Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 67 (1976)

Heft: 22

Artikel: Normierte Berechnung von Stoßstromkreisen für vorgegebene Impulsströme

Autor: Modrušan, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915239

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: 08.01.2026

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

Normierte Berechnung von Stoßstromkreisen für vorgegebene Impulsströme

Von M. Modrušan

621.3.015.33

Durch geeignete Normierung werden die wichtigsten Parameter der Stoßstromimpulse sowohl im gedämpft periodischen als auch im aperiodischen Bereich gemeinsam und ohne Diskontinuität dargestellt. Die gegenseitige Abhängigkeit der analytischen und technischen Parameter des Stromimpulses (Stirn- bzw. Rückenhalbwertszeit) wird übersichtlich angegeben. Eine Darstellung der Beeinflussung der Amplituden bzw. der Impulsdauer durch die Veränderung von Kreiselementen ermöglicht zusätzlich eine schnelle Anpassung des Stosskreises an veränderte Impulsdaten.

Par une normalisation judicieuse, les paramètres les plus importants des impulsions de courants de choc sont représentés ensemble et sans discontinuité, aussi bien dans le domaine périodique amorti, que dans le domaine apériodique. La relation réciproque des paramètres analytiques et techniques de l'impulsion de courant (durée de mi-amplitude du front et du dos) est clairement indiquée. Une représentation de la variation des amplitudes et de la durée d'impulsion en fonction des éléments du circuit de choc permet en outre une rapide adaptation de celui-ci à un changement des caractéristiques des impulsions.

1. Einleitung

Rasch veränderliche Ströme hoher Amplitude werden immer häufiger für verschiedene Prüf- und Forschungszwecke verwendet. Dabei wird der Stromimpuls aus praktischen Gründen meistens mit technischen Parametern, d. h. mit der Stirn- bzw. Rückenhalbwertszeit sowie mit der Amplitude, vorbestimmt (Fig. 1) [1; 2] [1]).

Zur Erzeugung derartiger Stromimpulse dient meistens ein einfacher Serieschwingkreis (Fig. 2), für den die analytischen Ausdrücke des Ausgleichstromes allgemein bekannt sind. Bei der praktischen Auslegung eines Stoßstromkreises für einen vorgegebenen Stromimpuls wird zunächst der Zusammenhang zwischen den technischen und den analytischen Kenngrössen des betreffenden Stromimpulses ermittelt werden müssen. Dieser Zusammenhang kann verhältnismässig einfach mittels numerischer Berechnung gefunden werden. Für die praktische Anwendung ist jedoch von ausschlaggebender Wichtigkeit, in welcher Form dieser Zusammenhang präsentiert wird. Das Ziel dieses Aufsatzes liegt gerade darin, eine für die Praxis geeignete und allgemein anwendbare Methode sowie Berechnungsunterlagen des Stoßstromkreises vorzulegen. Ansätze dazu wurden bereits in [3] angegeben.

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

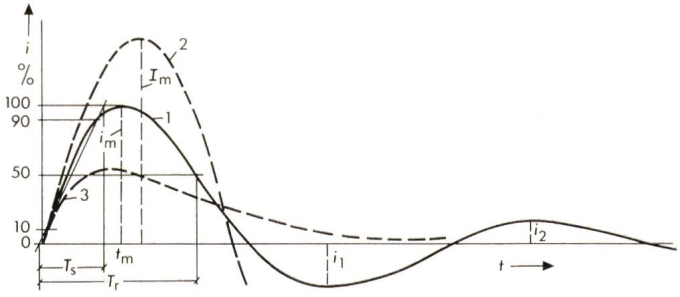


Fig. 1 Stromimpuls als periodisch gedämpfte Schwingung (1). Vergleich mit ungedämpfter (2) bzw. aperiodisch gedämpfter Schwingung (3)

T_s, T_r Stirn- bzw. Rückenhalbwertszeit
i_m Stromamplitude
i_1 Durchschwingung

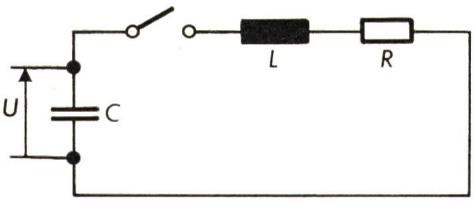


Fig. 2 Vereinfachter Stoßstromkreis

2. Normierung der analytischen Ausdrücke

Um die Normierung der Stoßstromgleichungen und der aus ihnen abgeleiteten Ausdrücke durchführen zu können, wurden Bezugsgrössen für den Strom, die Zeit, die Dämpfung usw. eingeführt (Anhang 1). Diese stellen alle charakteristischen Merkmale des Schwingkreises dar.

