Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 64 (1973)

Heft: 8

Artikel: Einfluss der Prelldauer und der Kontaktkraft auf die Statistik der Schweisskraftwerke von Ag1000 und AgCdO10

Autor: Haufe, W. / Reichel, W. / Schreiner, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915541

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: 13.12.2025

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

Einfluss der Prelldauer und der Kontaktkraft auf die Statistik der Schweisskraftwerte von Ag 1000 und AgCdO 10

Von *W. Haufe, W. Reichel, H. Schreiner und R. Tusche*

621.791.7

Im Rahmen der Untersuchungen über den Einfluss verschiedener Parameter auf die statistische Verteilung der Schweisskraftwerte bei prellend schliessenden Kontaktstücken wurden mit einem Prüfschalter Messungen an Ag 1000 und AgCdO 10 bei den mechanischen Prelldauern von $t_P = 1{,}5$, 3 und 5 ms für die ersten drei Prellsprünge und bei Kontaktkräften von $F_K = 29{,}4$ und 58,8 N durchgeführt. Die Messergebnisse zeigen bei synchroner und asynchroner Einschaltung, dass mit kleiner werdender Prelldauer und Kontaktkraft bei sonst konstanten Prüfbedingungen auch die Schweisskräfte kleinere Werte annehmen. Die Summenhäufigkeit der Schweisskraftwerte lässt sich in einem Weibull-Wahrscheinlichkeitsnetz annähernd linear darstellen. Dies trifft für die beiden untersuchten Kontaktwerkstoffe besonders im praxisnahen Fall der asynchronen Einschaltung bei einer Kontaktkraft von $F_K = 29{,}4$ N und einer mechanischen Prelldauer von $t_P = 3$ ms zu.

Au cours des recherches concernant l'influence de différents paramètres sur la distribution statistique des forces de soudage de pièces de contact fermant avec rebondissements, on a procédé, au moyen d'un interrupteur, à des mesures dans le cas du Ag 1000 et du AgCdO 10, lors de durées de rebondissements mécaniques t_P de 1,5, 3 et 5 ms pour les trois premiers rebondissements et sous des pressions de contact F_K de 29,4 N et 58,8 N. Les résultats montrent que, lors d'enclenchement synchrone ou asynchrone, les forces de soudage diminuent au fur et à mesure que la durée des rebondissements et la force de contact diminuent, les autres conditions d'essai demeurant constantes. La fréquence cumulée des forces de soudage peut être représentée à peu près linéairement, dans un réseau de probabilité de Weibull. Pour les deux matières de contact en question, cela se présente, surtout dans le cas pratique de l'enclenchement non synchrone, pour une force de contact F_K de 29,4 N et une durée de rebondissements mécaniques t_P de 3 ms.

1. Einführung

In einer vorausgegangenen Arbeit wurde über den Einfluss der Schaltzahl und Polarität des Prüfstromes auf die statistische Verteilung der Schweisskraftwerte von Ag 1000 bei prellend schliessenden Kontaktstücken berichtet [1][1]). Diesen mit einem Prüfschalter durchgeführten Untersuchungen wurden die von einer VDE-Arbeitsgruppe festgelegten Prüfbedingungen zugrunde gelegt [2], die den Verhältnissen in Niederspannungsschaltgeräten der Energietechnik (Schütze) angeglichen wurden.

Weitere wichtige Einflussgrössen auf die statistische Verteilung der Schweisskraftwerte sind die Prelldauer, d. h. die Lichtbogenbrenndauer und die Kontaktkraft [3]. In der vorliegenden Arbeit werden Untersuchungsergebnisse bei verschiedenen Prelldauern und Kontaktkräften von den Kontaktwerkstoffen Ag 1000 und AgCdO 10 unter synchroner und asynchroner Einschaltung mitgeteilt.

2. Prüfbedingungen

2.1 *Kontaktstückabmessungen*

Die Kontaktstücke hatten einen Durchmesser von $d = 10$ mm, die Oberfläche des feststehenden Kontaktstückes war flach, die des beweglichen Kontaktstückes ballig, $r = 40$ mm. Die Oberflächen beider Kontaktstücke wurden mit Schleifpapier, Körnung 500, geschliffen und mit Trichloräthylen gereinigt.

2.2 *Mechanische Prüfbedingungen*

Bei einer Schliessgeschwindigkeit von $v_S = 1{,}0\ \mathrm{ms}^{-1}$ und einer Kontaktkraft von $F_K = 58{,}8$ N wurden Prelldauern von 1,5, 3 und 5 ms für die ersten drei Prellsprünge eingestellt. Ausserdem wurden Messungen der Schweisskraft bei $F_K = 29{,}4$ N und einer Prelldauer von 3 ms durchgeführt.

