

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 36 (1945)

Heft: 12

Artikel: Le branchement de machines à souder par résistance

Autor: Altherr, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1056479>

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: 08.02.2026

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

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

BULLETIN

RÉDACTION:

Secrétariat de l'Association Suisse des Electriciens
Zurich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:

Zurich, Stauffacherquai 36 • Téléphone 25 17 42
Chèques postaux VIII 8481

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXXVI^e Année

N° 12

Mercredi, 13 Juin 1945

Le branchement de machines à souder par résistance

Conférence donnée à l'assemblée de discussion de l'ASE du 24 mai 1945, à Zurich
par H. Altherr, Zurich

621.791.736

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.

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 hervorrrende mehr als 0,3 % betragen. Auf Grund dieser Resultate wird die Möglichkeit des Anschlusses von Widerstandsschweissmaschinen an die verschiedenen Verteilsysteme untersucht. Schliesslich werden Fragen des Energielieferungstarifs für Widerstandsschweissmaschinen behandelt.

(Traduction.)

I. Introduction

Les machines à souder par résistance de construction moderne permettent de souder des tôles et des profilés en fer, acier ou aluminium d'une manière extrêmement économique, propre, solide et rapide. Contrairement à la soudure à l'arc, la soudure par résistance n'exige aucune matière d'apport. En raison de ces avantages manifestes, ce système de soudure est de plus en plus utilisé dans l'industrie des métaux et, depuis quelque temps, dans l'artisanat.

La puissance apparente absorbée par ces soudeuses peut atteindre quelques centaines de kVA, mais n'entre toutefois en jeu que durant de très brefs instants et de façon très irrégulière. Or, chaque enclenchement et déclenchement de machines ou d'appareils consommant du courant provoque dans le réseau de distribution des variations de tension, qui dépendent de l'importance de l'à-coup de courant et de l'aménagement du réseau. De subtiles variations de tension de brève durée, se succédant à plusieurs reprises, portent préjudice à la qualité de l'éclairage électrique. Des recherches ont déjà été faites et publiées¹⁾ au sujet de la grandeur et de la nature des variations de tension provoquées par des machines à souder à l'arc et de la limite des variations admissibles. On n'a par contre que fort peu de renseignements sur les variations admissibles dans le cas des machines à souder par points et à la molette,

en tenant compte des lampes à incandescence, à luminescence et à faible tension actuellement en usage.

L'établissement de prescriptions de branchement exigeant la connaissance des variations de tension admissibles, les Entreprises électriques du Canton de Zurich ont procédé dans ce but à des études détaillées.

II. Détermination des variations de tension admissibles

a) Mesures de l'intensité du courant et de la tension de machines à souder

Pour se rendre compte de la nature des courants absorbés par les machines à souder par points et à

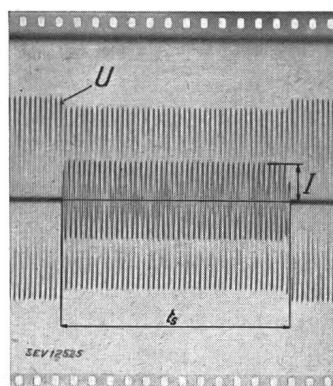


Fig. 1.
Machine à souder par points
Matière à souder:
Tôle de fer
 t_s : Durée de soudure 0,89 s
 U : Tension aux bornes primaires
 I : Courant de soudure primaire

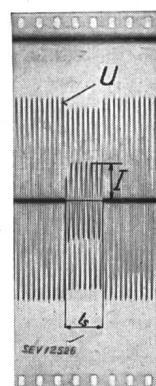


Fig. 2.
Machine à souder par points
Matière à souder:
Tôle d'aluminium
 t_s : Durée de soudure 0,15 s
 U : Tension aux bornes primaires
 I : Courant de soudure primaire

¹⁾ W. Werdenberg, Variations admissibles de la tension dans les réseaux d'éclairage, Bull. ASE 1935, No. 22, p. 609; Le raccordement des machines à souder à l'arc électrique, Bull. ASE 1935, No. 24, p. 677.

la molette, ainsi que des variations de tension qui en résultent, des mesures oscillographiques furent exécutées dans différents réseaux auxquels des machines à souder sont branchées. Les figures 1 à 3 reproduisent quelques-uns des oscillogrammes ainsi obtenus.

La figure 1 indique le genre de la modification du courant et la variation de tension qu'une *machine à souder par points* provoque lors de la soudure de tôle de fer, tandis que la figure 2 représente les variations en cas de soudure de tôle d'aluminium. La figure 3 montre la variation de l'intensité du courant et de la tension provoquées par une *machine à souder à la molette*, lors de la soudure d'une tôle de fer.

On constate que, dans le cas de machines à souder par résistance, les variations du courant et de la tension

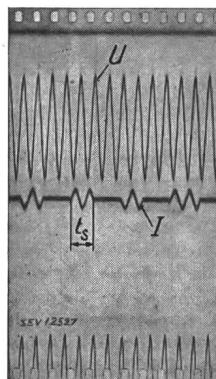


Fig. 3.
Machine à souder à la molette
Matière à souder: Tôle de fer
U Tension aux bornes primaires
I Courant de soudure primaire
 t_s Durée de soudure 0,03 s

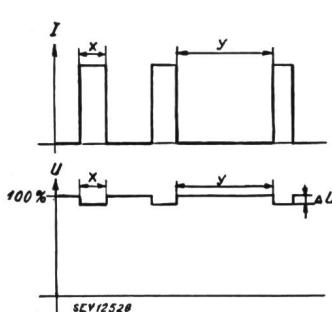


Fig. 4.
Allure générale des courbes du courant (fig. 4a) et de la tension (fig. 4b) des machines à souder par points

a x Durée d'enclenchement 0,05 à 3 s
y Durée de déclenchement, selon l'allure dans le travail, 0,3 à plusieurs secondes
U Tension aux bornes primaires
 ΔU Grandeur de la variation de la tension, en pour cent
I Courant de soudure primaire

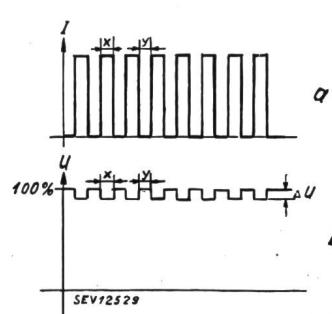


Fig. 5.
Allure générale des courbes du courant (fig. 5a) et de la tension (fig. 5b) des machines à souder à la molette

b x Durée d'enclenchement 0,02 à 0,15 s
y Durée de déclenchement 0,02 à 0,15 s
U Tension aux bornes primaires
 ΔU Grandeur de la variation de la tension, en pour cent
I Courant de soudure primaire

se produisent brusquement, mais que leur fréquence et la durée d'enclenchement et de déclenchement diffèrent. Les figures 4 et 5 montrent quelle est l'allure générale des courbes du courant et de la tension des machines à souder par points et à la molette.

b) Exécution des essais

Des essais préliminaires ont montré que les variations provoquées par des *machines à souder par points* occasionnent un clignotement de la lumière

à incandescence et qu'une durée d'enclenchement (x) entre 0,05 et 1 s ne gêne guère l'éclairage²⁾. Les essais furent exécutés avec une durée d'enclenchement de 0,5 s et une fréquence de 12 points de soudure par minute.