In einem Schwingkreis gemäss Fig. 2 wird die Form des Ausgleichstromes von der Dämpfung stark abhängig sein. Deswegen kommt der in Gl. (1A) definierten relativen Dämpfung $R_r = R/R_{ap}$ grosse Bedeutung zu. Der Stromimpuls wird bei $0 < R_r < 1$ gedämpft periodisch und bei $R_r \geqq 1$ aperiodisch, wobei der Fall $R_r = 1$ den aperiodischen Grenzfall ergibt. Entsprechend wäre im Falle $R_r = 0$ der Kreis ungedämpft.

Die hier eingeführte relative Dämpfung R_r wird im nachfolgenden als unabhängige Veränderliche betrachtet, was beträchtliche Vorteile bei der gemeinsamen Darstellung der beiden Bereiche der Stromschwingung (periodischer und aperiodischer Bereich) mit sich bringt. Alle weiteren Merkmale des Stromimpulses werden als Funktionen der eingeführten relativen Dämpfung dargestellt.

Durch das Einsetzen von normierten Grössen in die allgemein bekannten Stromgleichungen (Anhang 2) erhält man diese ebenso in normierter Form (Anhang 3). Dabei ist der Verlauf des normierten Stromes i_n ausser von der normierten Zeit t_n nur noch von der normierten Dämpfung R_r abhängig. Die übrigen Charakteristika des Stromimpulses, wie z. B. der Ausnutzungsgrad η

$$\eta = i_m/I_m \tag{1}$$

ferner die Scheitelwertzeit t_{mn}, die Leistung $\hat{P}_n$, der Spannungsabfall am Widerstand u_{Rm} und die Stromdurchschwingung i_{1r} sind reine Funktionen der relativen Dämpfung R_r. Dieser Umstand erlaubt eine gemeinsame graphische Darstellung der erwähnten Grössen (Fig. 3 und 4). Hier ist von besonderem Interesse, dass alle diese Grössen kontinuierlich aus dem periodischen in den aperiodischen Bereich verlaufen.

Der Verlauf der Leistung $\hat{P}_n$ im Scheitelwert des Stromes weist bei einer Dämpfung von $R_r = 0{,}553$ den Extremwert auf, der nach Gl. (27A) $\hat{P}_n = 0{,}2992 \approx 0{,}30$ beträgt.

Die relative Durchschwingung i_{1r} fällt mit wachsender Dämpfung sehr rasch ab. Es ist naheliegend, dass die Dämpfung $R_r = 1$, d. h. die aperiodische Grenzschwingung, keineswegs eine wirtschaftliche Lösung darstellt, da dabei der Ausnutzungsgrad η lediglich noch 36,8 % beträgt. Lässt man z. B. eine vernachlässigbar kleine Durchschwingung von ca. 1,5 %

noch zu ($R_r = 0{,}8$), so kann unter sonst unveränderten Bedingungen eine um ca. 15% höhere Stromamplitude erhalten werden.

Mit dem bekannten Ausnutzungsgrad η lässt sich der Stromscheitelwert i_m in einem gegebenen Kreis nach Fig. 2 aus Gl. (1) und (5A) ermitteln als

$$i_m = \eta\, U/Z \tag{2}$$

Dieser Ausdruck gilt für eine beliebige Dämpfung, die in η enthalten ist.

