Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 36 (1945)

Heft: 12

Artikel: Der Anschluss von Widerstands-Schweissmaschinen

Autor: Altherr, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1060229

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: 14.12.2025

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:
Sekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Zürich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:
Zürich, Stauffacherquai 36 ◆ Telephon 25 17 42
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXXVI. Jahrgang | N° 12 | Mittwoch, 13. Juni 1945

Der Anschluss von Widerstands-Schweissmaschinen

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

von *H. Altherr*, Zürich

621.791.736

Die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich führten eingehende Versuche durch, um festzustellen, welche Spannungsschwankungen Punkt- und Nahtschweissmaschinen im Netz verursachen und welche Grenzwerte dieser Spannungsschwankungen nicht überschritten werden dürfen, wenn das Glühlampenlicht nicht störende Helligkeitsschwankungen aufweisen soll. Die Versuche ergaben, dass von den Lichtbezügern Reklamationen zu erwarten sind, sobald im Lichtnetz von Punktschweissmaschinen erzeugte Spannungsschwankungen mehr als 1,5 % und von Nahtschweissmaschinen herrührende mehr als 0,3 % betragen. Auf Grund dieser Resultate wird die Möglichkeit des Anschlusses von Widerstands-Schweissmaschinen an die verschiedenen Verteilsysteme untersucht. Schliesslich werden Fragen des Energielieferungstarifs für Widerstands-Schweissmaschinen behandelt.

Les Entreprises électriques du Canton de Zurich ont procédé à des essais détaillés pour déterminer les variations de tension provoquées sur le réseau par les machines à souder par points et à la molette, ainsi que les limites de ces variations qui ne doivent pas être dépassées, si l'on tient à ce que l'éclairage ne subisse aucune fluctuation. Ces essais ont démontré qu'il y a lieu de s'attendre à des réclamations de la part des abonnés au réseau-lumière, dès que les variations de tension dépassent 1,5 % avec les machines à souder par points et 0,3 % avec les machines à souder à la molette. Se basant sur ces résultats l'auteur examine les possibilités de branchement aux différents systèmes de distribution des machines à souder par résistance, puis il traite des questions se rapportant aux tarifs de fourniture d'énergie aux dites machines à souder.

I. Einleitung

Mit den modernen Widerstands-Schweissmaschinen lassen sich Bleche und Profile aus Eisen, Stahl oder Aluminium äusserst wirtschaftlich, sauber, solid und schnell verbinden. Zudem wird zur Herstellung einer Verbindung im Gegensatz zur Lichtbogenschweissung kein Fremdmaterial benötigt. In der metallverarbeitenden Industrie und in neuester Zeit auch im Gewerbe findet daher die Widerstands-Schweissmaschine immer mehr Verwendung.

Die Scheinleistungsaufnahme der Widerstands-Schweissmaschinen kann bis zu einigen hundert kVA betragen. Der Leistungsbezug erfolgt aber nur während sehr kurzer Zeiten und ganz unregelmässig. Bekanntlich verursacht jedes Zu- und Abschalten von Belastungen im Netz Spannungsschwankungen. Diese sind von der Grösse der Stromänderung und vom Ausbau des Netzes abhängig. Die kurzzeitigen, plötzlichen und häufig aufeinanderfolgenden Spannungsschwankungen beeinflussen die Güte der elektrischen Beleuchtung. Ueber die Grösse und Art der von Lichtbogen-Schweissmaschinen hervorgerufenen Spannungsschwankungen und die Grenze der zulässigen Schwankungen wurden schon Untersuchungen durchgeführt und veröffentlicht [1]). Dagegen finden sich in der Literatur über die zulässigen Spannungsschwankungen, hervorgerufen durch Punkt- und Nahtschweissmaschinen, bei den heute gebräuchlichen Metalldraht-, Leuchtstoff- und Kleinspannungslampen nur wenig Angaben.

Da die Kenntnis der zulässigen Spannungsschwankungen die Grundlage zur Aufstellung von Anschlussvorschriften bildet, stellten die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) eingehende Versuche darüber an.

II. Bestimmung der zulässigen Spannungsschwankungen

a) Strom- und Spannungsmessungen an Schweissmaschinen

Um die Art der von Punkt- und Nahtschweissmaschinen aufgenommenen Ströme und die durch

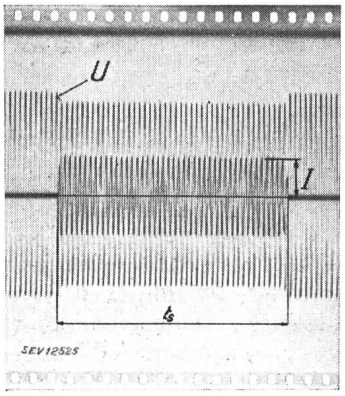

Fig. 1.
Punktschweissmaschine
Schweissgut: Eisenblech
t_s Schweisszeit 0,89 s
U Klemmenspannung, primär

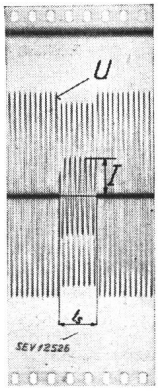

Fig. 2.
Punktschweissmaschine
Schweissgut: Aluminiumblech
t_s Schweisszeit 0,15 s
I Schweißstrom, primär

[1]) W. Werdenberg, Zulässige Spannungsschwankungen im Licht-Netz, Bull. SEV 1935, Nr. 22, S. 609; Der Anschluss von Lichtbogen-Schweissmaschinen, Bull. SEV 1935, Nr. 24, S. 677.

sie verursachten Spannungsschwankungen kennenzulernen, wurden in verschiedenen Netzen mit angeschlossenen Schweissmaschinen oszillographische Messungen durchgeführt. Fig. 1...3 stellen einige der aufgenommenen Oszillogramme dar.

Fig. 1 zeigt die Art der Stromänderung und die dadurch erzeugte Spannungsschwankung einer *Punktschweissmaschine* beim Schweissen von Eisenblech und Fig. 2 beim Schweissen von Aluminiumblech. Fig. 3 zeigt die Strom- und Spannungsänderung, herrührend von einer *Nahtschweissmaschine* beim Schweissen von Eisenblech.

Man erkennt, dass die Strom- und Spannungsänderungen bei Widerstands-Schweissmaschinen plötzlich erfolgen, dass aber die Häufigkeit und die Ein- und Ausschaltdauer verschieden sind. Die Fig. 4 und 5 zeigen den grundsätzlichen Verlauf der Strom- und der Spannungskurve von Punkt- und Nahtschweissmaschinen.

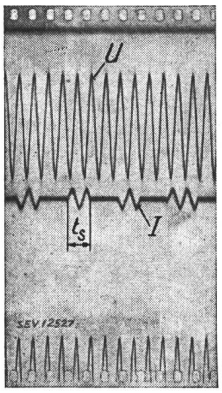

Fig. 3.
Nahtschweissmaschine
Schweissgut: Eisenblech
U Klemmenspannung, primär
I Schweißstrom, primär
t_s Schweisszeit 0,03 s

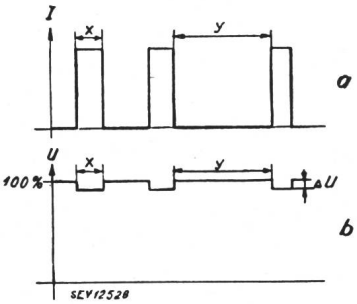

Fig. 4.
Grundsätzlicher Verlauf der Strom- (Fig. 4a) und der Spannungskurve (Fig. 4b) von Punktschweissmaschinen
x Einschaltdauer, 0,05...3 s
y Ausschaltdauer, je nach Arbeitstempo 0,3...mehrere s
U Klemmenspannung, primär
ΔU Grösse der Spannungsschwankung in %
I Schweißstrom, primär

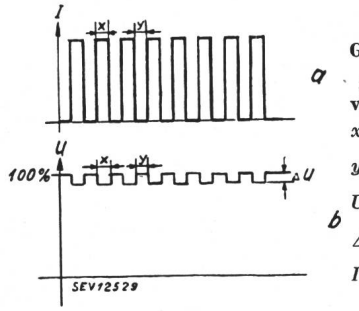

Fig. 5.
Grundsätzlicher Verlauf der Strom- (Fig. 5a) und der Spannungskurve (Fig. 5b) von Nahtschweissmaschinen
x Einschaltdauer, 0,02...0,15 s
y Ausschaltdauer, 0,02...0,15 s
U Klemmenspannung, primär
ΔU Grösse der Spannungsschwankung in %
I Schweißstrom, primär

b) Durchführung der Versuche

Vorversuche ergaben, dass von *Punktschweissmaschinen* erzeugte Spannungsschwankungen ein Zucken des Glühlampenlichtes verursachen und dass eine Einschaltdauer (x) zwischen 0,05 und 1 s die Erträglichkeit unbedeutend beeinflusst [2]).

Die Versuche wurden mit einer Einschaltdauer von 0,5 s und einer Häufigkeit entsprechend 12 Schweisspunkten in der Minute durchgeführt.