D'autres essais préliminaires montrèrent que les variations de tension provoquées par des *machines à souder à la molette* occasionnent un scintillement de la lumière à incandescence. Comme l'on savait déjà³⁾ que le nombre des points de soudure et par conséquent les variations de tension par seconde, gênaient l'éclairage à partir d'une certaine limite, les essais furent entrepris à raison de 2, 5, 8, 11 et 14 points de soudure par seconde. Les durées x et y (figure 5) furent choisies de valeur égale, car en adoptant d'autres rapports aucune différence notable n'a pu être constatée.

Etant donné qu'actuellement on n'utilise non seulement des lampes à incandescence, mais aussi des lampes luminescentes et des lampes à faible tension, l'effet des variations de tension fut étudié en détail avec chacun de ces trois types de lampes, ceci aussi bien pour l'éclairage localisé que pour l'éclairage général et avec des lampes de différentes puissances. Les figures 6a, b, c et d montrent les appareils d'éclairage utilisés et les légendes indiquent les lampes installées.

Fig. 6a.

Lampe de table

Lampes à incandescence:
38 W, 40 Dlm, 220 V, dépolie intérieurement
145 W, 200 Dlm, 220 V, dépolie intérieurement
Lampe à faible tension:
40 W, 48 Dlm, 24 V, dépolie intérieurement



Fig. 6b.

Plafonnier à globe en verre opale

Lampes à incandescence:
38 W, 40 Dlm, 220 V, dépolie intérieurement
145 W, 200 Dlm, 220 V, dépolie intérieurement



Fig. 6c.

Plafonnier blanc mat

Lampe luminescente: HNT 100,
22,5 W, 100 Dlm, 220 V (28 W, y compris les pertes dans l'appareil auxiliaire)

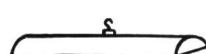


Fig. 6d.

Plafonnier à éclairage indirect

Lampes à faible tension:
150 W, 225 Dlm, 24 V, dépolie intérieurement
300 W, 510 Dlm, 24 V, verre clair



Hors de l'éclairage localisé les observateurs devaient lire à la lumière de la lampe de table. Dans le cas d'éclairage général ceux-ci pouvaient lire, écrire ou observer un objet du local. Ces personnes étaient des commerçants, des techniciens et des employées

²⁾ M. Werdenberg a examiné en détail de brusques variations de tension d'une durée d'une et de plusieurs secondes et publié les résultats de ses observations dans le Bull. ASE 1935, No. 22, p. 609.

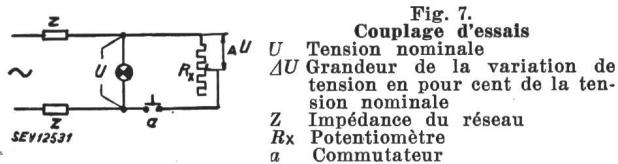
³⁾ K. Simons, Das Flackern des Lichtes in elektrischen Beleuchtungsanlagen, ETZ, t. 38, 1917, p. 453, 465 et 474.

Rob. Keller, Das Flimmern des elektrischen Lichtes, Ursachen und Abhilfsmöglichkeiten, Bull. ASE 1941, No. 25, p. 717.

de bureau. Chacune d'elles devait signaler toute variation de tension perçue et indiquer le moment à partir duquel cette variation devenait gênante et aurait justifié une réclamation auprès du service de l'électricité. Jusqu'à la limite ainsi déterminée des variations de tension observables, il n'y a pas lieu de s'attendre à des réclamations. Mais, à partir de cette limite, les abonnés au réseau d'éclairage réclameront certainement ou demanderont tout au moins des explications sur la raison de la médiocrité et de l'instabilité de l'éclairage.

c) Disposition des essais

Les variations de tension n'ont pas été produites par des machines à souder par points ou à la molette, mais par enclenchement et déclenchement subits d'un potentiomètre ohmique (figure 7). Cette disposition permettait de choisir et de modifier à volonté la grandeur de la variation de tension. Afin de pouvoir exécuter les essais d'une manière aussi simple que possible et indépendamment de la tension du réseau, le potentiomètre R_x avait été étaillé de façon qu'à chaque position du curseur il était possible de lire directement en pour cent la variation de tension provoquée par l'enclenchement de la résistance.



Pour que le bruit du commutateur a ne trouble pas l'observateur, ce commutateur se trouvait dans un autre local et était commandé à distance.

d) Résultats des mesures

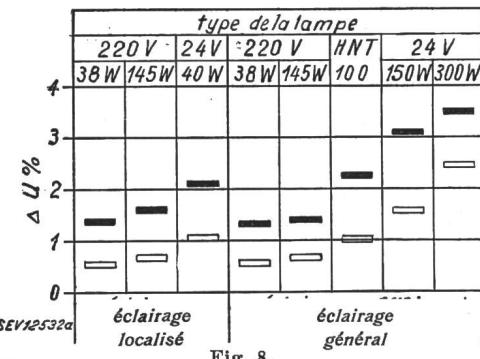
Le tableau I indique quelles sont les variations de tension en pour cent provoquées par des *machines à souder par points*, observées avec différents types de lampes de différentes puissances, ainsi que celles qui furent reconnues gênantes.

Variations de tension observables et variations (génantes) donnant lieu à des réclamations, en pour cent de la tension nominale, provoquées par des machines à souder par points

Tableau I.

Durée d'enclenchement par point		0,5 s											
		12											
Points par minute		Éclairage localisé						Éclairage général					
		Tension		220 V		24 V		220 V		HNT 100		24 V	
Type de lampes	Puissance	38 W	145 W	40 W		38 W	145 W	obs.	gén.	obs.	gén.	obs.	gén.
Observateur	Variation de tension obs. = observable, gén. = gênante	obs.	gén.	obs.	gén.	obs.	gén.	obs.	gén.	obs.	gén.	obs.	gén.
	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
	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
	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
	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
	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
	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
	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
Moyenne		0,54	1,39	0,68	1,6	1,03	2,11	0,57	1,31	0,66	1,4	1,02	2,27

Les valeurs indiquées permettent de constater des différences d'appréciation selon les observateurs, les conditions d'essai étant par ailleurs exactement les mêmes. Ces différences sont cependant normales et dépendent de plusieurs facteurs, tels que la fatigue visuelle, le tempérament de la personne, le livre que celle-ci lit ou l'objet qu'elle observe, etc. Les moyennes reproduites graphiquement sur la figure 8 peuvent être considérées comme étant valables d'une manière générale.