3. Zusammenhang der technischen und analytischen Kenngrössen

Wie erwähnt, muss zur Auslegung eines Stoßstromkreises für einen gegebenen Impuls noch der Zusammenhang zwischen den als technisch bezeichneten Kenngrössen T_s und T_r (Fig. 1) und den entsprechenden analytischen Merkmalen des Stromimpulses, wie z. B. der Dämpfung R_r und der Kreiszeitkonstanten $T = \sqrt{LC}$, bestimmt werden. Dieser Zusammenhang ist hier in normierter Form dargestellt, wobei mit einer numerischen Näherungsmethode für Stromverläufe gemäss Gl. (21A) und (22A) die Zeiten t_{1n}, t_{2n} und t_{3n} entsprechend 10%, 90% und 50% der Stromamplitude ermittelt worden sind. Die Dämpfung wurde dabei in Schritten von $\Delta R_r = 0{,}05$ als Parameter variiert. Dies ergab für die normierte Stirnzeit

$$T_{sn} = T_s/T = 1{,}25\,(t_{2n} - t_{1n}) \tag{3}$$

und für die normierte Rückenhalbwertszeit

$$T_{rn} = T_r/T = t_{3n} + 0{,}125\,(t_{2n} - 9\,t_{1n}) \tag{4}$$

in Abhängigkeit der jeweiligen Dämpfung R_r. Bezieht man diese Zeiten auf die entsprechenden Zeiten bei ungedämpfter Stromschwingung ($R_r = 0$), so hat man schliesslich eine noch besser überschaubare Zeitnormierung, nämlich

$$T'_{sn} = T_{sn}/T_{sn\,(0)}; \quad T'_{rn} = T_{rn}/T_{rn\,(0)} \tag{5}$$

und ähnlich für die Scheitelwertszeit

$$t'_{mn} = t_{mn}/t_{mn\,(0)}.$$

Die drei normierten Zeiten bei ungedämpfter Schwingung betragen dabei $T_{sn\,(0)} = 1{,}275$; $T_{rn\,(0)} = 2{,}645$; $t_{mn\,(0)} = 1{,}571$.

In Fig. 4 sind die neuen relativen Zeiten gemäss dieser Definition wieder in Funktion der Dämpfung aufgetragen. Die Stirn- bzw. Scheitelwertszeiten werden mit zunehmender Dämpfung immer kürzer, während die Rückenhalbwertszeit bei einer Dämpfung $R_r \approx 0{,}42$ ein Minimum durchläuft, das ca. 4,2% unter dem Bezugswert bei $R_r = 0$ liegt.

Beim praktischen Berechnungsvorgang wird man normalerweise von gegebenen Zeiten T_s und T_r ausgehen müssen. Um dies zu erleichtern, sind in Fig. 6 die wichtigsten Grössen als Funktion des Zeitverhältnisses T_r/T_s aufgetragen. Dabei ist auffallend, dass der Verlauf der Dämpfung R_r eine relativ schwache Krümmung aufweist, so dass man die Grösse T_r/T_s ebensogut als ein Dämpfungsmass ansehen kann.

4. Berechnungsvorgang

Wie erwähnt, muss man bei der Auslegung eines Stoßstromkreises meistens von den vorgegebenen Daten eines Stromimpulses T_s, T_r und i_m ausgehen. Dazu ist noch eine weitere Grösse, meistens die Ladespannung U, zu wählen. Oft