Weitere Vorversuche haben gezeigt, dass von *Nahtschweissmaschinen* erzeugte Spannungsschwankungen ein Flimmern des Glühlampenlichtes verursachen. Da aus der Literatur bekannt war [3]), dass die Zahl der Schweisspunkte und somit die Spannungsschwankungen pro Sekunde die Grenze der Empfindlichkeit beeinflussen, wurden die Versuche bei 2, 5, 8, 11 und 14 Schweisspunkten pro Sekunde vorgenommen. Dabei wurden die Zeitspannen x und y (Fig. 5) gleich gross gewählt, denn es konnten bei der Wahl anderer Verhältnisse keine ausschlaggebenden Unterschiede festgestellt werden.

Da heute neben den Metalldrahtlampen auch Leuchtstoff- und Kleinspannungslampen im Gebrauch sind, wurde der Einfluss der Spannungsschwankungen bei allen 3 Lampentypen näher untersucht. Dabei wurden die Versuche mit Platz- und Allgemeinleuchten bei verschiedenen Lampenstärken durchgeführt. Fig. 6a, b, c und d zeigen die verwendeten Leuchten und es sind die eingesetzten Lampen angegeben.

Fig. 6a.
Tischleuchte
Glühlampen:
38 W, 40 Dlm, 220 V, innenmattiert
145 W, 200 Dlm, 220 V, innenmattiert
Kleinspannungslampe:
40 W, 43 Dlm, 24 V, innenmattiert

Fig. 6b.
Deckenleuchte mit Opalglaskugel
Glühlampen:
38 W, 40 Dlm, 220 V, innenmattiert
145 W, 200 Dlm, 220 V, innenmattiert

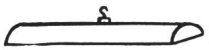

Fig. 6c.
Deckenleuchte, matt weiss
Leuchtstofflampe: HNT 100,
22,5 W, 100 Dlm, 220 V (28 W inkl. Verluste im Vorschaltgerät)

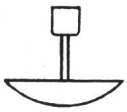

Fig. 6d.
Indirekt-Deckenleuchte
Kleinspannungslampen:
150 W, 225 Dlm, 24 V, innenmattiert
300 W, 510 Dlm, 24 V, hell

Die Versuchspersonen mussten bei Arbeitsplatzbeleuchtung im Lichte der Tischleuchte lesen. Bei Allgemeinbeleuchtung konnten sie lesen, schreiben oder frei im Raume einen Gegenstand betrachten. Als Versuchspersonen wurden Kaufleute, Techniker und weibliche Bureauangestellte herbeigezogen. Jede Versuchsperson hatte sich zu äussern, sobald sie die Spannungsschwankung bemerkte, und dann auch, sobald sie diese als störend empfand und daher zu einer Reklamation beim energieliefernden

[2]) Werdenberg hat plötzliche Spannungsschwankungen mit einer Dauer von einer und mehreren Sekunden eingehend untersucht und die Resultate im Bull. SEV 1935, Nr. 22, S. 609, veröffentlicht.

[3]) K. Simons, Das Flackern des Lichtes in elektrischen Beleuchtungsanlagen, ETZ, Bd. 38, 1917, S. 453, 465 u. 474.

Rob. Keller, Das Flimmern des elektrischen Lichtes. Ursachen und Abhilfsmöglichkeiten, Bull. SEV 1941, Nr. 25, S. 717.

Werk veranlasst gewesen wäre. Bis zu der so festgestellten Grenze der Bemerkbarkeit der Spannungsschwankungen sind keine Reklamationen zu erwarten. Dagegen gibt die Grenze der als störend empfundenen Spannungsschwankungen an, dass bei dieser im praktischen Betrieb die Lichtenergiebezüger sehr wahrscheinlich reklamieren oder sich über den Grund des schlechten, unruhigen Lichtes erkundigen würden.

c) Versuchsanordnung

Die Spannungsschwankungen wurden nicht mit Punkt- und Nahtschweissmaschinen, sondern durch plötzliches Zu- und Abschalten eines verstellbaren ohmschen Belastungswiderstandes erzeugt (Fig. 7). So konnte die Grösse der Spannungsschwankung beliebig gewählt und verändert werden. Um die Versuche möglichst einfach und unabhängig von der jeweiligen Netzspannung durchführen zu können, hat man den verstellbaren Belastungswiderstand R_x (Fig. 7) so geeicht, dass für jede Schieberstellung die beim Einschalten des Widerstandes erzeugte prozentuale Spannungsschwankung direkt abgelesen werden konnte.

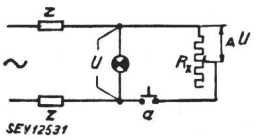

Fig. 7.
Versuchsschaltung

U Nennspannung
ΔU Grösse der Spannungsschwankung in % der Nennspannung
Z Netzimpedanz
R_x Belastungswiderstand
a Schalter

Damit die vom Schalter a (Fig. 7) erzeugten Geräusche die Versuchsperson nicht beeinflussten, wurde dieser Schalter in einem andern Raum untergebracht und ferngesteuert.

d) Versuchsresultate

Tabelle I zeigt, welche prozentualen Spannungsschwankungen, hervorgerufen durch *Punktschweissmaschinen*, bei verschiedenen Lampentypen und -stärken bemerkt und welche als störend empfunden werden.

Die Messwerte zeigen, dass zwischen den einzelnen Versuchspersonen bei sonst gleichen Versuchsbedingungen Unterschiede festzustellen sind. Sie liegen aber in natürlichen Grenzen und sind von verschiedenen Faktoren abhängig, wie Müdigkeit der Augen, Temperament der Versuchsperson, was und wie gelesen oder betrachtet wurde u. dgl. Die Mittelwerte, die in Fig. 8 graphisch dargestellt sind, dürfen als allgemein gültig angesehen werden.

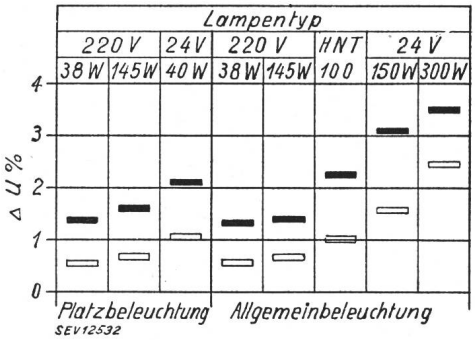

Fig. 8.
Punktschweissmaschinen:
Grenze der bemerkbaren (□) und der zu Reklamationen Anlass gebenden (▬) Spannungsschwankungen in % der Nennspannung

Tabelle I und Fig. 8 zeigen, dass die Grenzen der bemerkbaren und der zu Reklamationen Anlass gebenden Spannungsschwankungen von der Lampenstärke und ganz besonders vom Lampentyp abhängig sind. Die Empfindlichkeit der Metalldrahtlampen ist direkt vom Durchmesser des Leuchtdrahtes, d. h. von dessen Wärmeträgheit, abhängig. Je dünner der Leuchtdraht ist, desto empfindlicher wird die Lampe gegen Spannungsschwankungen. Aus diesem Grund sind die Kleinspannungslampen wegen ihrer grossen Wärmeträgheit am unempfindlichsten. Die Grenzen der bemerkbaren und der zu Reklamationen Anlass gebenden Spannungsschwankungen liegen bei den Leuchtstofflampen zwischen

Bemerkbare und zu Reklamationen Anlass gebende (störende) Spannungsschwankungen in % der Nennspannung, erzeugt durch Punktschweissmaschinen

Tabelle I.

Einschaltdauer pro Punkt		0,5 s															
Punkte pro min		12															
Beleuchtungsart		Platzbeleuchtung						Allgemeinbeleuchtung									
Lampentyp	Spannung	220 V				24 V		220 V				HNT 100		24 V			
	Leistung	38 W		145 W		40 W		38 W		145 W				150 W		300 W	
Spannungsschwankung b = bemerkbar, st = störend		b	st	b	st	b	st	b	st	b	st	b	st	b	st	b	st
Versuchsperson	A	0,50	1,60	0,60	1,6	0,85	2,0	0,50	1,45	0,60	1,3	0,80	2,5	1,5	3,0	2,1	3,5
	B	0,55	1,55	0,75	1,6	1,10	2,4	0,60	1,50	0,65	1,5	1,10	2,0	1,6	3,3	2,5	3,7
	C	0,50	1,50	0,65	1,6	1,00	2,4	0,45	1,30	0,65	1,7	1,00	2,5	1,6	3,2	2,6	3,5
	D	0,50	1,30	0,60	2,0	1,10	2,6	0,50	1,10	0,55	1,4	0,95	2,5	1,5	3,5	2,5	3,8
	E	0,60	1,20	0,70	1,3	1,00	1,5	0,70	1,20	0,75	1,3	1,10	2,0	1,5	3,0	2,7	3,5
	F	0,64	1,20	0,80	1,3	1,10	1,9	0,63	1,10	0,75	1,2	1,10	1,9	1,6	2,6	2,4	3,2
	G	0,50	1,40	0,65	1,8	1,10	2,0	0,65	1,50	0,70	1,4	1,10	2,5	1,7	3,0	2,3	3,3
Mittelwert . . .		0,54	1,39	0,68	1,6	1,03	2,11	0,57	1,31	0,66	1,4	1,02	2,27	1,57	3,08	2,44	3,5

denen der 220-V-Glühlampen und der Kleinspannungslampen. Ein wesentlicher Unterschied zwischen Platz- und Allgemeinbeleuchtung ist nicht festzustellen. Auch haben einige Versuche bei gleichzeitiger Allgemein- und Platzbeleuchtung im Mittel zu den gleichen Resultaten geführt.