2.3 *Elektrische Prüfbedingungen*

Die Prüfspannung betrug $U = 220$ V, die Frequenz $f = 50$ Hz, der Prüfstrom $\hat{I} = 1000$ A, der Leistungsfaktor $\cos\varphi = 0{,}12$ und die Schaltzahl $n_s = 1000$. Bei synchroner Einschaltung erfolgt das Schliessen der Kontaktstücke im natürlichen Stromnulldurchgang, wobei das bewegliche Kontaktstück positive bzw. negative Polarität hat. Bei asynchroner Einschaltung werden die Kontaktstücke zu beliebigen Zeitpunkten bezüglich der Phasenlage der Prüfspannung geschlossen.

3. Messergebnisse

Die auf den Kontaktstückoberflächen durch die Lichtbogeneinwirkung aufgeschmolzenen Bereiche wirken stark dämpfend auf die Prellbewegung, so dass bei synchroner Einschaltung fast ausschliesslich nur ein Prellsprung auftrat. Die Abhängigkeit des Mittelwertes der Lichtbogenbrenndauer von der eingestellten mechanischen Prelldauer für die ersten drei Prellsprünge ist aus dem Diagramm in Fig. 1 ersichtlich.

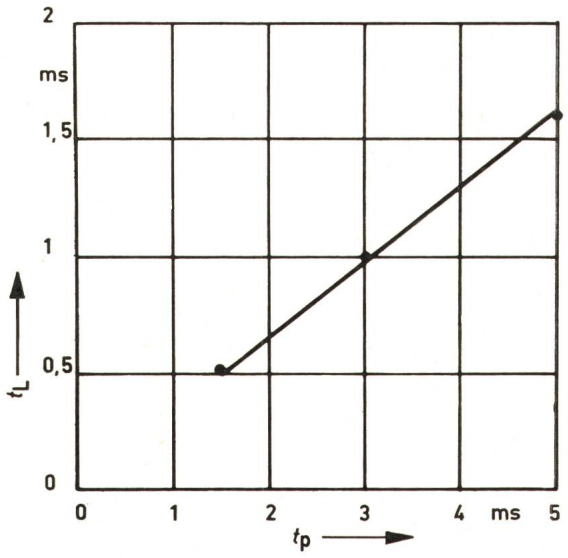


Fig. 1
Mittelwerte der Lichtbogenbrenndauer t_L in Abhängigkeit von der mechanischen Prelldauer t_P für die ersten drei Prellsprünge bei synchronem Schliessen der Kontaktstücke

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

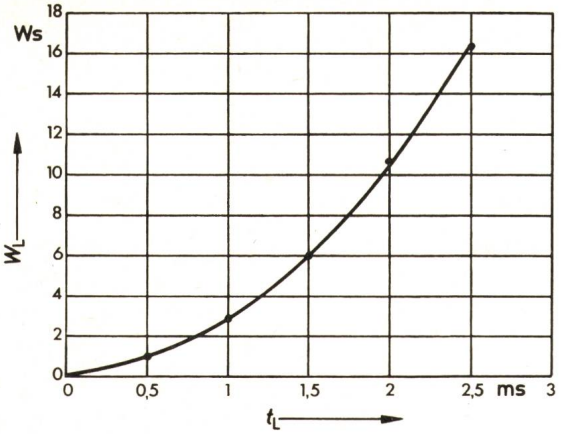


Fig. 2
Energie W_L des Lichtbogens als Funktion der Lichtbogenbrenndauer t_L bei synchroner Einschaltung

Danach steigt die Lichtbogenbrenndauer im untersuchten Wertebereich proportional mit der mechanischen Prelldauer an.

Bei asynchroner Einschaltung ist die Anzahl der Prellsprünge unter Prüfstrom vom Einschaltzeitpunkt abhängig. Im Vergleich zur synchronen Einschaltung ergibt sich eine grössere Schwankungsbreite der Lichtbogenbrenndauer. Ihr Minimalwert kann die gleiche Grösse annehmen wie bei synchroner Einschaltung, während der Maximalwert bei einem kleinen Energieumsatz grösser sein kann. Die im weiteren Text angegebenen Prelldauern beziehen sich auf die unter Abschnitt 2.2 genannten Werte.