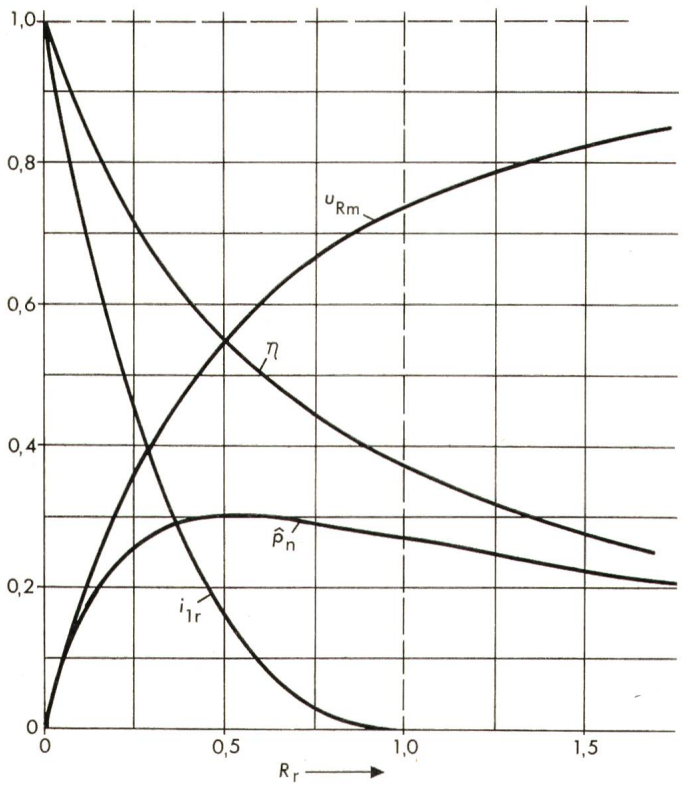


Fig. 3 **Ausnutzungsgrad η, Spannungsabfall u_{Rm}, Leistung $\hat{P}_n$ und Durchschwingung i_{1r} als Funktionen der relativen Dämpfung** $R_r = R/R_{ap}$

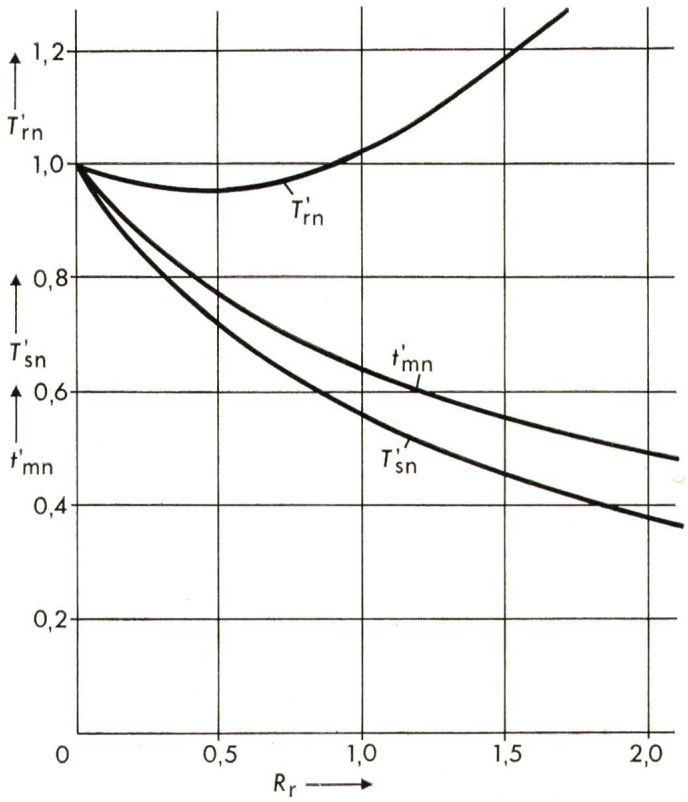


Fig. 4 **Einfluss der Dämpfung auf die Stirnzeit T'_{sn}, Scheitelwertszeit t'_{mn} und die Rückenhalbwertszeit T'_{rn}**
Alle Werte bezogen auf die ungedämpfte Stromschwingung

ist jedoch auch die Induktivität des Prüfobjektes vorbestimmt, wodurch, zusammen mit der normalerweise bekannten Eigeninduktivität des Stosskreises, die ganze Induktivität L bereits gegeben ist. Man unterscheidet dementsprechend zwei Berechnungswege.

4.1 Ladespannung U vorgegeben

Für den vorgegebenen Impuls T_s, T_r und i_m werden aus Fig. 5 Dämpfung R_r, Ausnutzungsgrad η und die normierte Stirnzeit T_{sn} abgelesen. Bevor man weiterrechnet, sollte man in Fig. 3 die relative Durchschwingung i_{1r} kontrollieren. Nach Bedarf wird die Dämpfung R_r so weit erhöht, bis die Durchschwingung unterhalb eines gewünschten Betrages bleibt. Für das neue R_r findet man in Fig. 5 das neue Zeitverhältnis T_r'/T_s'. Beträgt dabei die Veränderung

$$\frac{T_r'/T_s'}{T_r/T_s} = 1 + 2a, \tag{6}$$

so werden die neuen Zeiten zu

$$T_r' \approx T_r\,(1 + a) \text{ und } T_s' \approx T_s\,(1 - a) \tag{7}$$

bestimmt [3].