Bemerkbare und zu Reklamationen Anlass gebende Spannungsschwankungen in % der Nennspannung, erzeugt durch Nahtschweissmaschinen Tabelle II.

Beleuchtungsart		Platzbeleuchtung				Allgemeinbeleuchtung			
Lampentyp	Spannung	220 V		24 V		HNT 100		24 V	
	Leistung	38 W		40 W				150 W	
Spannungsschwankung b = bemerkbar st = störend		b	st	b	st	b	st	b	st
Schweisspunkte pro s	2	0,35	0,77	0,83	1,53	0,90	1,63	1,20	2,13
	5	0,23	0,45	0,56	1,10	0,48	0,98	0,84	1,85
	8	0,16	0,30	0,45	0,83	0,36	0,70	0,62	1,70
	11	0,17	0,32	0,63	1,00	0,41	0,80	1,16	2,10
	14	0,20	0,42	0,95	1,44	0,55	1,00	2,10	3,30

Tabelle II enthält die aus 6 Einzelmesswerten errechneten Mittelwerte der bemerkbaren und der zu Reklamationen Anlass gebenden prozentualen Spannungsschwankungen, hervorgerufen durch Nahtschweissmaschinen, bei den verschiedenen Beleuchtungsarten, verschiedenen Lampentypen und -stärken und verschieden vielen Schweisspunkten pro Sekunde.

In Fig. 9 sind die Versuchsresultate der Tabelle II graphisch dargestellt.

Aus Tabelle II und Fig. 9 lässt sich folgendes erkennen: Die zur Erzeugung von Lichtschwankungen nötige Grösse der Spannungsschwankung hängt stark von der Frequenz der Schwankungen ab. Sie erreicht einen Mindestwert bei etwa 7...9 Schwankungen pro Sekunde und steigt bei niederen und höheren Frequenzen rasch an. Diese charakteristische Erscheinung ist bei allen untersuchten Lampentypen die gleiche. Bei weniger als 2 Schwankungen pro Sekunde wird nicht mehr ein Flimmern, sondern ein Zucken des Lampenlichtes wahrgenommen.

Da nun in der Praxis vorwiegend mit etwa 8 Punkten pro Sekunde gearbeitet wird, wurden die weitern Untersuchungen mit 8 Spannungsschwankungen pro Sekunde durchgeführt. Die entsprechenden Messresultate sind in Tabelle III zusammengestellt.

Die einzelnen Messwerte schwanken in natürlichen Grenzen, weshalb die Mittelwerte als allgemein gültig betrachtet werden können. Sie sind in Fig. 10 graphisch dargestellt.

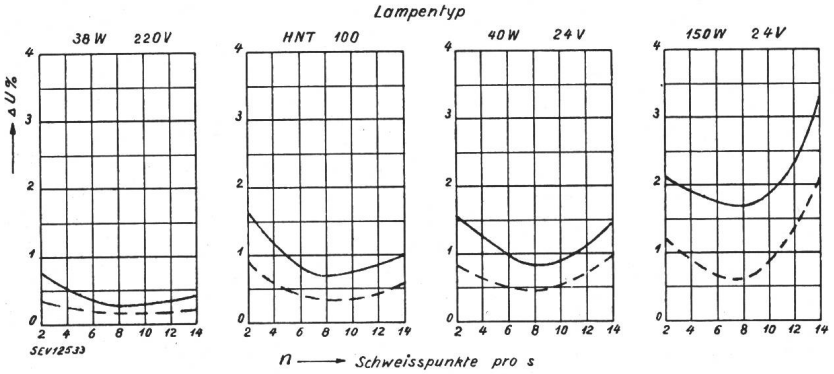

Fig. 9.

Nahtschweissmaschinen:

Grenze der bemerkbaren (----) und der zu Reklamationen Anlass gebenden (——) Spannungsschwankungen (ΔU) in % der Nennspannung in Funktion der Anzahl Schweisspunkte pro Sekunde

n Zahl der Schweisspunkte pro Sekunde

Tabelle III und Fig. 10 zeigen wiederum deutlich, dass die Glühlampen von 220 V am empfindlichsten sind. Ihnen folgen, wie bei den Punktschweissmaschinen, die Leuchtstoff- und dann die Kleinspannungslampen. Bezeichnend ist, dass schon eine Spannungsschwankung von 0,3 % die Licht-

Bemerkbare und zu Reklamationen Anlass gebende Spannungsschwankungen in % der Nennspannung, erzeugt durch Nahtschweissmaschinen bei 8 Schweisspunkten pro Sekunde Tabelle III.

Punkte pro s		8															
Beleuchtungsart		Platzbeleuchtung						Allgemeinbeleuchtung									
Lampentyp	Spannung	220 V				24 V		220 V				HNT 100		24 V			
	Leistung	38 W		145 W		40 W		38 W		145 W				150 W		300 W	
Spannungsschwankung b = bemerkbar, st = störend		b	st	b	st	b	st	b	st	b	st	b	st	b	st	b	st
Versuchsperson	A	0,15	0,33	0,15	0,49	0,45	0,85	0,17	0,38	0,24	0,48	0,35	0,71	0,60	1,8	0,8	1,9
	B	0,16	0,30	0,19	0,52	0,48	0,95	0,22	0,49	0,23	0,49	0,37	0,72	0,58	1,6	1,2	2,2
	C	0,14	0,31	0,19	0,42	0,43	0,85	0,17	0,34	0,20	0,47	0,31	0,68	0,52	1,8	1,1	2,2
	D	0,14	0,30	0,19	0,44	0,45	0,80	0,19	0,33	0,22	0,46	0,38	0,69	0,58	1,7	1,2	2,1
	E	0,15	0,30	0,19	0,47	0,43	0,80	0,23	0,41	0,26	0,51	0,36	0,67	0,64	1,6	1,0	1,8
	F	0,17	0,28	0,17	0,48	0,46	0,85	0,20	0,33	0,26	0,44	0,38	0,66	0,74	1,7	1,3	1,9
	G	0,17	0,28	0,18	0,50	0,43	0,75	0,17	0,33	0,20	0,44	0,37	0,75	0,65	1,8	1,0	1,9
Mittelwert . . .		0,154	0,30	0,18	0,47	0,45	0,83	0,193	0,36	0,23	0,47	0,36	0,70	0,62	1,71	1,1	2,0

qualität einer 40-Dlm-Glühlampe derart vermindert, dass vom energieliefernden Werk mit dem Eingang von Reklamationen gerechnet werden muss.

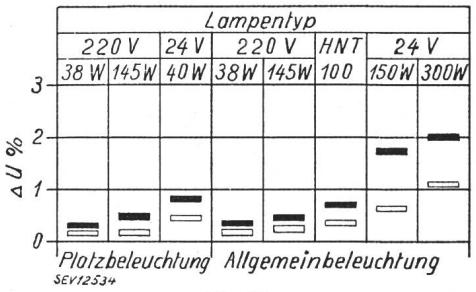

Fig. 10.
Nahtschweissmaschine bei 8 Schweisspunkten pro Sekunde: Grenze der bemerkbaren (▭) und der zu Reklamationen Anlass gebenden (▬) Spannungsschwankungen in % der Nennspannung

e) Schlussfolgerungen

Allgemein kann gesagt werden, dass in Lichtverteilnetzen die Metalldrahtlampen vorherrschen und daher seitens der Lichtenergiebezüger Reklamationen zu erwarten sind, sobald von *Punktschweissmaschinen* erzeugte Spannungsschwankungen mehr als 1,5 % und von *Nahtschweissmaschinen* herrührende mehr als 0,3 % betragen. Auf Grund der so ermittelten zulässigen Spannungsschwankungen ist es möglich, in jedem gegebenen Fall die maximal zulässige Schweißscheinleistung von Widerstands-Schweissmaschinen zu berechnen.

III. Die Möglichkeit des Anschlusses von Widerstands-Schweissmaschinen an die verschiedenen Verteilnetzsysteme

a) Allgemeines

Die Widerstands-Schweissmaschinen sind fast ausschliesslich für Einphasenanschluss gebaut. Sie belasten daher das Dreiphasennetz immer unsymmetrisch und beanspruchen es stärker als ein symmetrischer Drehstromanschluss gleicher Leistung. Nun hängen die Möglichkeit des Anschlusses und die Grösse der zulässigen Scheinleistungsaufnahme der Widerstands-Schweissmaschinen von den maximal erträglichen, durch die Schweissmaschinen hervorgerufenen und auf das Lichtverteilnetz direkt oder indirekt übertragenen Spannungsschwankungen ab. Die Grösse der Spannungsschwankung ist wiederum abhängig vom System des Verteilnetzes, von dessen Ausbau und der Impedanz zwischen Verbraucher und Energiequelle.