Die den Kontaktstücken zugeführte Energie hängt in starkem Masse von der Brenndauer des Lichtbogens ab. Bei einem sinusförmigen Verlauf des Prüfstromes und prellend schliessenden Kontaktstücken ist auch der Momentanwert des Stromes im Augenblick des endgültigen Schliessens der Kontaktstücke in bezug auf die Grösse und Verteilung der Schweisskraftwerte von erheblichem Einfluss [4].

Die Energie des Prellichtbogens kann näherungsweise nach folgender Beziehung berechnet werden:

$$W_L = \frac{\overline{U}_L \hat{I}}{\omega} (1 - \cos \omega t_L)$$

$\overline{U}_L$ Mittelwert der Lichtbogenspannung in V
$\hat{I}$ Scheitelwert des Prüfstromes in A
ω Kreisfrequenz des Prüfstromes in s^{-1}
t_L Lichtbogenbrenndauer in s

Die Abhängigkeit der Lichtbogenenergie von der Lichtbogenbrenndauer zeigt Fig. 2.

Die Summenhäufigkeit der Schweisskraftwerte wird in einem Weibull-Wahrscheinlichkeitsnetz angegeben, dessen Merkmalsskala logarithmisch und dessen Prozentskala nach der Funktion

$$y = \ln \ln \frac{100}{100 - x}$$

geteilt ist.

Durchläuft y den Wertebereich von $-4{,}60$ bis $+1{,}95$, so durchläuft x die Prozentskala von 1% bis 99,9%. Das Weibull-Wahrscheinlichkeitsnetz hat den Vorteil, dass sich die Summenhäufigkeitskurven für die drei untersuchten Prelldauern linearer darstellen lassen als vergleichsweise im Wahrscheinlichkeitsnetz der logarithmischen Normalverteilung.

Fig. 3 zeigt eine Zusammenstellung der Summenhäufigkeitskurven der Schweisskraft von Ag 1000 und AgCdO 10 bei synchroner Einschaltung und unterschiedlicher Polarität des beweglichen Kontaktstückes sowie bei asynchroner Einschaltung. Mit kleiner werdender Prelldauer ist eine geringfügige Verschlechterung der Reproduzierbarkeit der maximalen Schweisskraftwerte erkennbar. Die Summenhäufigkeitskurven werden gut reproduziert, so dass von jeweils zwei aufgenommenen Messreihen mit je 1000 Messwerten mittlere Summenhäufig-