Mit den nun bekannten Daten lassen sich alle Kreiselemente bestimmen. So wird zunächst die Zeitkonstante (7A) aus Gl. (3) als $T = T_s/T_{sn}$ und die Kreisimpedanz aus Gl. (2) gefunden. Mit diesen beiden Parametern können nun C und L ermittelt werden; aus den Gleichungen (3A) und (7A) erhält man

$$C = T/Z \text{ und} \tag{8}$$

$$L = T^2/C. \tag{9}$$

Für den Dämpfungswiderstand folgt schliesslich aus Gl. (1A) und (2A)

$$R = 2\,R_r\,Z. \tag{10}$$

4.2 Induktivität L vorgegeben

Falls die Induktivität des Prüfobjektes L_0 vorliegt, wird bei einer bestimmten Konstruktion des Prüfkreises mit bekannter Eigeninduktivität L_g die Induktivität des gesamten Stosskreises zu $L = L_0 + L_g$. Anderseits ist bei einem Stromimpuls gegebener Form (d. h. Dämpfung, Dauer und Stromamplitude) die grösste Stromsteilheit

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{t=0} = \frac{U}{L} = K \tag{11}$$

als eine impulsgebundene Konstante ebenso gegeben; die erforderliche Ladespannung ist somit direkt proportional zur Induktivität.

Für K findet man aus Gl. (2)

$$K = i_m/\eta \cdot T \tag{11a}$$

Diese Konstante kann aus den bekannten Daten T_s, T_r und i_m, über T_{sn} und η aus Fig. 5 bestimmt werden, wobei wiederum eine vorhergehende Korrektur der Zeiten T_s und T_r für kleinere Durchschwingung in Erwägung gezogen werden soll.

In Fig. 6 ist ein neuartiger Stoßstromgenerator abgebildet. Die Kondensatorbatterie besteht aus 8 Einzelkondensatoren, die hufeisenförmig um die Funkenstrecke angeordnet sind. Dadurch wurde völlige Symmetrie der einzelnen Teilkreise

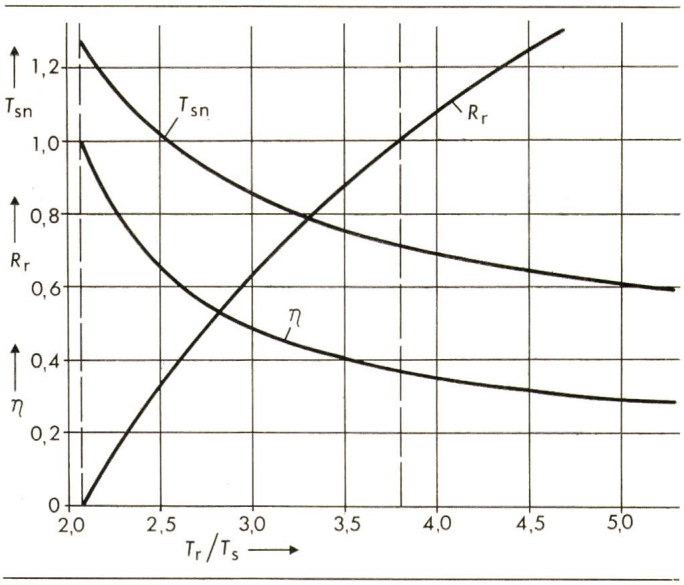


Fig. 5 Ausnutzungsgrad η, normierte Dämpfung R_r und normierte Stirnzeit T_{sn} als Funktion des Zeitverhältnisses T_r/T_s

sowie eine minimale Eigeninduktivität erzielt. Durch die grosse Flexibilität der einzelnen Kreiselemente können mit diesem Generator über hundert verschiedene Stromimpulse erhalten werden, wobei noch zusätzlich die Stromamplitude von 5% bis 100% des Nennwertes einstellbar ist.