Bei Betrachtung der verschiedenen Verteilsysteme (Fig. 11 a...e) lässt sich folgendes erkennen:

Fig. 11 a: Alle Verbraucher sind am gleichen Ortstransformator und Leitungsstrang angeschlossen. Dadurch wirken sich alle Spannungsschwankungen direkt auf die Verbraucher aus.

Fig. 11 b: Vom gemeinsamen Transformator gehen für das allgemeine Lichtnetz und für das Kraftnetz separate Leitungsstränge ab. Die im Kraftnetz erzeugten, auf das Lichtnetz wirkenden Spannungsschwankungen haben nur noch die Grösse der an den Transformator-Sekundärklemmen auftretenden Schwankungen.

Fig. 11 c: Der Ortstransformator besitzt 2 getrennte Niederspannungswicklungen. Die eine Wicklung speist das allgemeine Lichtnetz und die andere das Kraftnetz. Im Kraftnetz erzeugte Spannungsschwankungen beeinflussen die Lichtspannung nur noch induktiv über die Transformatorenwicklungen.

Fig. 11 d: Das allgemeine Lichtnetz und das Kraftnetz werden je von einem separaten Transformator gespiesen. Auf das Lichtnetz übertragen sich bloss die im Hochspannungsnetz hervorgerufenen Spannungsschwankungen.

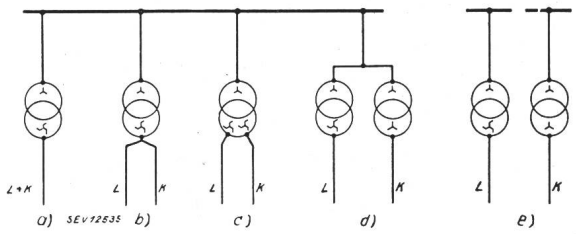

Fig. 11.
Prinzipschema verschiedenartiger Verteilsysteme
$L + K$ Einheitsnetz 3×380/220 V
L Allgemeines Lichtnetz
K Kraftnetz

Fig. 11 e: Sowohl für das allgemeine Lichtverteilnetz als auch für das Kraftnetz besteht ein eigenes Hoch- und Niederspannungsverteilnetz; dies stellt den Idealfall dar.

b) Berechnung der maximal zulässigen Schweissscheinleistungen in Verteilnetzen, Fig. 11 a, b und c

Sofern der prozentuale Spannungsabfall in der Hochspannungszuleitung im Verhältnis zu demjenigen auf der Sekundärseite klein ist (siehe Abschnitt c), kann als Energiequelle die Primärseite des Ortstransformators angenommen werden. Die zur Wirkung kommende Impedanz setzt sich dann zusammen aus derjenigen des Ortstransformators und derjenigen der Zuleitung zum Verbraucher. Der Anschluss von Widerstands-Schweissmaschinen erfolgt in der Regel an die verkettete Spannung. Weil die Glühlampen aber an die Sternspannung angeschlossen sind, darf die Spannungsschwankung zwischen Pol- und Nulleiter die im Abschnitt II e erwähnten Grössen nicht überschreiten. Da beim Schweissen mit Widerstands-Schweissmaschinen die Belastung plötzlich von Null- auf Vollast ändert, ist die Spannungsschwankung gleich dem Spannungsabfall.

Werden die Bezeichnungen

P_s max. Schweißscheinleistung der Widerstands-Schweissmaschine in VA,
I maximaler Schweißstrom, primär, in A,
U Sternspannung in V,
ΔU Spannungsabfall bzw. Spannungsschwankung in V,
R ohmscher Widerstand pro Phase der Zuleitung und des Ortstransformators,
ωL induktiver Widerstand pro Phase der Zuleitung und des Ortstransformators,

ε zulässige Spannungsschwankung in % der Nennspannung U (bei 3 % Spannungsschwankung ist $\varepsilon = 3$),
φ Phasenverschiebung zwischen Strom und verketteter Spannung,
φ' Phasenverschiebung zwischen Strom und Sternspannung,

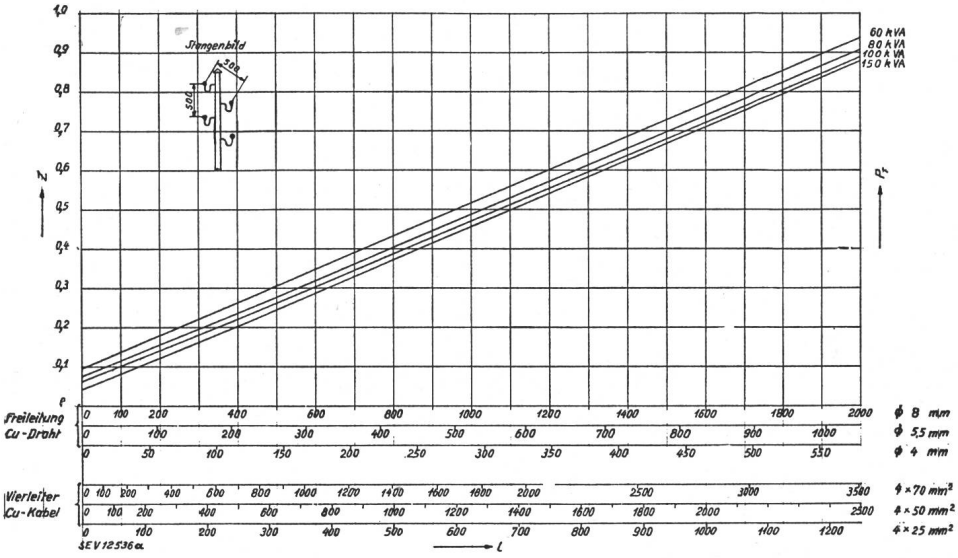

Fig. 12.
z-Werte für Einheitsnetze 3×380/220 V
in Abhängigkeit der Ortstransformatorenscheinleistung P_T, der Stranglänge l in m und der Leiterdimension bei einem Leistungsfaktor $\cos\varphi = 0{,}7$

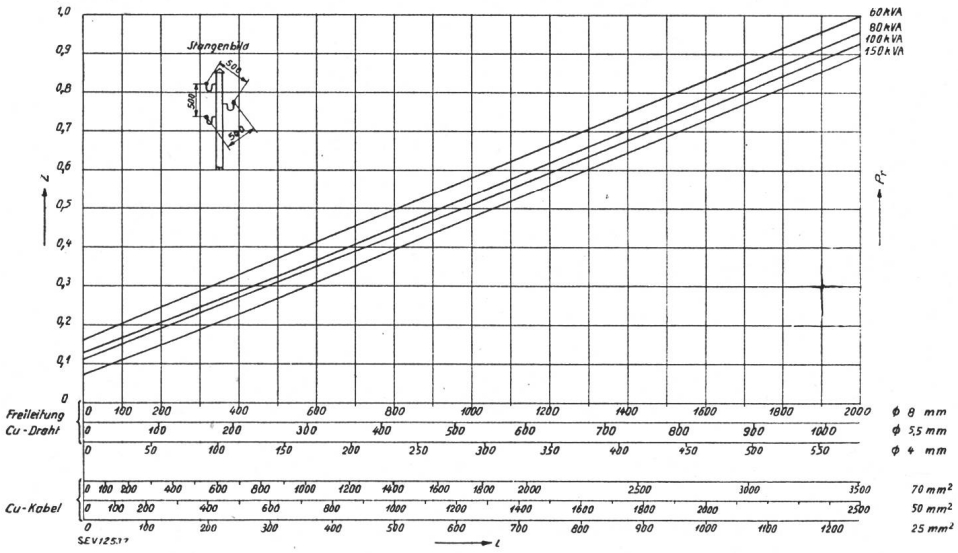

Fig. 13.
z-Werte für 500-V-Verteilnetze
in Abhängigkeit der Ortstransformatorenscheinleistung P_T, der Stranglänge l in m und der Leiterdimension bei einem Leistungsfaktor $\cos\varphi = 0{,}7$

eingeführt, dann ist die maximale Spannungsschwankung

$$\Delta U = I \cdot (R \cos\varphi' + \omega L \sin\varphi'). \qquad (1)$$

Wird der Klammerausdruck

$$R \cos\varphi' + \omega L \sin\varphi' = z$$

gesetzt, dann ist

$$\Delta U = I \cdot z.$$

Wird ferner für

$$\Delta U = \frac{\varepsilon}{100} \cdot U \text{ und } I = \frac{P_s}{\sqrt{3}\,U}$$

eingesetzt, so wird die zulässige Schweißscheinleistung

$$P_s = \frac{\sqrt{3} \cdot \varepsilon\, U^2}{100 \cdot z} \qquad (2)$$

Da beim Schweissen von Eisenblech ein mittlerer Leistungsfaktor $\cos\varphi = 0{,}7$ erreicht wird, lässt sich die Grösse von z in Abhängigkeit der zur Wirkung kommenden Impedanz berechnen. In Fig. 12 sind die Werte für Einheitsnetze und in Fig. 13 diejenigen für 500-V-Verteilnetze graphisch dargestellt.