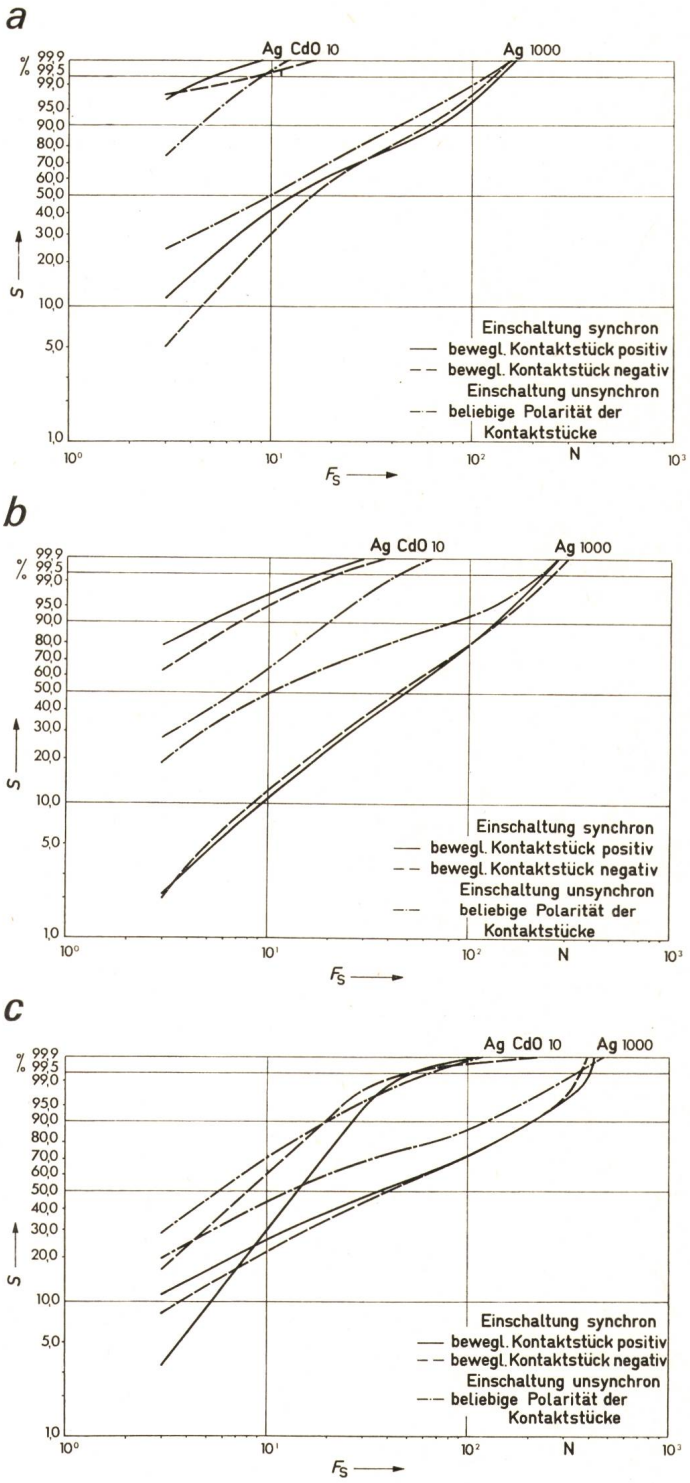


Fig. 4
Mittlere Summenhäufigkeit S der Schweisskraft F_s von Ag 1000 und AgCdO 10 bei synchroner und asynchroner Einschaltung
$F_K = 58{,}8$ N
Mechanische Prelldauer: *a* $t_p = 1{,}5$ ms
b $t_p = 3$ ms
c $t_p = 5$ ms

keitskurven angegeben werden können. Aus den Diagrammen in Fig. 4 sind die repräsentativen Summenhäufigkeitskurven bei den verschiedenen Prelldauern und Einschaltbedingungen von Ag 1000 und AgCdO 10 ersichtlich. Die Darstellungen lassen die starke Abhängigkeit der maximalen Schweisskraftwerte, die in Tabelle I zusammengestellt sind, von der Prelldauer und damit von der Brenndauer des Lichtbogens bei allen drei untersuchten Einschaltbedingungen erkennen. Während zwischen der kleinsten und der grössten Prelldauer für Ag 1000 ein Anwachsen der maximalen Schweisskraftwerte etwa um den Faktor 3 ermittelt wurde, ergab sich für AgCdO 10 eine Erhöhung der $F_{S99,9}$-Werte etwa um den Faktor 10. Vergleicht man die maximalen Schweisskraftwerte bei synchroner und asynchroner Einschaltung und gleichen Prelldauern miteinander, so ist festzustellen, dass sich diese Werte von Ag 1000 nur geringfügig voneinander unterscheiden, während bei AgCdO 10 Abweichungen bis zum Faktor 2 auftreten. Mit abnehmender Prelldauer nimmt die Verschweisshäufigkeit ebenfalls ab, und zwar bei AgCdO 10 stärker als bei Ag 1000, so dass zur Darstellung der Summenhäufigkeitskurven ober-

