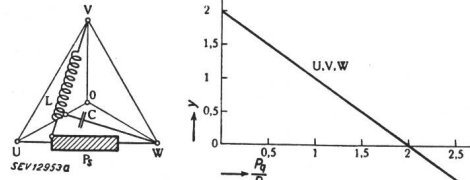


Fig. 8.

**Anschlußschaltung zur Reduktion des Spannungsabfalles an Widerstandsschweißmaschinen (Symmetrierungsschaltung)**

- $P_s$  Einphasenbelastung (Scheinleistung).
- $C$  Kondensator.
- $L$  Drosselspule.
- $P$  Wirkleistung der Einphasenbelastung.
- $P_c$  Kurzschlussleistung des Netzes.
- $P_q$  Kondensatorleistung.

$$\Delta U = \frac{P}{P_c} \cdot y$$
 Relativer Spannungsabfall in %.

$U, V, W$  Verlauf der Spannungsabfälle in den Polleitern. Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  der Belastung zu 0,75 und charakteristischer Winkel  $\Psi$  der Netzimpedanz  $Z$  zu  $30^\circ$  angenommen.

Frage kommenden Parameter gestattet keine allgemeine Diskussion, aber die der Behandlung zugrunde gelegte Rechenmethode erlaubt in jedem konkreten Fall, die günstigste Lösung zu finden. Voraussetzung ist immer, dass die Belastungsfähigkeit eines Netzes genügend gross ist. Dass dabei auch wirtschaftliche Erwägungen eine Rolle spielen, steht ausser Zweifel, da die zur Verwendung gelangenden Hilfsmittel unter Umständen finanziell nicht tragbar sind.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass alle Schwierigkeiten beim Anschluss von Widerstands-Schweißmaschinen behoben werden können, wenn die wichtigste und einzige Forderung nach einem kleinen Spannungsabfall erfüllt wird. Dieser wird durch die Verhältnisse im Verteilnetzsystem diktiert und hat sich hauptsächlich nach den störungsempfindlichen Lichtbetrieben zu richten. Es sei jedoch ausdrücklich betont, dass die Grenzen für den Spannungsabfall je nach dem Verteilnetzsystem verschieden hoch angesetzt werden müssen, wie das H. Altherr<sup>1)</sup> in seinem Referat erklärt hat. Je günstiger die Netzverhältnisse sind, desto einfacher werden die zu treffenden Massnahmen und desto billiger die erforderlichen Zusatzapparate sein. Es ist nun Aufgabe der Energielieferanten, gemeinsam mit dem projektierenden Ingenieur, der die erforderlichen Grundlagen in Form der erwähnten Rechenmethode und im Netzmessgerät besitzt, von Fall zu Fall zu untersuchen, ob Ausgleichsmassnahmen nötig sind, und wenn ja, welche Auswahl vom technischen und wirtschaftlichen Standpunkte aus zu treffen ist. Nur durch ein verständnisvolles gemeinsames Vorgehen aller Beteiligten wird es möglich sein, der Anwendung der Widerstandsschweißung in Industrie und Gewerbe den Weg zu ebnen.