Machines à souder par points:
Limites des variations de tension perceptibles (□) et de celles donnant lieu à des réclamations (■) en pour cent de la tension nominale

Le tableau I et la figure 8 montrent que les limites des variations de tension perceptibles et de celles donnant lieu à des réclamations dépendent de la puissance des lampes et surtout du type de celles-ci. La sensibilité des lampes à incandescence dépend directement du diamètre du filament, c'est-à-dire de son inertie calorifique. Plus ce filament est mince, plus la lampe est sensible aux variations de la tension. C'est pourquoi les lampes à faible tension sont les moins sensibles, étant donné leur grande inertie calorifique. En ce qui concerne les lampes luminescentes, les limites des variations de tension observables et de celles donnant lieu à des réclamations se situent entre celles des lampes à incandescence de 220 V et celles des lampes à faible tension.

On ne constate pas de différence marquée entre l'éclairage localisé et l'éclairage général. Quelques essais avec éclairage localisé et général simultané ont fourni des résultats analogues.

Variations de tension observables et variations (génantes) donnant lieu à des réclamations, en pour cent de la tension nominale, provoquées par des machines à souder à la molette

Tableau II.

Genre d'éclairage	Éclairage localisé				Éclairage général			
	Type de lampes	Tension		HNT 100		220 V		24 V
		Puissance		40 W	150 W	150 W	38 W	40 W
Points de soudure par s	obs. = observable gén. = générante	obs.	gén.	obs.	gén.	obs.	gén.	obs.
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

Le tableau II renferme les moyennes tirées de 6 mesures individuelles, des variations de tension en pour cent observables et de celles donnant lieu à des réclamations, provoquées par des machines à souder

Le tableau II et la figure 9 permettent les constatations suivantes: La grandeur de la variation de tension capable de produire des fluctuations de lumière dépend beaucoup de la fréquence même de ces variations. Elle atteint un minimum aux environs de 7 à 9 variations par seconde; avec fréquences plus faibles ou plus élevées, elle monte rapidement. Cette caractéristique est la même pour tous les types de lampes examinés. Lorsqu'il se produit moins de 2 variations par seconde, la lumière ne subit plus un scintillement, mais des clignotements.

Les machines à souder fonctionnant le plus souvent à raison de 8 points par seconde, une nouvelle série d'essais a été exécutée avec 8 variations de tension par seconde. Les résultats de ces mesures sont consignés au tableau III.

Les écarts entre les valeurs mesurées demeurent raisonnables, de sorte que les moyennes obtenues peuvent être considérées comme étant valables d'une façon générale. Elles sont représentées graphiquement à la figure 10.

Le tableau III et la figure 10 montrent également que ce sont les lampes à incandescence de 220 V qui sont les plus sensibles aux variations de tension.

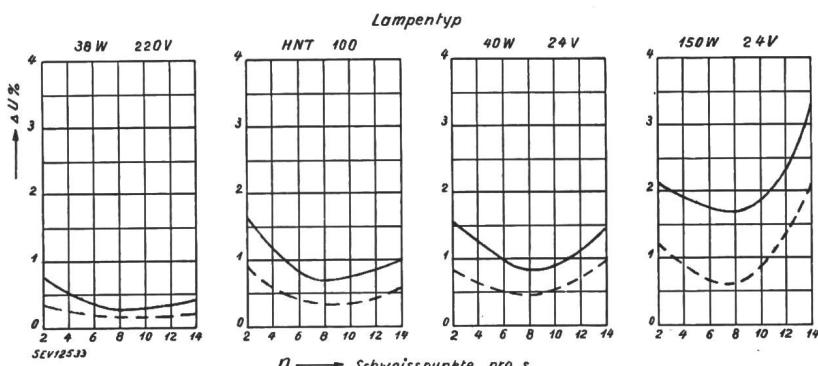


Fig. 9.

Machines à souder à la molette:

Limite des variations de tension ΔU observables (----) et de celles donnant lieu à des réclamations (—) en pour cent de la tension nominale, en fonction du nombre de points de soudure par seconde

n Nombre de points de soudure par seconde

à la molette, pour différents types et différentes puissances de lampes, avec un nombre variable de points de soudure par seconde.

Les résultats de ces essais consignés au tableau II sont reproduits graphiquement à la figure 9.

Viennent ensuite, comme dans le cas des machines à souder par points, les lampes luminescentes, puis les lampes à faible tension. Une variation de tension de 0,3% réduit déjà à tel point la qualité de la lumière d'une lampe à incandescence de 40 Dlm,

Variations de tension observables et variations donnant lieu à des réclamations, en pour cent de la tension nominale, provoquées par des machines à souder à la molette avec 8 points de soudure par seconde

Tableau III.

Points par s	Genre d'éclairage	8															
		Éclairage localisé						Éclairage général									
		220 V			24 V			220 V			HNT 100	24 V					
Type de lampes	Tension	38 W	145 W	40 W	38 W	145 W	40 W	38 W	145 W	310 W	150 W	300 W	38 W	145 W			
Observateur	Variation de tension obs. = observable, gén. = générante	obs.	gén.	obs.	gén.	obs.	gén.	obs.	gén.	obs.	gén.	obs.	gén.	obs.	gén.		
Observateur	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
Moyenne		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

que le service de l'électricité doit s'attendre à des réclamations.

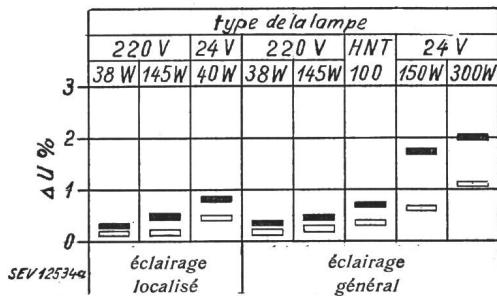


Fig. 10.

Machine à souder à la molette à 8 points de soudure par seconde: Limite des variations de tension observables (□) et de celles donnant lieu à des réclamations (■) en pour cent de la tension nominale

e) Conclusions

Les réseaux d'éclairage étant en majeure partie équipés de lampes à incandescence, il y a lieu de s'attendre à des réclamations de la part des abonnés, dès que les variations de tension dépassent 1,5 % lorsqu'elles sont provoquées par des machines à souder par points et 0,3 % lorsqu'elles le sont par des machines à souder à la molette. Connaissant ainsi les variations de tension admissibles, il est alors possible de déterminer dans chaque cas la puissance apparente maximum admissible des machines à souder par résistance.