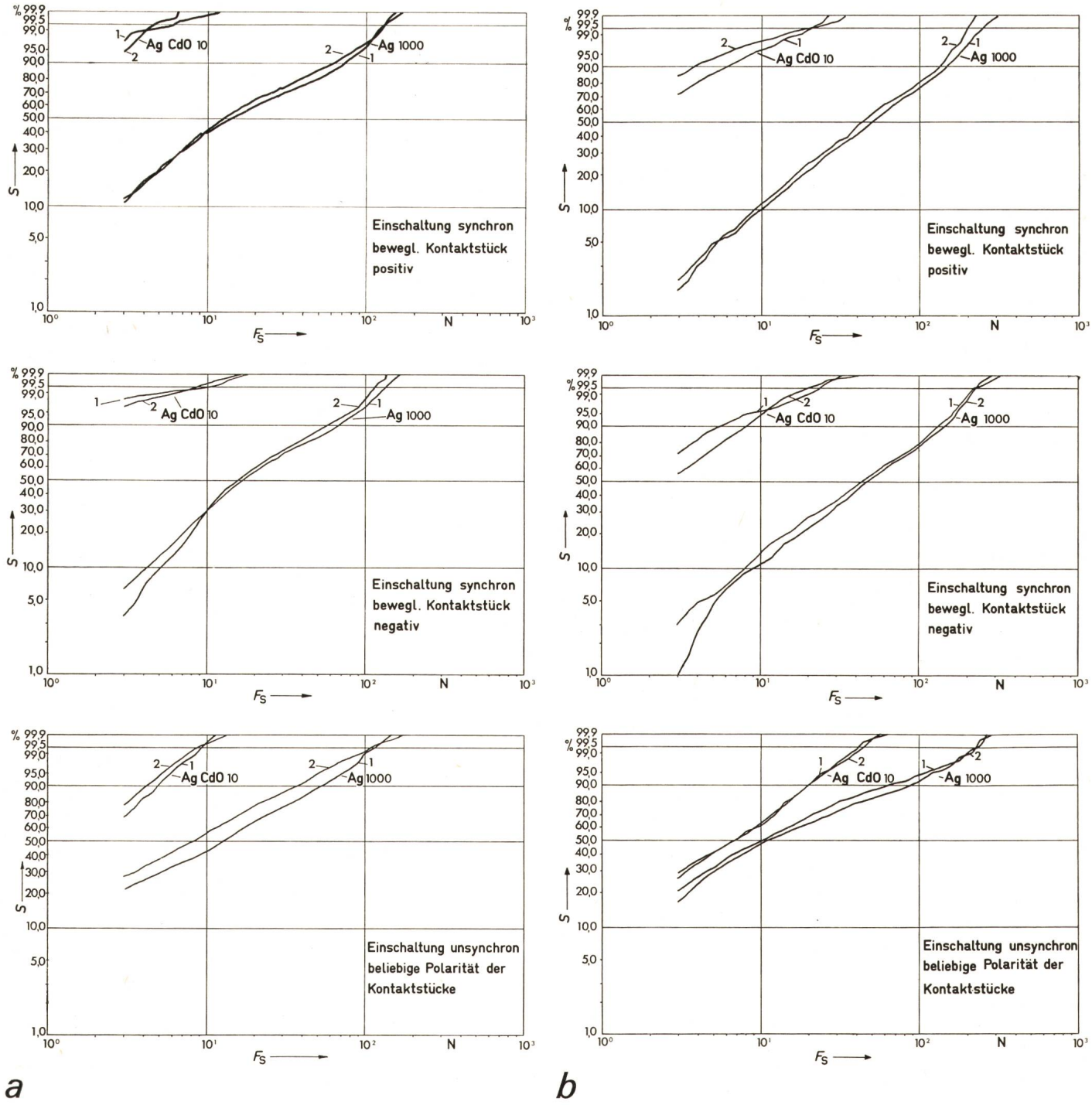
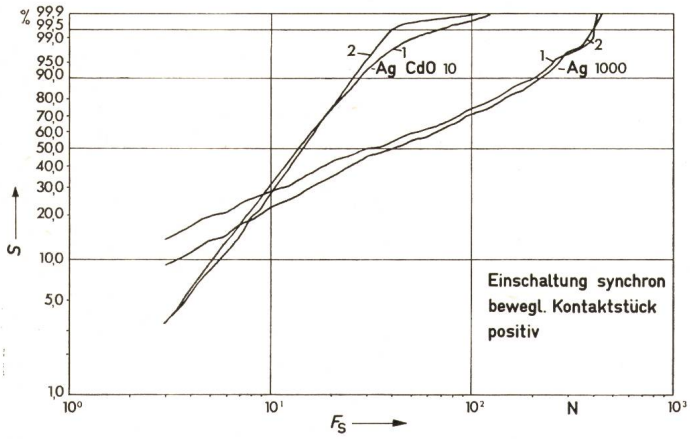
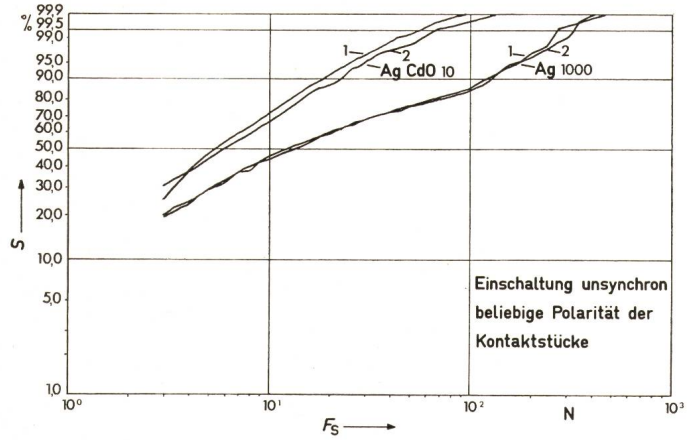
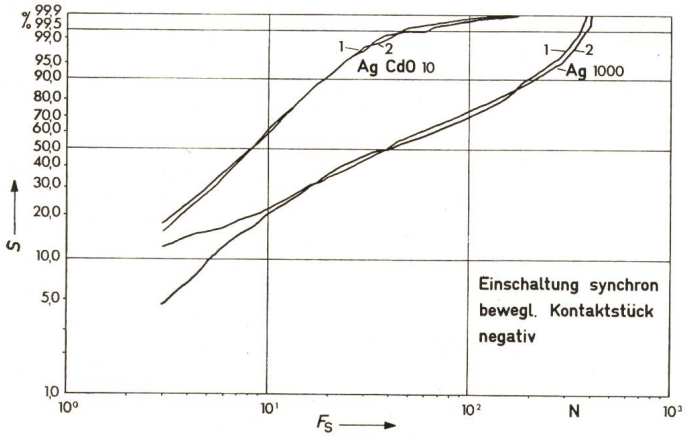