Aus Fig. 12 oder 13 und der Formel (2) ist es ohne weiteres möglich, die zulässige Schweißscheinleistung von Widerstands-Schweissmaschinen, die zum Schweissen von Eisenblech dienen, zu berechnen.

Wenn die Zuleitung zum Verbraucher aus einer Serieschaltung von Leitern verschiedener Querschnitte besteht und der Leistungsfaktor wie beim Aluminiumschweissen zwischen 0,4...0,6 liegt, wird es nötig, z in der Formel (2) entsprechend aufzuteilen [4]). Die Gleichung (2) geht dann über in

$$P_s = \frac{\sqrt{3} \cdot \varepsilon\, U^2}{100 \cdot (z_T + l \cdot z_8 + l \cdot z_{5,5} + l \cdot z_4 + l \cdot z_{70} + l \cdot z_{50} + l \cdot z_{25})} \qquad (3)$$

wenn

l die Stranglänge in km,
z_T den Wert einer Phase des Ortstransformators,
z_8, $z_{5,5}$, z_4, z_{70}, z_{50}, z_{25} den Wert pro km Stranglänge einer Phase der Zuleitung mit einem Cu-Drahtdurchmesser von 8, 5,5 und 4 mm und einem Cu-Leiterquerschnitt von 70, 50 und 25 mm²

bedeuten.

In Tabelle IV sind die verschiedenen Werte für z aufgeführt.

[4]) Die Aufteilung von z in einzelne Summanden ist theoretisch nicht für alle Widerstandsverhältnisse richtig, aber für die Praxis ist die Genauigkeit genügend.

z-Werte für Niederspannungsverteilnetze

Tabelle IV.

Leistungsfaktor cos φ		0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Cu-Kabel pro Phase und km Stranglänge	70 mm²	0,201	0,216	0,230	0,241	0,248
	50 mm²	0,282	0,303	0,322	0,338	0,348
	25 mm²	0,563	0,606	0,644	0,675	0,697
Freileitung Cu-Draht pro Phase und km Stranglänge	8 mm ⌀	0,472	0,463	0,447	0,423	0,431
	5,5 mm ⌀	0,797	0,811	0,813	0,804	0,776
	4 mm ⌀	1,337	1,391	1,426	1,446	1,435
380-V-Transformator pro Phase	60 kVA	0,108	0,104	0,101	0,095	0,100
	80 kVA	0,079	0,076	0,072	0,075	0,079
	100 kVA	0,060	0,057	0,058	0,061	0,064
	150 kVA	0,041	0,039	0,038	0,041	0,042
500-V-Transformator pro Phase	60 kVA	0,181	0,177	0,171	0,161	0,169
	80 kVA	0,135	0,130	0,122	0,127	0,134
	100 kVA	0,107	0,102	0,106	0,112	0,115
	150 kVA	0,071	0,067	0,066	0,071	0,073

Auf Grund der durchgeführten Versuche ist der unbeschränkte Anschluss von Punkt- oder Nahtschweissmaschinen nur dann zulässig, wenn die auf das Lichtnetz übertragenen Spannungsschwankungen 1,5 oder 0,3 % nicht überschreiten.

Bereits wurde angedeutet, dass die Möglichkeit des Anschlusses stark vom Verteilnetzsystem abhängig ist. In Einheitsnetzen nach Fig. 11 a dürfen die Spannungsschwankungen *beim Verbraucher* den zulässigen Wert nicht überschreiten. Die maximal zulässigen Schweißscheinleistungen von Punkt- und Nahtschweissmaschinen sind in Fig. 14 in Abhängigkeit der Ortstransformatorenscheinleistung, der Leitungslänge und der Leiterdimension eingetragen.

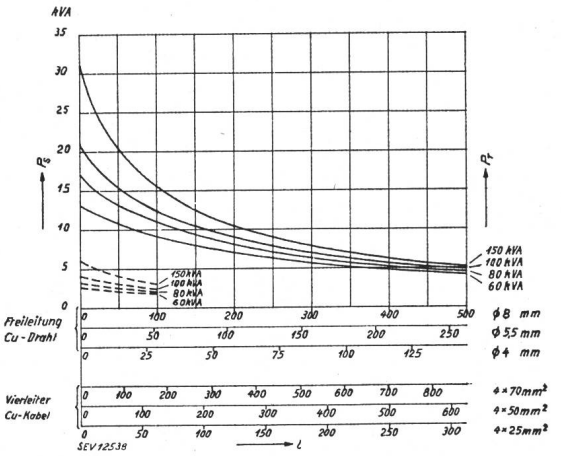

Fig. 14.

Im Einheitsnetz 3×380/220 V maximal zulässige Schweissscheinleistungen P_S der Punktschweissmaschinen (——) bei 1,5 % zulässiger Spannungsschwankung und der Nahtschweissmaschinen (----) bei einer Punktzahl von 8/s und bei 0,3 % zulässiger Spannungsschwankung

in Abhängigkeit der Ortstransformatorenscheinleistung P_T, der Leitungslänge l in m und der Leiterdimension, unter der Annahme, der Leistungsfaktor betrage 0,7

Darnach darf beispielsweise eine Punktschweissmaschine mit 20 kVA primärer Schweißscheinleistung an ein 380/220-V-Netz mit Cu-Draht von 8 mm ⌀ und 150-kVA-Ortstransformatorenscheinleistung in einer Entfernung von maximal 55 m von der Transformatorenstation angeschlossen werden. Eine Nahtschweissmaschine darf am gleichen Netz und an der gleichen Anschlußstelle nur eine Scheinleistung von 4 kVA aufweisen.

Fig. 14 zeigt ferner, dass mit zunehmender Entfernung von der Transformatorenstation die zulässige Schweißscheinleistung rasch kleiner wird, dass eine Vergrösserung der Ortstransformatorenscheinleistung über 150 kVA keine wesentliche Verbesserung der Spannungsverhältnisse bringt und dass der uneingeschränkte Anschluss von Widerstands-Schweissmaschinen nicht zugelassen werden kann.

Wird aber der Anschluss von Widerstands-Schweissmaschinen grösserer Leistungen oder in grösserer Entfernung von der Transformatorenstation verlangt, so muss mit Rücksicht auf die Lichtabonnenten die Energielieferung für die Schweissung während der Hauptbeleuchtungszeiten gesperrt werden. Ausserdem sollten mit Rücksicht auf die andern Verbraucher die Spannungsschwankungen, herrührend von Punktschweissmaschinen, nicht grösser als 5...10 % und solche von Nahtschweissmaschinen nicht grösser als 0,5...1 % sein. Fig. 15 zeigt die zulässigen Schweißscheinleistungen

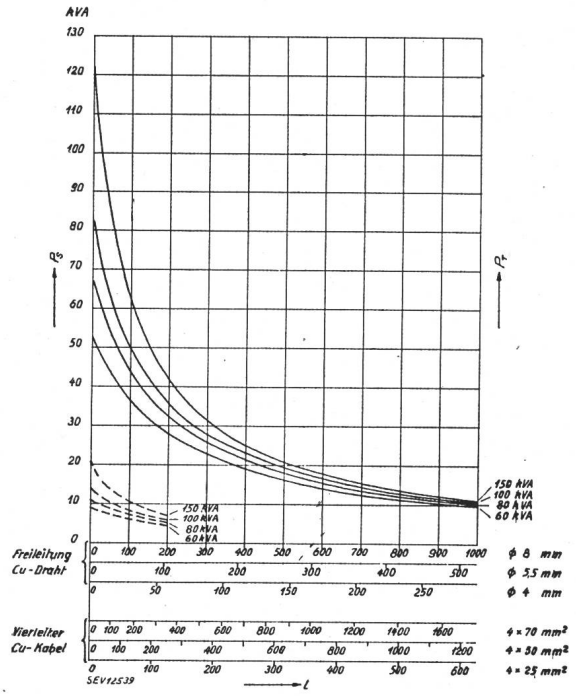

Fig. 15.

Im Einheitsnetz 3×380/220 V maximal zulässige Schweissscheinleistungen P_S der Punktschweissmaschinen (——) bei 6 % zulässiger Spannungsschwankung und der Nahtschweissmaschinen (----) bei einer Punktzahl von 8/s und bei 1 % zulässiger Spannungsschwankung

in Abhängigkeit der Ortstransformatorenscheinleistung P_T, der Leitungslänge l in m und der Leiterdimension, unter der Annahme, der Leistungfaktor betrage 0,7

von Punkt- und Nahtschweissmaschinen, wenn die maximal zulässige Spannungsschwankung 6 bzw. 1 % beträgt.

Fig. 15 zeigt, dass im Einheitsnetz (Fig. 11 a) trotz Zulassung relativ grosser Spannungsschwankungen die zulässigen Schweißscheinleistungen besonders für Nahtschweissmaschinen klein sind.