III. La possibilité de branchement de machines à souder par résistance aux différents systèmes de distribution

a) Généralités

Les machines à souder par résistance sont presque toutes prévues pour branchement en monophasé. Elles exercent de ce fait sur le réseau triphasé une charge asymétrique et le sollicitent plus fortement qu'un branchement triphasé symétrique de même puissance. D'autre part, la possibilité de branchement et la grandeur de la puissance apparente absorbée des machines à souder par résistance dépendent des variations de tension maxima admissibles provoquées par ces machines et transmises directement ou indirectement au réseau d'éclairage. Enfin, la grandeur de ces variations de tension dépend du système de distribution, de l'aménagement de celui-ci et de l'impédance entre les consommateurs et la source d'énergie.

Si nous considérons tout d'abord les différents systèmes de distribution (figures 11a à e), nous constaterons ce qui suit:

Figure 11a: Tous les consommateurs sont branchés au même transformateur local et sur la même dérivation. Les variations de tension sont donc toutes transmises directement aux consommateurs.

Figure 11b: Du transformateur commun partent des dérivations séparées pour le réseau général d'éclairage et pour le réseau de force motrice. Les variations de tension engendrées dans le réseau de force motrice et transmises au réseau d'éclairage

n'atteignent que la valeur des variations qui se produisent aux bornes du secondaire du transformateur.

Figure 11c: Le transformateur local possède deux enroulements basse tension séparés, dont l'un pour l'alimentation du réseau général d'éclairage et l'autre pour celle du réseau de force motrice. Les variations de tension engendrées dans le réseau de force motrice n'influent sur la tension d'éclairage qu'inductivement par les enroulements du transformateur.

Figure 11d: Le réseau général d'éclairage et le réseau de force motrice sont alimentés séparément par des transformateurs. Seules les variations de tension provenant du réseau à haute tension sont transmises au réseau d'éclairage.

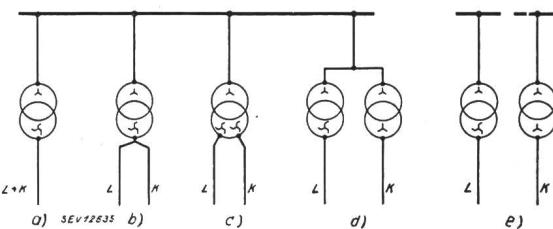


Fig. 11.
Schéma de principe de différents systèmes de distribution
L + K Réseau unifié 3×380/220 V
L Réseau général d'éclairage
K Réseau de force motrice

Figure 11e: Cas idéal où le réseau d'éclairage et celui de force motrice possèdent chacun leurs propres installations de distribution haute et basse tension.

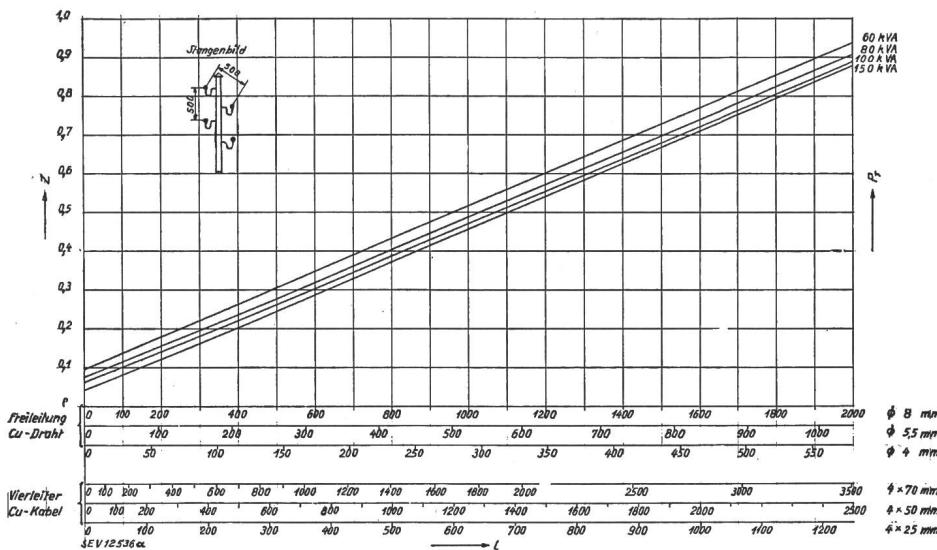
b) Calcul des puissances apparentes maxima de soudure admissibles dans les réseaux de distribution selon les figures 11a, b et c

Si la chute de tension, en pour cent, dans la ligne d'aménée à haute tension est faible par rapport à celle du secondaire (voir chapitre c), le primaire du transformateur local peut être considéré comme étant la source d'énergie. L'impédance entrant en ligne de compte est alors celle du transformateur local et celle de la ligne d'aménée au consommateur. Le branchement des machines à souder par résistance se fait généralement à la tension composée. Les lampes à incandescence étant par contre branchées sur la tension simple, la variation de tension entre conducteur actif et neutre ne doit pas dépasser les valeurs indiquées au chapitre IIe. La variation de tension est égale à la chute de tension, étant donné que, lors de la soudure par résistance, la charge passe subitement de zéro à la pleine charge.

Si nous désignons par

- P_s la puissance apparente maximum de la machine à souder par résistance, en VA,
- I le courant primaire maximum de soudure, en A,
- U la tension simple, en V,
- ΔU la chute de tension, resp. la variation de tension, en V,
- R la résistance ohmique par phase de la ligne d'aménée et du transformateur local,
- ωL la résistance inductive par phase de la ligne d'aménée et du transformateur local,

- ε la variation de tension admissible en pour cent de la tension nominale U (pour une variation de tension de 3 % $\varepsilon = 3$),
 φ' le déphasage entre le courant et la tension composée,
 φ' le déphasage entre le courant et la tension simple,



Lors de la soudure de tôle de fer le facteur de puissance $\cos \varphi$ est en moyenne égal à 0,7. On peut alors calculer la valeur de z en fonction de l'impédance qui entre en ligne de compte. La figure 12 indique graphiquement les valeurs pour les réseaux unifiés et la figure 13 celles des réseaux à 500 V.

A l'aide des figures 12 ou 13 et de la formule (2) il est facile de calculer la puissance de soudure admissible des machines à souder par résistance destinées à souder des tôles de fer.