Fig. 3
Summenhäufigkeit S der Schweisskraft F_S bei synchroner und asynchroner Einschaltung
F_K = 58,8 N
Mechanische Prelldauern: *a* t_p = 1,5 ms
b t_p = 3 ms
c t_p = 5 ms
1 erste Messreihe; *2* zweite Messreihe

halb 3 N[2]) teilweise nur eine sehr geringe Anzahl Schweisskraftwerte zur Verfügung steht. Die beste Linearität zeigen die Summenhäufigkeitskurven bei einer Prelldauer von $t_P = 3$ ms. Beträgt die Prelldauer $t_P = 1{,}5$ ms, verlaufen die Summenhäufigkeitskurven beider Werkstoffe nur bei asynchroner Einschaltung linear. Wird die Prelldauer auf $t_P = 5$ ms erhöht (Standardprüfbedingungen), so erhält man bei den drei Schaltbedingungen für AgCdO 10 einen charakteristischen Verlauf der Summenhäufigkeitskurven, der bis zu einer Summenhäufigkeit von etwa 95% linear ist. Oberhalb dieses Wertes tritt ein Abknicken der Kurven auf, bedingt durch wenige hohe Schweisskraftwerte, die ausserhalb der Hauptmasse der übrigen Werte liegen. Eine Erklärung für das Auftreten der hohen Schweisskraftwerte ist darin zu sehen, dass mit grösser werdender Lichtbogenbrenndauer die Kontaktstückoberfläche durch Verdampfung stellenweise an CdO verarmt. Die Folge ist ein grösserer Einfluss der Silberkomponente an diesen Stellen. Der Abstand zwischen den Summenhäufigkeitskurven von Ag 1000 und AgCdO 10 wird mit abnehmender Prelldauer grösser.







c

Bei der Prelldauer von 3 ms weicht der Verlauf der Summenhäufigkeitskurven bei asynchroner Einschaltung im Vergleich zu dem bei synchroner Einschaltung erheblich ab. Die Kurve von AgCdO 10 ist zu grösseren Schweisskraftwerten hin verschoben, während jene von Ag 1000 zu kleineren Werten hin tendiert. Aus Fig. 4a ist ersichtlich, dass bei Prelldauern unter 3 ms die Summenhäufigkeitskurven von Kontaktwerkstoffen mit niedrigeren Schweisskraftwerten als AgCdO 10 oberhalb des Grenzwertes von 3 N praktisch nicht mehr darstellbar sind.

Der Einfluss der Polarität bei synchroner Einschaltung auf die Summenhäufigkeit der Schweisskraftwerte von Ag 1000 ist unwesentlich. Demgegenüber weisen die Summenhäufigkeitskurven von AgCdO 10 erhebliche Abweichungen auf, insbesondere bei der Prelldauer $t_P = 5$ ms (Fig. 4c).

Gemittelte $F_{S99,9}$-Werte der Schweisskraft von Ag 1000 und AgCdO 10 bei den untersuchten Prelldauern und Einschaltbedingungen

Tabelle I

Kontaktwerkstoff	Prelldauer ms	Einschaltung synchron: Bewegliches Kontaktstück positiv $F_{S99,9}$-Wert N	Einschaltung synchron: Bewegliches Kontaktstück negativ $F_{S99,9}$-Wert N	Einschaltung asynchron $F_{S99,9}$-Wert N
Ag 1000	1,5	159	146	157
	3,0	267	301	273
	5,0	421	385	459
AgCdO 10	1,5	9,4	17,2	12,1
	3,0	29,7	40,0	63,0
	5,0	119,0	218,0	118,0