4.3 Näherungsformel

Die meisten Stoßstromimpulse werden wegen des höheren Ausnutzungsgrades im gedämpft periodischen Strombereich gewählt. Auf Grund des Zusammenhangs $T_{sn}' = f_1\,(R_r)$ sowie $T_{rn}' = f_2\,(R_r)$, die in Fig. 4 aufgetragen sind, können die folgenden Näherungsformeln aufgestellt werden:

$$\frac{T_r}{T_s} = \frac{T_{rn}'}{T_{sn}'} \cdot \frac{T_{rn\,(0)}}{T_{sn\,(0)}} \approx 2{,}05\,e^{0{,}61\,R_r} \tag{12}$$

$$T_{sn} \approx 1/(0{,}78 + 0{,}62\,R_r) \tag{13}$$

wobei die Abweichung zu den genauen Werten von T_r/T_s und T_{sn} im ganzen periodischen Bereich unter 1% bleibt. Zusammen mit den übrigen analytischen Ausdrücken lässt sich somit der Stoßstromkreis auch rein rechnerisch auslegen.

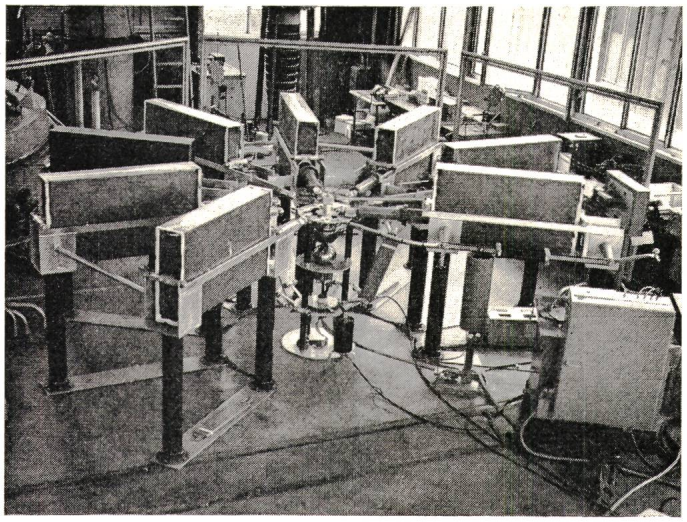


Fig. 6 Ausgeführter Stoßstromgenerator 100 kV, 80 kJ

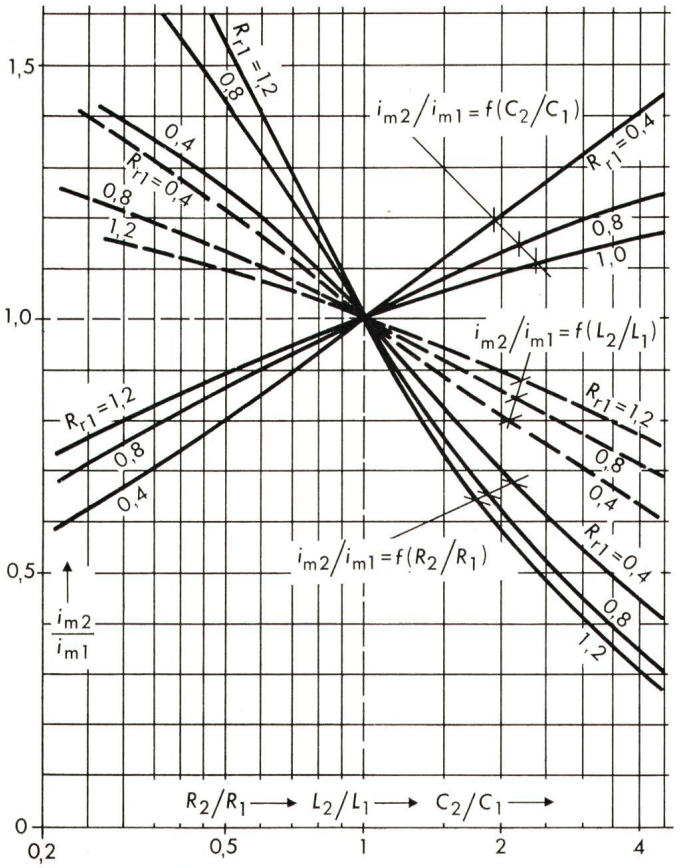


Fig. 7 Einfluss der Veränderung von Kreiselementen auf die Stromamplitude. Anfangsdämpfung als Parameter