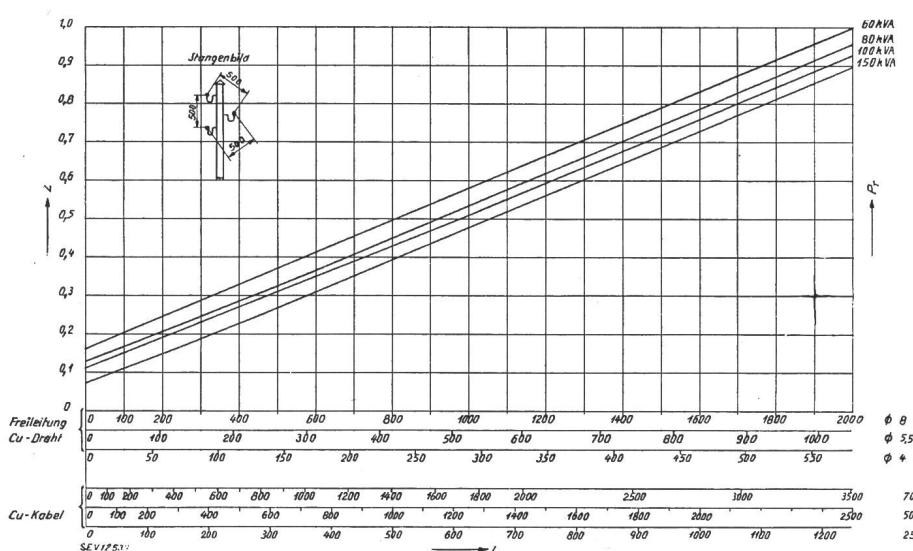


Fig. 12.
Valeurs de z pour réseaux unifiés 3x380/220 V
en fonction de la puissance apparente P_T du transformateur local, de la longueur l de la dérivation, en m, et des dimensions des conducteurs, pour un facteur de puissance égal à 0,7

Fig. 13.
Valeurs de z pour réseaux à 500 V
en fonction de la puissance apparente P_T du transformateur local, de la longueur l de la dérivation, en m, et des dimensions des conducteurs, pour un facteur de puissance égal à 0,7

la variation de tension maximum s'exprime par la formule

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

En posant

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

on obtient:

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

D'autre part, si nous posons

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

la puissance de soudure admissible s'exprimera par la formule

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

dans la formule (2), qui prendra alors la forme

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

où

l est la longueur de la dérivation en km,
 z_T la valeur d'une phase du transformateur local,
 $z_8, z_{5,5}, z_4, z_{70}, z_{50}, z_{25}$ la valeur par km de longueur d'une phase de la ligne d'aménée avec diamètres des conducteurs en cuivre de 8, 5,5 et 4 mm et sections de cuivre de 70, 50 et 25 mm².

Les différentes valeurs de z sont consignées au tableau IV.

⁴⁾ En théorie, la répartition de z en différents membres n'est pas correcte pour toutes les conditions de résistance, mais elle est toutefois suffisamment précise pour les besoins pratiques.

Valeurs de z pour les réseaux de distribution à basse tension
Tableau IV

Facteur de puissance $\cos \varphi$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Câble en Cu par phase et par km de ligne	70 mm ²	0,201	0,216	0,230	0,241
	50 mm ²	0,282	0,303	0,322	0,338
	25 mm ²	0,563	0,606	0,644	0,675
Ligne aér. en fil de Cu par phase et par km de ligne	8 mm Ø	0,472	0,463	0,447	0,423
	5,5 mm Ø	0,797	0,811	0,813	0,804
	4 mm Ø	1,337	1,391	1,426	1,446
Transformat. à 380 V par phase	60 kVA	0,108	0,104	0,101	0,095
	80 kVA	0,079	0,076	0,072	0,075
	100 kVA	0,060	0,057	0,058	0,061
	150 kVA	0,041	0,039	0,038	0,041
Transformat. à 500 V par phase	60 kVA	0,181	0,177	0,171	0,161
	80 kVA	0,135	0,130	0,122	0,127
	100 kVA	0,107	0,102	0,106	0,112
	150 kVA	0,071	0,067	0,066	0,071

Ainsi que les essais l'ont démontré, un branchement illimité de machines à souder par points et à la molette n'est admissible que si les variations de tension transmises au réseau d'éclairage ne dépassent pas 1,5 respectivement 0,3 %.

Nous avons déjà dit que la possibilité de branchement dépend beaucoup du système de distribution. Dans les réseaux unifiés selon la figure 11a, les variations de tension chez le consommateur ne doivent pas dépasser la valeur admissible. Les puissances apparentes maximales admissibles des machines à souder par points et à la molette sont reproduites à la figure 14, en fonction de la puissance apparente du transformateur local, de la longueur de la dérivation et de la dimension des conducteurs.

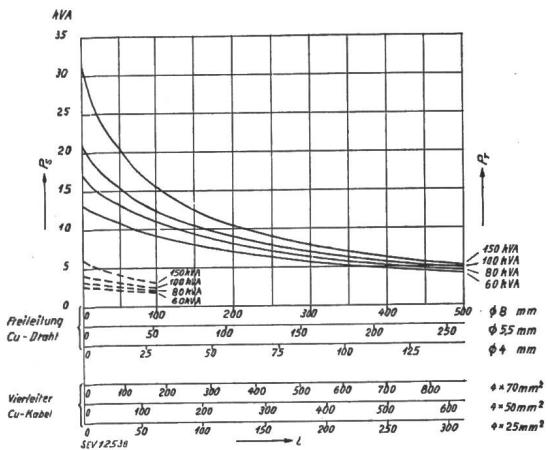


Fig. 14.

Puissances apparentes maximas admissibles P_s dans un réseau unifié 3×380/220 V des machines à souder par points (—) pour une variation de tension admissible de 1,5 %, et des machines à souder à la molette (---) pour 8 points de soudure par s et une variation de tension admissible de 0,3 %

en fonction de la puissance apparente du transformateur local P_T , de la longueur de la dérivation l , en m, et de la dimension des conducteurs, en admettant que le facteur de puissance est égal à 0,7

Ainsi, par exemple, une machine à souder par points d'une puissance apparente primaire de 20 kVA peut être branchée à une distance maximum de 55 m du poste de transformation, dans un réseau unifié à 380/220 V avec des conducteurs en cuivre de 8 mm de diamètre et une puissance apparente du transformateur local de 150 kVA. Dans ce même

réseau et au même point de branchement, la puissance apparente d'une machine à souder à la molette ne devrait pas dépasser 4 kVA.

La figure 14 montre en outre qu'à mesure que l'on s'éloigne du poste de transformation, la puissance apparente admissible de soudure diminue rapidement, qu'une augmentation de la puissance apparente du transformateur local à plus de 150 kVA n'améliore pas sensiblement les conditions de tension et qu'un branchement illimité de machines à souder par résistance n'est pas admissible.