Besser liegen die Verhältnisse, wenn für den Anschluss von Motoren, Schweissmaschinen u. dgl. ein separater Leitungsstrang vorhanden ist (Fig. 11 b). Die in einem solchen Leitungsnetz maximal zulässigen Schweißscheinleistungen sind in Tabelle V zusammengestellt.

In 3 × 380/220-V-Verteilnetzen mit separatem Kraftnetz, aber gemeinsamem Ortstransformator, maximal zulässige Schweissscheinleistungen in kVA der Punkt- und Nahtschweissmaschinen mit einem Leistungsfaktor cos φ = 0,7
(Siehe Prinzipschema, Fig. 11 b)

Tabelle V.

Schweissmaschinen-Typ	Zulässige Spannungsschwankung ε	Ortstransformatorenscheinleistung in kVA			
		60	80	100	150
		Im Kraftnetz zulässige Schweißscheinleistung in kVA			
Punktschweissmaschine	1,5 %	13	17	21	31
	6 %	53	67	82	122
Nahtschweissmaschine Punkte: 8/s	0,3 %	2,6	3,3	4	6
	1 %	9	11	14	21

Natürlich muss die Energielieferung für Schweissmaschinen auch im Kraftnetz während der Hauptbeleuchtungszeiten gesperrt bleiben, sobald die Spannungsschwankungen an den Sekundärklemmen des gemeinsamen Ortstransformators grösser sind als 1,5 bzw. 0,3 %. Ferner ist der Anschluss von Widerstands-Schweissmaschinen mit den in Tabelle V angegebenen maximalen Schweissscheinleistungen nicht in beliebiger Entfernung von der Transformatorenstation möglich. Im Kraftnetz sollten die von Punktschweissmaschinen erzeugten Spannungsschwankungen beim Verbraucher nicht grösser als 7...15 % und solche von Nahtschweissmaschinen nicht grösser als 5...10 % sein.

Als Beispiel sei unter folgenden Annahmen die grösstmögliche Entfernung von der Transformatorenstation zu bestimmen:

Die Ortstransformatorenscheinleistung betrage 150 kVA, die maximalen Spannungsschwankungen an den Sekundärklemmen des Transformators dürfen 1,5 % nicht überschreiten, der Freileitungsstrang bestehe aus Cu-Draht mit 5,5 mm ⌀ und bei der Anschlußstelle soll die Spannungsschwankung nicht grösser als 10 % sein.

Die maximal zulässige Schweißscheinleistung beträgt nach Tabelle V 31 kVA. Die bekannten Grössen, in Gl. (2) eingesetzt, ergeben für z den Wert

$$z = \frac{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 220^2}{100 \cdot 31\,000} = 0{,}27$$

Im vorliegenden Fall wird z gebildet aus $z_T + l \cdot z_{5,5}$. Daraus folgt:

$$z = z_T + l \cdot z_{5,5}$$

und

$$l = \frac{z - z_T}{z_{5,5}}$$

In diese Gl. werden die entsprechenden Werte aus Tabelle IV eingesetzt und man erhält die maximale Entfernung der Anschlußstelle von der Transformatorenstation

$$l = \frac{0{,}27 - 0{,}041}{0{,}804} = 0{,}285 \text{ km}$$

Das gleiche Resultat wird erreicht, wenn in Fig. 12 vom berechneten Ordinatenwert $z = 0{,}27$ eine Waagrechte gezogen und vom Schnittpunkt mit der Kurve für 150-kVA-Transformatorenscheinleistung eine Senkrechte auf die dem Cu-Drahtdurchmesser von 5,5 mm entsprechende Abszisse gefällt wird. Die maximale Entfernung von der Transformatorenstation kann somit bei bekanntem Werte für z direkt abgelesen werden.

Es bleibt noch zu untersuchen, welche Schweissscheinleistungen am Kraftnetz in Verteilanlagen nach Fig. 11 c zulässig sind. In solchen Verteilnetzen werden normalerweise für das allgemeine Lichtnetz die schweizerische Normalspannung 3 × 380/220 V und für das Kraftnetz die Spannung 3 × 500 V gewählt. Bei unbeschränktem Energiebezug für die Schweissung dürfen an den 380/220-V-Klemmen des gemeinsamen Ortstransformators die Spannungsschwankungen nicht grösser als 1,5 bzw. 0,3 % sein. Damit diese Werte nicht überschritten werden, ist dafür zu sorgen, dass an den 500-V-Klemmen die Spannungsschwankungen nicht mehr als 2,25 bzw. 0,45 % ausmachen. Wird der Energiebezug während der Hauptbeleuchtungszeiten gesperrt, so sollten an den 500-V-Klemmen die von Punktschweissmaschinen erzeugten Spannungsschwankungen nicht grösser als 7...15 % und die von Nahtschweissmaschinen herrührenden nicht grösser als 0,7...1,5 % sein. In Tabelle VI sind die zulässigen Schweißscheinleistungen von Widerstands-Schweissmaschinen zum Anschluss an das 500-V-Kraftnetz zusammengestellt.

Im 500-V-Kraftnetz (Verteilnetzsystem Fig. 11c) maximal zulässige Schweißscheinleistungen in kVA der Punkt- und Nahtschweissmaschinen mit einem Leistungsfaktor cos φ = 0,7
(Siehe Prinzipschema, Fig. 11 c)

Tabelle VI.

Schweissmaschinen-Typ	Zulässige Spannungsschwankung ε	Ortstransformatorenscheinleistung in kVA			
		60	80	100	150
		Im Kraftnetz zulässige Schweißscheinleistung in kVA			
Punktschweissmaschine	2,25 %	20	26	31	46
	9 %	80	100	122	183
Nahtschweissmaschine Punkte: 8/s	0,45 %	4	5	6	9
	1,5 %	13	17	21	31

Die maximal zulässige Entfernung der Anschlussstelle von der Transformatorenstation lässt sich analog dem obigen Beispiel berechnen. Sie kann aber auch in Fig. 13 direkt bestimmt werden.

c) Berechnung der maximal zulässigen Schweissscheinleistungen in Verteilnetzen, Fig. 11 d und e

Bei der Berechnung der maximal zulässigen Schweißscheinleistungen der Widerstands-Schweissmaschinen in Verteilnetzen nach Fig. 11 d ist folgendes zu berücksichtigen:

1. An den Primärklemmen des Lichttransformators dürfen bei unbeschränktem Betrieb der

Punkt- und Nahtschweissmaschinen die Spannungsschwankungen nicht grösser als 1,5 bzw. 0,3 % und bei Sperrung des Energiebezuges während der Hauptbeleuchtungszeiten nicht grösser als 5...10 % bzw. 0,5...1 % sein.

2. Im Kraftnetz sollten mit Rücksicht auf die übrigen Verbraucher keine grössern Spannungsschwankungen als 7...15 % bzw. 5...10 % auftreten.

Vorerst sei angenommen, dass am Kraftnetz angeschlossene Schweissmaschinen im Hochspannungsnetz keine grösseren Spannungsschwankungen als die unter Punkt 1 angegebenen erzeugen. In solchen Fällen lassen sich die im Kraftnetz zulässigen Schweißscheinleistungen gleich berechnen wie in Verteilnetzen nach Fig. 11 a, b und c. Dabei sind im Kraftnetz die unter 2 erwähnten Schwankungen zulässig.

Uebersteigen aber die Spannungsschwankungen im Hochspannungsnetz die zulässige Grösse, so muss als Energiequelle die Primärseite des Hochspannungstransformators im Unterwerk angenommen werden. Die Impedanz setzt sich dann zusammen aus derjenigen des Unterwerktransformators und aus derjenigen der Hochspannungszuleitung zur Ortstransformatorenstation. Der einphasige Schweissmaschinenanschluss belastet auch das Hochspannungsnetz unsymmetrisch. Der grösste Spannungsabfall und damit die grösste Spannungsschwankung pro Phase ist

$$\Delta U = I' \, (R \cos \varphi' + \omega L \sin \varphi') \qquad (4)$$

wo I' die Stromänderung im Hochspannungsnetz bedeutet. Wird die Sternspannung des Hochspannungsnetzes mit U' bezeichnet, so sind

$$\Delta U = \frac{\varepsilon}{100} \cdot U'$$

und

$$I' = \frac{P_s}{\sqrt{3} \cdot U'}$$

Wird ferner der Klammerausdruck

$$R \cos \varphi' + \omega L \sin \varphi' = z'$$

gesetzt, so heisst die Gleichung für die zulässige Schweißscheinleistung

$$P_s = \frac{\sqrt{3} \, \varepsilon \, U'^2}{100 \, z'} \qquad (5)$$

Die Hochspannungszuleitung kann aber aus Freileitungen und Kabelleitungen mit verschieden grossen Leiterquerschnitten und verschiedenem Leitermaterial bestehen. Es ist daher am einfachsten und für die Praxis genügend genau, wenn z' in einzelne Glieder aufgelöst wird. In Tabelle VII sind die entsprechenden Werte zusammengestellt.