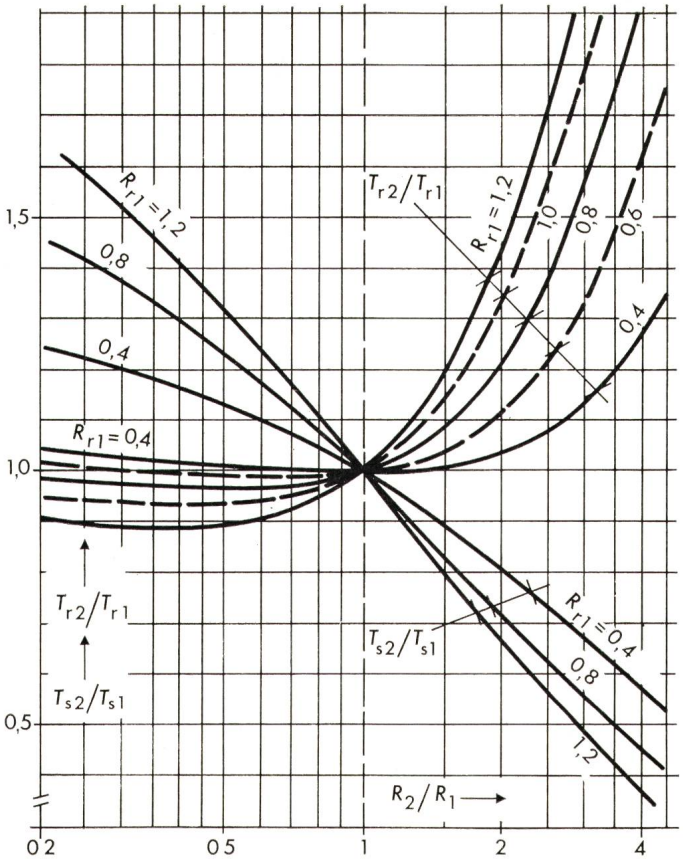


Fig. 8 Einfluss der Widerstandsänderung auf die Impulsdauer. Anfangsdämpfung als Parameter

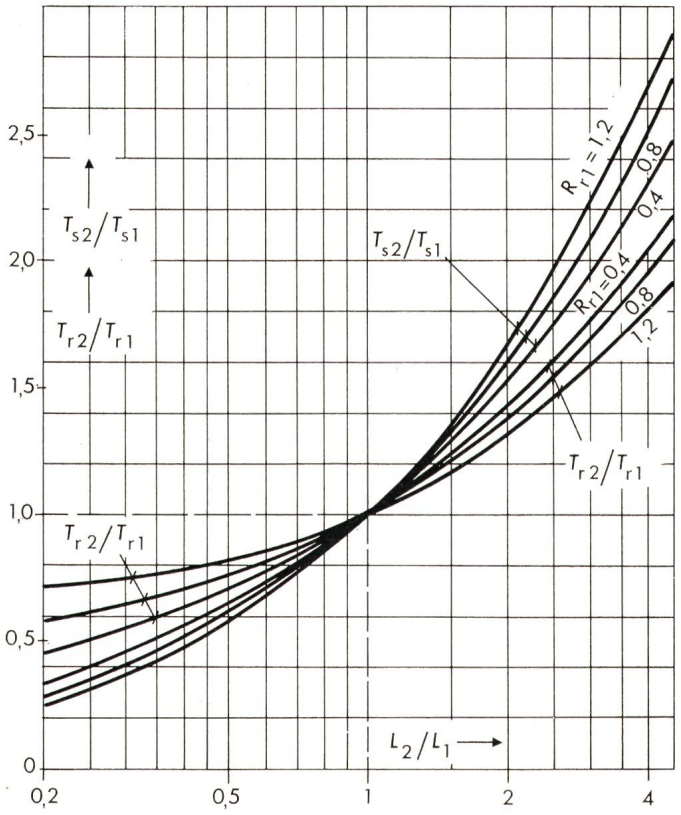


Fig. 9 Einfluss der Induktivitätsänderung auf die Impulsdauer. Anfangsdämpfung als Parameter