Lorsque le branchement de machines à souder par résistance de puissances plus élevées ou à des distances plus grandes du poste de transformation est exigé il y aura lieu de supprimer la fourniture d'énergie pour ces machines durant les principales heures d'éclairage, ceci par égard pour les abonnés à l'éclairage. En outre, dans l'intérêt des autres consommateurs, les variations de tension provoquées par les machines à souder par points ne doivent pas dépasser 5 à 10 % et celles provoquées par les machines à souder à la molette 0,5 à 1 %. La figure 15 indique quelles sont les puissances

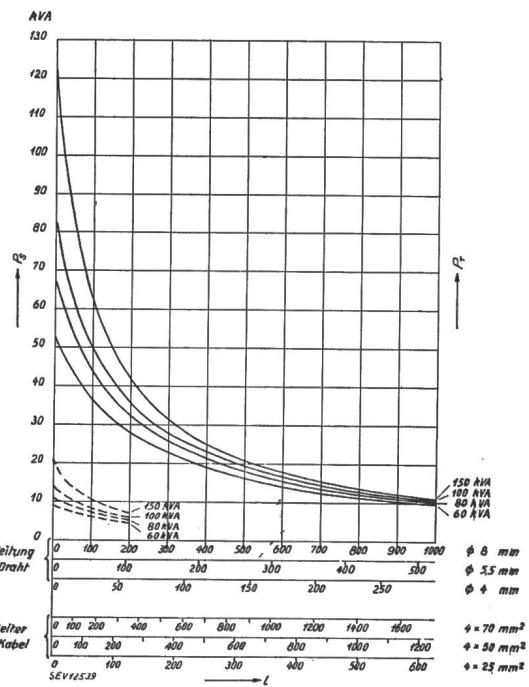


Fig. 15.

Puissances apparentes maximas admissibles P_s dans un réseau unifié 3×380/220 V des machines à souder par points (—) pour une variation de tension admissible de 6 %, et des machines à souder à la molette (---) pour 8 points de soudure par s et une variation de tension admissible de 1 %

en fonction de la puissance apparente du transformateur local P_T , de la longueur de la dérivation l , en m, et de la dimension des conducteurs, en admettant que le facteur de puissance est égal à 0,7

apparentes admissibles des machines à souder par points et à la molette, lorsque la variation de tension maximum admissible atteint 6, respectivement 1 %.

La figure 15 montre également que, dans un réseau unifié (figure 11a), les puissances apparentes admissibles de soudure sont faibles, surtout pour les

machines à souder par points, bien que l'on y admette des variations de tension relativement importantes.

Les conditions sont meilleures lorsqu'il existe une dérivation séparée pour le branchement de moteurs, machines à souder, etc. (figure 11b). Les puissances apparentes maxima de soudure admissibles dans un tel réseau de distribution sont consignées au tableau V.

*Puissances apparentes maxima admissibles en kVA des machines à souder par points et à la molette dans des réseaux de distribution de $3 \times 380/220$ V avec réseau de force motrice séparé, mais avec transformateur local commun, pour un facteur de puissance égal à 0,7
(Voir schéma de principe, fig. 11b.)*

Tableau V

Type de machine à souder	Variation de tension admissible ε	Puissance apparente du transformateur local en kVA			
		60	80	100	150
		Puissance apparente de soudure admissible dans le réseau de force motrice en kVA			
Machine à souder par points	{ 1,5 % 6 %	13 53	17 67	21 82	31 122
Machine à souder à la molette: 8 points p. s	{ 0,3 % 1 %	2,6 9	3,3 11	4 14	6 21

Il va de soi que la fourniture d'énergie aux machines à souder doit être interrompue pendant les principales heures d'éclairage, même dans le réseau de force motrice, dès que les variations de tension aux bornes secondaires du transformateur local commun dépassent respectivement 1,5 et 0,3 %. En outre, le branchement de machines à souder par résistance avec les puissances apparentes maxima indiquées au tableau V n'est possible qu'à une certaine distance du poste de transformation. Dans le réseau de force motrice, les variations de tension provoquées chez les consommateurs par les machines à souder par points ne devraient pas dépasser 7 à 15 % et celles des machines à souder à la molette 5 à 10 %.

Admettons par exemple qu'il s'agisse de déterminer quelle est la plus grande distance permise jusqu'au poste de transformation dans les conditions suivantes:

La puissance apparente du transformateur local est de 150 kVA, les variations de tension maxima aux bornes secondaires du transformateur ne doivent pas dépasser 1,5 %, la ligne aérienne de dérivation est en fil de cuivre d'un diamètre de 5,5 mm et, à l'endroit de branchement, la variation de tension ne doit pas dépasser 10 %.

D'après le tableau V la puissance apparente maximum admissible de soudure est de 31 kVA. Introduisons les valeurs connues dans la formule (2). On aura alors

$$z = \frac{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 220^2}{100 \cdot 31000} = 0,27$$

Dans le cas qui nous occupe z est formé par $z_T + l \cdot z_{5,5}$. On a donc:

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

et

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

En introduisant dans cette formule les valeurs tirées du tableau IV on obtient la distance maximum entre l'endroit de branchement et le poste de transformation.

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

Le même résultat s'obtient en tirant, sur la figure 12, une horizontale partant de l'ordonnée $z = 0,27$, puis en traçant à partir de l'intersection avec la courbe correspondant à la puissance apparente du transformateur de 150 kVA une perpendiculaire à l'abscisse correspondant au diamètre du fil de cuivre de 5,5 mm. Si l'on connaît la valeur de z , on peut donc lire directement la distance maximum jusqu'au poste de transformation.

Examinons maintenant quelles sont les puissances apparentes de soudure admissibles dans le réseau de force motrice des installations de distribution selon la figure 11c. Dans de telles installations le réseau d'éclairage est généralement à la tension normale suisse, soit de $3 \times 380/220$ V et le réseau de force motrice à la tension de 3×500 V. Dans le cas d'une consommation d'énergie illimitée pour la soudure, les variations de tension ne doivent pas dépasser 1,5 resp. 0,3 % aux bornes à 380/220 V du transformateur local. Pour que ces valeurs ne soient pas dépassées, il faut faire en sorte que les variations de tension ne dépassent pas 2,25 respectivement 0,45 % aux bornes à 500 V. Si la consommation d'énergie est suspendue pendant les principales heures d'éclairage, les variations de tension aux bornes à 500 V provoquées par les machines à souder par points ne devraient pas dépasser 7 à 15 % et celles provoquées par des machines à souder à la molette 0,7 à 1,5 %. Le tableau VI indique les puissances apparentes admissibles des machines à souder par résistance branchées sur un réseau de force motrice à 500 V.

*Puissances apparentes maxima admissibles, en kVA, de machines à souder par points et à la molette dans un réseau de force motrice à 500 V, avec un facteur de puissance égal à 0,7
(Voir schéma de principe, fig. 11c.)*

Tableau VI

Type de machine à souder	Variation de tension admissible ε	Puissance apparente du transformateur local en kVA			
		60	80	100	150
		Puissance apparente de soudure admissible dans le réseau de force motrice en kVA			
Machine à souder par points	{ 2,25 % 9 %	20 80	26 100	31 122	46 183
Machine à souder à la molette: 8 points p. s	{ 0,45 % 1,5 %	4 13	5 17	6 21	9 31

La distance maximum admissible entre l'endroit de branchement et le poste de transformation se calcule d'une manière analogue à celle de l'exemple précédent. Elle peut également être lue directement sur la figure 13.

c) Calcul des puissances apparentes maxima de soudure admissibles dans les réseaux de distribution selon les figures 11 d et e

Pour le calcul des puissances apparentes maxima admissibles des machines à souder par résistance dans les réseaux de distribution selon la figure 11 d, il faut tenir compte de ce qui suit:

1. Aux bornes primaires du transformateur d'éclairage les variations de tension ne doivent pas dépasser 1,5 resp. 0,3 % en cas d'utilisation illimitée des machines à souder par points et à la molette; en cas de blocage, ces variations de tension ne doivent pas dépasser 5 à 10 % resp. 0,5 à 1 %.