Bei der Schweisskraftmessung mit einem Prüfschalter sind die Prüfbedingungen möglichst an die Gegebenheiten in Niederspannungsschaltgeräten der Energietechnik anzupassen, wobei die Verhältnisse in den mittleren Schützgrössen als richtungweisend angesehen werden. Hierfür erscheinen auf Grund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse die mechanische Prelldauer von $t_P = 3$ ms und asynchrones Einschalten geeignet. Ausserdem ist der in den Standardprüfbedingungen zunächst festgelegte hohe Wert der Kontaktkraft von $F_K = 58{,}8$ N in Niederspannungsschaltgeräten nur in Sonderfällen anzutreffen. Zur Ermittlung des Einflusses einer kleineren Kontaktkraft auf die statistische Verteilung der Schweisskraftwerte von Ag 1000 und AgCdO 10 wurden daher die Kontaktkraft $F_K = 29{,}4$ N und die mechanische Prelldauer $t_P = 3$ ms bei asynchroner Einschaltung eingestellt. Die übrigen Prüfbedingungen blieben unverändert.

Fig. 5 zeigt die Summenhäufigkeitskurven der Schweisskraft von jeweils zwei Messreihen. Diese Kurven zeichnen sich durch eine sehr gute Reproduzierbarkeit und Linearität aus. In Fig. 6 sind im Vergleich die mittleren Summenhäufigkeitskurven beider Werkstoffe bei den Kontaktkräften $F_K = 29{,}4$ N und $F_K = 58{,}8$ N dargestellt. Hieraus ist ersichtlich, dass die Summen-

[2]) Der Schweisskraftwert 3 N stellt den unteren Grenzwert dar, da kleinere Schweisskräfte von der Öffnungskraft in Niederspannungsschaltgeräten der Energietechnik ohne weiteres überwunden werden.

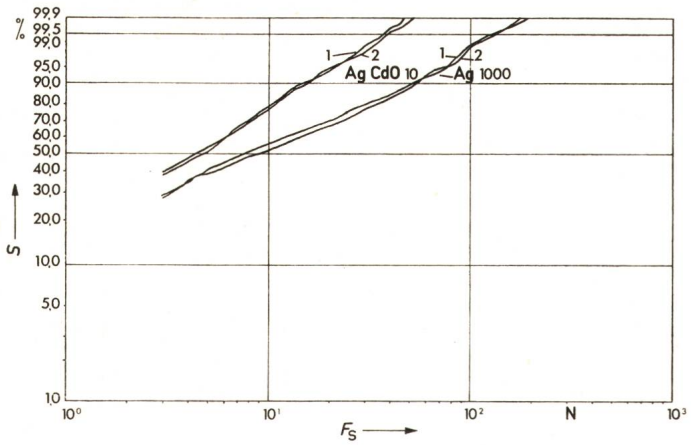


Fig. 5
Summenhäufigkeit S der Schweisskraft F_S von Ag 1000 und AgCdO 10 bei einer Kontaktkraft von F_S = 29,4 N
1 erste Messreihe; *2* zweite Messreihe

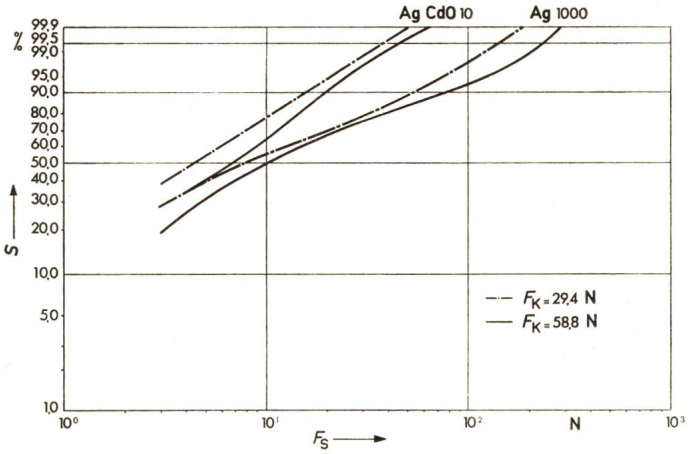


Fig. 6
Mittlere Summenhäufigkeit S der Schweisskraft F_S von Ag 1000 und AgCdO 10 bei den Kontaktkräften F_K = 58,8 N und F_K = 29,4 N

häufigkeitskurven bei der kleineren Kontaktkraft auch zu kleineren Schweisskraftwerten hin verschoben sind. Die $F_{S99,9}$-Werte von Ag 1000 unterscheiden sich um den Faktor 0,66 und die von AgCdO 10 um den Faktor 0,77.