Im folgenden soll an einem Beispiel (Fig. 16) untersucht werden, welche maximale Schweissscheinleistung bei einem cos φ = 0,7 noch zulässig

z'-Werte für 8000-V-Verteilnetze

Tabelle VII.

Leistungsfaktor cos φ		0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Dreileiter-Cu-Kabel pro Phase und km Stranglänge	70 mm²	0,201	0,216	0,230	0,241	0,248
	50 mm²	0,282	0,303	0,322	0,338	0,348
Freileitung Cu-Draht pro Phase und km Stranglänge	8 mm ⌀	0,490	0,478	0,458	0,431	0,459
	5,5 mm ⌀	0,815	0,826	0,824	0,813	0,780
Freileitung Aldrey pro Phase und km Stranglänge	95 mm²	0,460	0,452	0,437	0,423	0,450
	70 mm²	0,731	0,738	0,734	0,720	0,688
45 000/8000-V-Transformator pro Phase	1000 kVA	2,943	2,880	2,948	2,970	2,940
	2000 kVA	1,500	1,470	1,500	1,510	1,487
	3000 kVA	1,092	1,080	1,083	1,090	1,070
	4000 kVA	0,883	0,870	0,890	0,880	0,862

ist, damit an den Primärklemmen des Lichttransformators keine grösseren Spannungsschwankungen als 0,3 % auftreten.

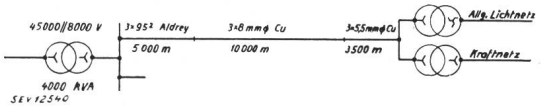

Fig. 16.

Die maximal zulässige Schweißscheinleistung lässt sich mit Gl. (5) berechnen. Die entsprechenden Werte der Tabelle VII und Fig. 16 eingesetzt, ergeben

$$P_s = \frac{\sqrt{3} \cdot 0{,}3 \cdot 4620^2}{100 \cdot (0{,}88 + 5 \cdot 0{,}423 + 10 \cdot 0{,}431 + 3{,}5 \cdot 0{,}813)}$$

$$= 10\,900 \text{ VA.}$$

Bei 1,5 % zulässiger Spannungsschwankung beträgt die maximale Schweißscheinleistung

$$\frac{10\,900 \cdot 1{,}5}{0{,}3} = 54\,500 \text{ VA.}$$

Im Kraftnetz ist demnach bei unbeschränktem Energiebezug der Anschluss einer 10,9-kVA-Nahtschweissmaschine oder einer 54,5-kVA-Punktschweissmaschine möglich. Es zeigt sich, dass die Spannungsschwankungen im Hochspannungsnetz bei grössern Schweißscheinleistungen auch bei der Berechnung der zulässigen Schweißscheinleistungen in Verteilnetzen nach Fig. 11 a, b und c zu berücksichtigen sind. Die im Hochspannungsnetz erzeugten Schwankungen übertragen sich auf die Sekundärspannung der Ortstransformatoren und sind prozentual gleich gross. Sie können daher algebraisch zu den prozentualen sekundärseitigen Spannungsschwankungen addiert werden.

Die zulässigen Schweißscheinleistungen in Verteilnetzen nach Fig. 11 e werden gleich berechnet wie diejenigen in Verteilnetzen nach Fig. 11 a, jedoch mit dem Unterschied, dass die zulässigen Spannungsschwankungen bis zu 15 % betragen dürfen.

Die vorstehenden Berechnungsarten der maximalen Schweißscheinleistungen wurden lediglich unter Berücksichtigung der zulässigen Spannungsschwankungen aufgestellt. Der Betriebsleiter des Elektrizitätswerkes wird aber die Möglichkeit des Anschlusses der Widerstands-Schweissmaschinen auch noch hinsichtlich der Belastbarkeit der Verteilnetze prüfen müssen.

d) Hilfsmittel zur Erhöhung der zulässigen Schweißscheinleistung

Die Widerstands-Schweissmaschinen werden in der metallverarbeitenden Industrie mehr und mehr zur unentbehrlichen Arbeitsmaschine. Gleichzeitig steigt das Bedürfnis nach leistungsfähigen Maschinen. Es sind daher Mittel und Wege zu suchen, die ermöglichen, diese Maschinen *ohne unvernünftig* grosse Netz- und Transformatorenverstärkungen anzuschliessen. Aus Gl. (1) und (4) geht deutlich hervor, dass die Spannungsschwankung direkt von der Grösse der Stromänderung und damit bei Widerstands-Schweissmaschinen vom primären Schweißstrom abhängig ist.

Es wird vielfach die Ansicht vertreten, dass der einphasige Anschluss durch Verwendung eines sogenannten Spannungsteilers auf alle drei Phasen verteilt werden könne und dass sich daraus günstigere Verhältnisse in bezug auf Spannungsabfall und Netzbelastung ergeben. Die Nutzlosigkeit des dreiphasigen Anschlusses eines Einphasentransformators mittels eines Spannungsteilers wurde in der Fachliteratur schon genügend bewiesen [5]).

Beträgt der Leistungsfaktor beim Schweissen weniger als 0,6, was bei Maschinen mit grosser Armausladung und beim Al-Schweissen der Fall ist, kann durch den Einbau von Kondensatoren die zulässige Schweissleistung erhöht werden. Dabei ist es aber wichtig, wie der Kondensator angeschlossen wird.

Fig. 17 zeigt deutlich, dass der Kondensator die Stromänderung nur dann reduziert, wenn er gleichzeitig mit dem Schweisstransformator ein- und ausgeschaltet wird, s. Fig. 17 c [6]). Die Stromänderung ΔI erreicht ein Minimum, wenn der Strom I in Phase mit der Spannung U ist. Für diesen Idealfall müsste aber die Kondensatorleistung unvernünftig gross sein und die Anschaffungskosten der Kondensatorbatterie würden in einem Missverhältnis zu denen der Schweissmaschine stehen. In der Praxis wird man eine Kondensatorleistung wählen, die so gross ist, dass bei der meist benützten Schweißstromstufe ein cos φ von 0,7...0,8 erreicht wird.

Genügt diese einfache Lösung nicht und ist eine Verstärkung der Energielieferungsanlagen aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht möglich, so muss die Stromänderung mit andern Hilfsmitteln auf ein zulässiges Mass herabgesetzt werden. In der SBZ, Bd. 122 (1943), S. 241, berichtet W. Heiz von Schweissmaschinen, die nach dem kapazitiven und induktiven Energieaufladeprinzip ar-

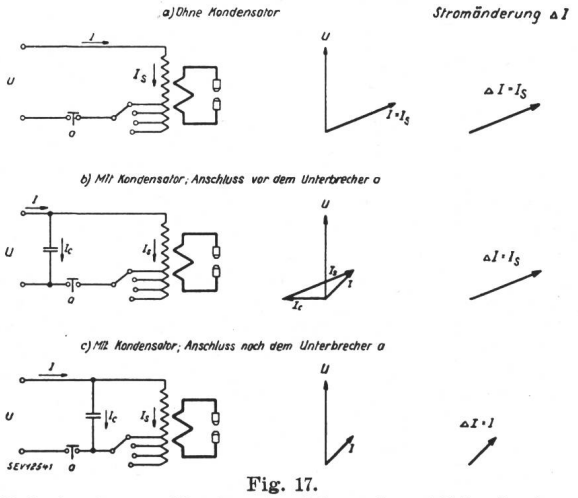

Fig. 17.
Prinzipschemas für den Anschluss einer Widerstands-Schweissmaschine

I	Leitungsstrom	ΔI	Stromänderung
I_c	Kondensatorstrom	U	Netzspannung
I_s	Schweissmaschinenstrom, primär	a	Unterbrecher

beiten. Die Leistungsaufnahme dieser Maschinen ist bei gleicher Schweißscheinleistung wesentlich kleiner als diejenige einer Einphasen-Wechselstrommaschine. Ausserdem belasten solche Maschinen das Drehstromnetz symmetrisch. Zum Beispiel entnimmt die nach dem elektromagnetischen Energieaufladungsprinzip entwickelte Maschine von Sciaky dem Netz eine Leistung von 40 kW, während bei einem Schweißstrom von 50 000 A die momentane Schweißscheinleistung rund 400 kVA beträgt.

Die Schweissmaschinenfabrikanten werden daher vor die Aufgabe gestellt, grosse Widerstands-Schweissmaschinen so zu bauen, dass sie ohne störende Rückwirkungen an einigermassen leistungsfähige Verteilnetze angeschlossen werden können.

IV. Energieverbrauch und Tarifierung der Widerstands-Schweissmaschinen

Aus Fig. 1...5 ist der für Widerstands-Schweissmaschinen charakteristische Belastungsverlauf ersichtlich. Der Energiebezug setzt sich zusammen aus 0,02...3 s dauernden sogenannten Belastungsstössen. Je nach dem Maschinentyp beträgt die Netzbelastung bis zu einigen hundert kVA. Mit verschiedenen Messungen wurde untersucht, ob die kWh-Zähler den äusserst kurzzeitigen Energieverbrauch überhaupt registrieren. Aus den Messwerten geht hervor, dass der Energieverbrauch richtig gemessen wird.