2. Dans le réseau de force motrice les variations de tension ne doivent pas dépasser 7 à 15 % resp. 5 à 10 %, ceci dans l'intérêt des autres consommateurs.

Supposons tout d'abord que, dans le réseau à haute tension, les machines à souder raccordées au réseau de force motrice ne provoquent pas de variations de tension supérieures à celles indiquées sous 1. Dans ce cas, les puissances apparentes de soudure admissibles dans le réseau de force motrice peuvent se calculer de la même façon que pour les réseaux selon les figures 11 a, b et c. Dans le réseau de force motrice, les variations de tension mentionnées sous 2 sont admissibles.

Si les variations de tension dans le réseau à haute tension dépassent par contre la valeur admissible, c'est le primaire du transformateur à haute tension de la sous-station qui doit être considéré comme étant la source de courant. L'impédance se compose alors de celle du transformateur de la sous-station et de celle de la ligne d'aménée à haute tension jusqu'au poste de transformation local. Le branchement en monophasé des machines à souder charge également asymétriquement le réseau à haute tension. La chute de tension maximum, et par conséquent la variation de tension maximum par phase, s'exprime par la formule

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

où I' est la variation de l'intensité du courant dans le réseau à haute tension. Si nous désignons par U' la tension simple (étoilée) du réseau à haute tension, on a

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

et

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

En posant

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

la formule pour la puissance apparente admissible de soudure sera alors

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

La ligne d'aménée à haute tension peut toutefois comprendre des tronçons aériens et sous câbles, comportant des conducteurs de différentes sections

et en différentes matières. En pratique, il est donc plus simple et d'ailleurs suffisamment précis de répartir z' en différents membres. Les valeurs correspondantes sont consignées au tableau VII.

Nous examinerons, à l'aide d'un exemple (figure 16), quelle est la puissance apparente maximum de soudure encore admissible, pour un $\cos \varphi = 0,7$, afin

Valeurs de z' pour les réseaux de distribution à 8000 V
Tableau VII

Facteur de puissance $\cos \varphi$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Câble à 3 conducteurs en Cu par phase et par km de ligne	70 mm ²	0,201	0,216	0,230	0,241
	50 mm ²	0,282	0,303	0,322	0,338
Ligne aér. en fil de Cu par phase et par km de ligne	8 mm Ø	0,490	0,478	0,458	0,431
	5,5 mm Ø	0,815	0,826	0,824	0,813
Ligne aérienne en aldry par phase et par km de ligne	95 mm ²	0,460	0,452	0,437	0,423
	70 mm ²	0,731	0,738	0,734	0,720
Transformateur à 45 000/8000 V par phase	1 000 kVA	2,943	2,880	2,948	2,970
	2 000 kVA	1,500	1,470	1,500	1,487
	3 000 kVA	1,092	1,080	1,083	1,090
	4 000 kVA	0,883	0,870	0,890	0,880

que les variations de tension aux bornes primaires du transformateur d'éclairage ne dépassent pas 0,3 %. La puissance apparente maximum admissible de

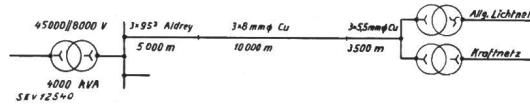


Fig. 16.

soudure peut être calculée d'après la formule (5). En introduisant les valeurs correspondantes tirées du tableau VII et de la figure 16, on obtient:

$$P_s = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,3 \cdot 4620^2}{100 \cdot (0,88 + 5 \cdot 0,423 + 10 \cdot 0,431 + 3,5 \cdot 0,813)} = 10 900 \text{ VA.}$$

Pour une variation de tension admissible de 1,5 %, la puissance apparente maximum de soudure atteint

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

Dans le réseau de force motrice, il est donc possible d'utiliser sans limitation une machine à souder à la molette de 10,9 kVA ou une machine à souder par points de 54,5 kVA. On constate qu'il y a également lieu de tenir compte des variations de tension dans le réseau à haute tension lors du calcul des puissances apparentes de soudure admissibles dans les réseaux de distribution selon les figures 11a, b et c, quand il s'agit de grandes puissances. Les variations provoquées dans le réseau haute tension se transmettent avec le même pourcentage à la tension secondaire des transformateurs locaux. Elles peuvent donc être additionnées aux variations de la tension secondaire en pour cent.

Les puissances apparentes admissibles de soudure dans les réseaux selon la figure 11e se calculent de la même façon que pour les réseaux selon la figure 11a, sauf que les variations de tension peuvent atteindre jusqu'à 15 %.

Les modes de calcul des puissances maxima indiqués ci-dessus n'ont été établis qu'en tenant compte des variations de tension admissibles. Le chef d'exploitation du service électrique devra toutefois examiner si le branchement des machines à souder par résistance est également possible au point de vue de la capacité de charge des réseaux de distribution.

d) Moyens servant à augmenter la puissance apparente de soudure admissible

Les machines à souder par résistance sont considérées dans l'industrie des métaux comme des auxiliaires de plus en plus indispensables. Le besoin de machines capables s'accroît aussi. Il est donc nécessaire de rechercher le moyen de brancher ces machines sans avoir à procéder à des renforcements exagérés des lignes et des transformateurs. Les formules (1) et (4) montrent clairement que la variation de tension dépend de l'à-coup et, par conséquent, de l'intensité du courant de soudure primaire.

On estime souvent que le branchement en monophasé peut être réparti sur les trois phases par l'intermédiaire d'un diviseur de tension, ce qui améliorera les conditions de la chute de tension et de la charge du réseau. L'inutilité du raccordement en triphasé d'un transformateur monophasé par l'intermédiaire d'un diviseur de tension a toutefois été démontrée à maintes reprises dans la littérature technique⁵⁾.

Si le facteur de puissance $\cos \varphi$ est inférieur à 0,6, notamment par suite de la soudure de pièces en aluminium sur des machines à grande portée des bras, la puissance apparente admissible peut être augmentée par l'emploi de condensateurs. Il importe toutefois que les condensateurs soient branchés d'une manière convenable.