Man kann auf Grund der Konstruktion der Schalteinheit des Prüfschalters voraussetzen, dass zwischen der kinetischen Energie des beweglichen Kontaktstückes und der Kontaktkraft ein Zusammenhang besteht, denn die Prellabhebungen erfolgen gegen die Kontaktkraftfeder. Beim Zusammentreffen der Kontaktstücke werden Oberflächenbereiche verformt, und zwar um so stärker, je grösser die Kontaktkraft ist. Die genannten Unterschiede in den Schweisskraftverteilungen können daher auf die unterschiedlich starke Berührung der Schmelzbereiche auf den Kontaktstückoberflächen nach Beendigung des Prellvorganges zurückgeführt werden.

Literatur

[1] *W. Haufe* u. a.: Einfluss der Schaltzahl und Polarität des Prüfstromes auf die Statistik der Schweisskraftwerte von Reinsilber bei synchronem und unsynchronem Schliessen der Kontaktstücke. Bull. SEV 63(1972)9, S. 461...467.

[2] *E. Geldner* u. a.: Prüfschalter zur Messung der Schweisskraft von Kontaktwerkstoffen für die Starkstromtechnik. ETZ-A 92(1971)11, S. 637...642.

[3] *E. Walczuk:* Über den Einfluss der Energie der Prellichtbögen auf das Verschweissen von Kontakten. E und M 87(1970)4, S. 197...203.

[4] *W. Haufe:* Modelluntersuchungen zur statistischen Verteilung der Schweisskraftwerte von Reinsilber. Bull. SEV 63(1972)18, S. 1033...1036.

Adresse der Autoren:
Wolfgang Haufe, Werner Reichel, Horst Schreiner und *Reinhard Tusche,* Zentrale Fertigungsaufgaben der Siemens AG, Postfach 2449, D-8500 Nürnberg.

CIGRE (Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à haute tension) Session de 1972

Wir geben nachfolgend als Übersicht über die an der CIGRE-Session 1972 in Paris gehaltenen Podiumsdiskussionen die Zusammenfassungen, welche jeweils durch die Sekretäre der Studienkomitees als erste Orientierung verfasst werden.

Eine sehr gute, umfassende Übersicht kann aus den «Rapports généraux» gewonnen werden, welche im Publikationsorgan der CIGRE, der Zeitschrift ELECTRA, in seiner Nr. 25 vom Dezember 1972, Seiten 67 ff. enthalten sind. Diese Übersichten werden von den «Rapporteurs spéciaux» selber verfasst.

Der integrale Bericht über die Session, der auch die vorher eingereichten Berichte und jeden Beitrag anlässlich der Diskussionen enthält, wird nächstens als «Compte-rendu de la Session 1972» erscheinen und kann entweder direkt bei der CIGRE in Paris oder beim SEV bestellt werden.

Nous publions ci-après les compte-rendus que les secrétaires des Comités d'Etudes établissent après les discussions en tant que première orientation sur la Session 1972 de la CIGRE à Paris.

Un très bon résumé, qui contient beaucoup plus de détails, est publié dans l'ELECTRA, nº 25 du mois de décembre 1972, pages 67 ff. Ce sont les rapports généraux établis par les rapporteurs spéciaux eux-mêmes.

Le compte-rendu intégral sur toute la Session qui va paraître prochainement contiendra – à part les rapport publiés avant la session – toutes les contributions faites lors des sessions. Le «compte-rendu de la session 1972» peut être commandé soit directement auprès de la CIGRE à Paris, soit auprès de l'Association Suisse des Electriciens.

Groupe 11 – Machines tournantes

Après ouverture de la Séance par le Président Glebov, M. Ruelle présente les grandes lignes de son Rapport Spécial, établi sur la base des 3 sujets préférentiels qui vont être abordés ci-dessous:

1. Conditions anormales de fonctionnement des grands turbo-alternateurs et hydrogénérateurs, ainsi que des groupes moteurs-générateurs des stations de pompage.

Le Rapporteur Spécial fait, avant d'ouvrir la discussion, la remarque suivante:

La plupart des incidents récents survenus sur les grands générateurs synchrones ont été constatés en marche normale et non lors de régimes anormaux. Le temps est donc peut-être venue de clore ce problème des régimes anormaux et la discussion d'aujourd'hui permettra peut-être d'arriver à ce résultat.

1.1. La discussion s'engage sur les questions 1 à 6 en premier lieu.

a) De nombreux orateurs se succèdent à la tribune pour examiner les avantages et inconvénients que peut présenter pour le matériel et les réseaux une marche asynchrone contrôlée des grands générateurs (questions 1 à 4.).