Nun besteht aber zwischen der vom Elektrizitätswerk zur Verfügung zu stellenden Leistung und dem Energieverbrauch ein sehr ungünstiges Verhältnis. Bei Punktschweissmaschinen kann je nach der Grösse des Betriebes nur mit einem jährlichen

[5]) Bull. SEV 1933, Nr. 1, S. 1...9; Das elektr. Lichtbogen-Schweissen mit Wechselstrom von Netzfrequenz. Von H. Hafner.

Bull. SEV 1944, Nr. 12, S. 309; Die einphasige Belastung des Drehstromnetzes und ihr statischer Ausgleich. Von H. Hafner.

[6]) Andere Möglichkeit des Anschlusses s. A. Balmas: Le branchement des machines à souder par résistance; Bull. SEV 1944, Nr. 10, S. 273...279.

Energieverbrauch von 2...15 kWh pro kVA mittlerer Schweißscheinleistung gerechnet werden. Zum Vergleich sei erwähnt, dass Lichtbogen-Schweissmaschinen in ähnlichen Betrieben 30...100 kWh pro Jahr und kVA mittlerer Schweißscheinleistung konsumieren. Weil der Energieverbrauch im Verhältnis zur bezogenen Leistung sehr klein ist und ausserdem der Schweissmaschinenbetrieb die Netze ausserordentlich ungünstig belastet, sehen sich die Elektrizitätswerke genötigt, nicht nur den Energieverbrauch, sondern auch eine Grundgebühr zu verrechnen. Ueber die Grundlage, auf der diese zu berechnen ist, bestehen zurzeit noch verschiedene Meinungen. Dazu kommt noch, dass für die Angabe der Leistungsaufnahme solcher Maschinen keine Normen bestehen und daher jeder Fabrikant die Maschinenleistung unter andern Voraussetzungen und Annahmen deklariert. Solange für die Leistungsbezeichnung keine einheitlichen Regeln aufgestellt sind, muss die Leistungsaufnahme jeder angeschlossenen Maschine durch eine Strom- und Spannungsmessung ermittelt werden. Die Messung der Leistungsaufnahme an Ort und Stelle hat den grossen Vorteil, dass jeder Schweissmaschinenbesitzer gleich behandelt wird. Die EKZ bestimmen den für die Grundgebühr massgebenden Anschlusswert folgendermassen:

Auf der Netzseite der Schweissmaschine wird bei höchster Schweißstromstufe und angeschlossenem, allfällig vorhandenem Kondensator Strom und Spannung gemessen. Während der Messung wird mit Punkt- und Nahtschweissmaschinen bei kleinster Fensteröffnung [7]) das dünnste noch einwandfrei zu schweissende Blech und mit Stumpfschweissmaschinen das grösstmögliche Werkstück geschweisst. Das Produkt aus den derart gemessenen Werten stellt die maximal aufgenommene Scheinleistung in VA dar und wird als Anschlusswert bezeichnet. Der zur Verrechnung gelangende Grundpreis beträgt pro kVA Anschlusswert und Jahr bei Abgabe der Energie in Niederspannung und Anschluss der Maschine hinter einem normalen kWh-Zähler 16 Fr., bei Anschluss hinter einem kWh-Zähler mit Maximumregistrierung 10 Fr., bei Abgabe in Hochspannung hinter einer Hochspannungszählerei 5 Fr. Die EKZ hoffen damit eine Regelung getroffen zu haben, die sowohl vom Maschinenbesitzer als auch vom Elektrizitätswerk als tragbar betrachtet werden kann.

[7]) P. Vögeli: Die Anschlussleistung von Punktschweissmaschinen für Aluminium und seine Legierungen; SBZ Bd. 121 (1943), Nr. 1, S. 8...10.

Adresse des Autors:
H. Altherr, Stellvertreter des Installationschefs der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, Zürich.

Energie

536.72

Der Rektor der ETH, Prof. Dr. *F. Tank*, hielt am ETH-Tag vom 18. 11. 44 im Auditorium Maximum der ETH eine Rede über «Energie», die sehr grosse Beachtung fand. Sie wurde im Rahmen der kultur- und staatswissenschaftlichen Schriften im Polygraphischen Verlag A.-G., Zürich, 1945 [1]), herausgegeben. Mit freundlicher Erlaubnis des Autors und des Verlages geben wir einiges, z. T. im Wortlaut, z. T. ganz kurz referierend, aus dieser Rede wieder:

«Die Chronik berichtet: Im Jahre 1715 zeigte ein Mann mit Namen Orffyreus in Merseburg eine Maschine, welche die Eigenschaft besass, wochenlang von selbst in Bewegung zu bleiben. Viel Volkes wanderte herbei, das Wunder zu beschauen. Orffyreus nannte seine Maschine ‚Triumphans Perpetuum mobile Orffyreanum' und brachte an ihr eine Büchse an zur Sammlung von Geldbeiträgen für wohltätige Zwecke. Der Landgraf von Hessen-Kassel, ein eifriger Förderer der Wissenschaften, erteilte ihm den Titel eines Kommerzienrates und berief ihn an seinen Hof. Da behauptete eine Dienstmagd, sie hätte helfen müssen, das Perpetuum mobile von einem Nebenraume aus anzutreiben. Sie schwor ihre Aussage zwar wieder ab, und viele Bewunderer liessen sich in ihrem Glauben an Orffyreus nicht irremachen. Aber sein Ruhm war dahin, und er starb einige Zeit später verlassen und vergessen.»

60 Jahre später beschloss die Académie des Sciences in Paris, keine Vorschläge eines Perpetuum mobile mehr zur Prüfung entgegenzunehmen mit der kurzen und bündigen Begründung: «Le mouvement perpétuel est absolument impossible.»

Die Entwicklung des Energiebegriffes seit frühester Zeit ist etwa durch folgende Daten gekennzeichnet:

Ein halbes Jahrtausend vor Beginn unserer Zeitrechnung lehrte Demokrit: «Aus nichts wird nichts. Nichts, was ist, kann vernichtet werden. Alle Veränderung ist nur Verbindung und Trennung von Teilen. Nichts geschieht zufällig, sondern alles aus einem Grunde und mit Notwendigkeit. Nichts existiert, als der leere Raum und die Atome; alles andere ist Meinung. Die Atome sind ein Letztes und Unteilbares und ihre Bewegung ist ewig.» Descartes (1596—1650) entwickelte eine Lehre von der Unzerstörbarkeit der Bewegung, und er definierte als Bewegungsmenge das Produkt aus der Masse und der Geschwindigkeit eines Körpers (heute nennt man das Impuls). Leibniz definierte die lebendige Kraft als das halbe Produkt aus der Masse und dem Quadrat der Geschwindigkeit eines Körpers und er schreibt: «Es ist nun sicher zweckmässig anzunehmen, dass sich stets der gleiche Gesamtbetrag an Bewegungsfähigkeit in der Natur erhält und sich weder vermehrt noch vermindert, denn wir sehen ja bei keinem Körper Kraft verlorengehen, ohne dass sie sich auf einen andern überträgt; daher kann auch niemals eine immerwährende mechanische Bewegung von selbst zustande kommen, denn keine Maschine, geschweige denn die gesamte Welt, kann ihre Kraft steigern ohne neuen Antrieb von aussen her.» Daniel Bernoulli liess 1748 eine Abhandlung erscheinen «Sur le principe de la conservation des forces vives» und er rechnete aus, dass die in einem Kubikfuss Schwarzpulver schlummernde Energie ausreichend wäre, um ein Gewicht von nahezu 200 Millionen Pfund einen Fuss hoch zu heben, und in seiner Hydrodynamik lehrte er: «Je stärker die Wärme ist, um so häufiger ist unter allen Umständen die Bewegung der Teilchen.» 1765 erfand James Watt die doppelt wirkende Dampfmaschine mit Selbststeuerung, Schwungrad und Kurbel. Auch Goethe befasste sich mit energetischen Betrachtungen.

Den zweiten Teil der Rede lassen wir im Wortlaut folgen:

«Aber dann erfolgte der Durchbruch mit Macht. Er bedeutet, wenigstens in seinen Auswirkungen, das grösste wissenschaftliche Ereignis des 19. Jahrhunderts. An ihn knüpfen sich vor allem drei Namen: Julius Robert Mayer, James Prescott Joule und Hermann von Helmholtz. Ein Vierter, dem ebenfalls ein Anteil an der Krone gebührt hätte, war zu früh verblichen: Sadi Carnot.

Im Jahre 1840 unternimmt der 26jährige Arzt Robert Mayer aus Heilbronn eine Reise nach Ost-Indien. Er ist ein temperamentvoller Feuerkopf, der sich für alles brennend interessiert, was in der Natur vorgeht. Bei Aderlassen auf Java glaubt er zu beobachten, dass das venöse Blut heller sei als in nördlichen Breitegraden. Blitzartig durchzucken

[1]) 20 Seiten, Preis Fr. 1.50. Wir empfehlen diese Schrift unseren Lesern lebhaft.