La figure 17 montre que le condensateur ne peut réduire l'à-coup de courant que s'il est enclenché et déclenché en même temps que le transformateur de soudure (voir figure 17c)⁶⁾. La variation de courant ΔI atteint un minimum lorsque le courant I est en phase avec la tension U . Dans ce cas idéal, la puissance du condensateur devrait cependant être exagérément élevée et le coût de la batterie de condensateurs serait hors de proportion avec celui de la machine à souder. En pratique, on choisira une puissance de condensateur de grosseur telle, qu'en appliquant l'échelon de courant de soudure le plus fréquemment utilisé, on obtienne un $\cos \varphi$ atteignant une valeur de 0,7 à 0,8.

Si cette simple solution est insuffisante et si, d'autre part, un renforcement des installations de distribution d'énergie n'est techniquement et écono-

miquement pas possible, il s'agira de réduire par d'autres moyens l'à-coup de courant à une valeur tolérable. Dans la Schweiz. Bauzg., t. 122 (1943), p. 241, M. W. Heiz décrit des machines à souder qui travaillent selon le principe de la charge d'énergie

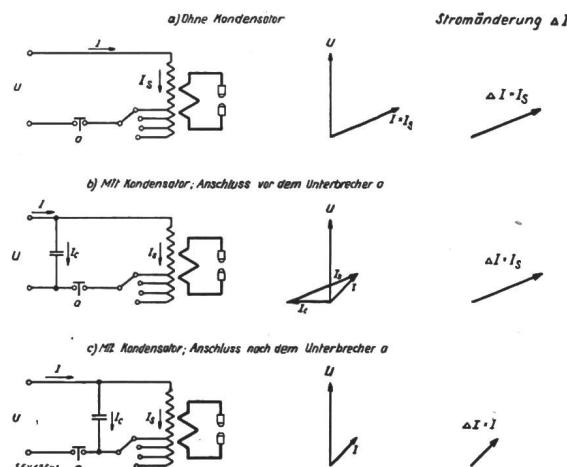


Fig. 17.
Schéma de principe pour le branchement d'une machine à souder par résistance

I Courant de la ligne ΔI Variation du courant
 I_c Courant du condensateur U Tension du réseau
 I_s Courant primaire de la machine a Interrupteur
à souder

ductive et capacitive. Pour une même puissance apparente de soudure, la puissance absorbée par ces machines est sensiblement plus faible que celle d'une machine à courant alternatif monophasé. D'autre part, ces machines chargent symétriquement le réseau triphasé. C'est ainsi que la machine imaginée par Sciaky, qui fonctionne selon le principe de la charge d'énergie électromagnétique, absorbe une puissance de 40 kW, alors que la puissance apparente de soudure momentanée atteint près de 400 kVA pour un courant de soudure de 50 000 A.

Les fabricants de machines à souder doivent donc construire de grandes machines à souder par résistance, de manière qu'elles puissent être branchées sur des réseaux relativement puissants sans provoquer de répercussions gênantes.

IV. Consommation d'énergie et tarification des machines à souder par résistance

Les figures 1 à 5 montrent l'allure caractéristique de la charge des machines à souder par résistance. La consommation d'énergie s'établit par une série de pointes de charge d'une durée de 0,02 à 3 s. Selon le type de machine, la charge du réseau peut atteindre quelques centaines de kVA. On a procédé à diverses mesures, afin d'examiner si les compteurs de kWh enregistrent réellement cette consommation d'énergie d'une durée extrêmement brève. Les valeurs obtenues montrent que l'enregistrement est exact.

Il existe entre la puissance mise à la disposition par le service électrique et la consommation d'énergie un rapport très défavorable. Les machines à souder par points ne consomment guère que 2 à 15 kWh par an, par kVA de puissance apparente de soudure, suivant l'emploi de la machine. Or, pour un emploi du même ordre, les

⁵⁾ H. Hafner, Das elektrische Lichtbogen-Schweißen mit Wechselstrom von Netzfrequenz, Bull. ASE 1933, No. 1, p. 1.

H. Hafner, Die einphasige Belastung des Drehstromnetzes und ihr statischer Ausgleich, Bull. ASE 1944, No. 12, p. 309.

⁶⁾ Cf. A. Balmas, Le branchement des machines à souder par résistance, Bull. ASE 1944, No. 10, p. 273.

machines à souder à l'arc consomment 30 à 100 kWh par an, par kVA de puissance apparente moyenne. En raison du fait que, d'une part, la consommation d'énergie est très faible par rapport à la puissance installée et que, d'autre part, les machines à souder par résistance chargent très défavorablement les réseaux de distribution, les entreprises électriques sont obligées de facturer non seulement l'énergie consommée, mais aussi une taxe de base. Au sujet de la détermination de cette taxe, les avis diffèrent. Il n'existe d'ailleurs pas encore de normes à propos de l'indication de la puissance absorbée par ces machines, de sorte que chaque fabricant estime la puissance de ses machines d'après son propre point de vue et selon certaines données. Tant qu'il n'existera pas de règles uniformes pour la désignation de la puissance, la puissance absorbée par ces machines devra être déterminée par une mesure de l'intensité du courant et de la tension. La mesure sur place de la puissance absorbée présente le grand avantage que chaque possesseur de machine à souder est traité de la même manière. Les Entreprises électriques du Canton de Zurich (EKZ) déterminent de la manière suivante la puissance installée servant à fixer la taxe de base:

L'intensité du courant et la tension sont mesurées du côté réseau de la machine à souder, à l'échelon de soudure le plus élevé et, cas échéant, avec le con-

densateur branché. Au cours de cette mesure, il est procédé à la soudure de la plus mince tôle qui puisse être encore soudée convenablement avec les machines par points et à la molette, en utilisant la plus petite ouverture⁷⁾ de même qu'à la soudure de la plus grosse pièce qu'il soit possible de souder, dans le cas des machines à souder par refoulement. Le produit des valeurs ainsi mesurées représente la puissance apparente maximum absorbée en VA, qui est considérée comme puissance installée. Le prix de base facturé atteint fr. 16.— par kVA de puissance installée et par an, en cas de fourniture de l'énergie en basse tension et branchement de la machine sur un compteur de kWh normal; il atteint fr. 10.— en cas de branchement sur un compteur de kWh à enregistrement maximum et fr. 5.— en cas de fourniture d'énergie en haute tension, après un dispositif de comptage haute tension. Les Entreprises électriques du Canton de Zurich espèrent avoir de la sorte institué une règle qui doit convenir aussi bien aux possesseurs de machines à souder qu'aux services électriques.

⁷⁾ P. Vögeli, Die Anschlussleistung von Punktschweißmaschinen für Aluminium und seine Legierungen, Schweiz. Bauzeitung 1943, No. 1, p. 8.

Adresse de l'auteur:

H. Altherr, suppléant du chef du Service des Installations des Entreprises Électriques du Canton de Zurich, Zurich.

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, 1945¹⁾, 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 Orffyeanum“ 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 liesssen 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 Unteil-

bares 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 seinem 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 Breitengraden. Blitzartig durchzucken

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