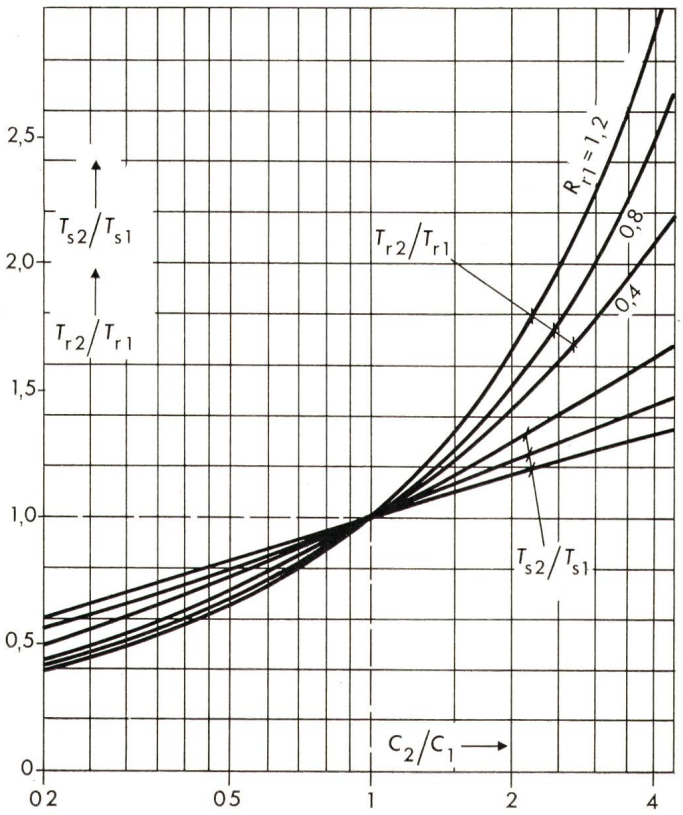


Fig. 10 Einfluss der Kapazitätsänderung auf die Impulsdauer. Anfangsdämpfung als Parameter

5. Anpassung des Stosskreises für veränderte Stromimpulsdaten

Bei den ausgeführten Stoßstromgeneratoren ist es oft erforderlich, die Kreiselemente C, L und R dermassen abzuändern, dass ein bestimmter neuer Stromimpuls mit gewünschter Amplitude bzw. Dauer erhalten wird.

Um diese Aufgabe zu erleichtern, wurden bei der Veränderung jeweils nur eines Kreiselementes die Änderung der Impulscharakteristika (Amplitude und Stirn- bzw. Rückenhalbwertszeit) ermittelt. Im Anhang 4 sind die Formeln für die diesbezüglichen Veränderungen zusammengestellt. Zusätzlich sind sie in Fig. 7...10 graphisch dargestellt. Dabei ist in Fig. 7 die Beeinflussung der Stromamplitude durch jedes der drei Kreiselemente getrennt angegeben, wobei die Anfangsdämpfung R_{r1} als Parameter dient. Mit den angegebenen Dämpfungen $0{,}4 < R_{r1} < 1{,}2$ können praktisch alle vorkommenden Fälle der Stromimpulse miterfasst werden. In Fig. 8...10 sind die relativen Änderungen der Stirn- bzw. Rückenhalbwertszeiten ebenso in Abhängigkeit von jeweils nur einem Kreiselement dargestellt. Dank den angegebenen Kurven ist es möglich, eine rasche und übersichtliche Kreiskorrektur für veränderte Impulsdaten durchzuführen.

Anhang 1: Normierte Grössen

Bezeichnung	Definition	
a) Normierte Dämpfung	$R_r = R/R_{ap}$	(1A)
– Dämpfungswiderstand bei aperiodischer Grenzschwingung	$R_{ap} = 2\,Z$	(2A)
– Kreisimpedanz	$Z = \sqrt{L/C}$	(3A)
b) Normierter Strom	$i_n = i/I_m$	(4A)
– Amplitude der ungedämpften Stromschwingung	$I_m = U/Z$	(5A)
c) Normierte Zeit	$t_n = t/T$	(6A)
– Zeitkonstante	$T = \sqrt{LC}$	(7A)
d) Normierte max-Leistung	$\hat{P}_n = \hat{P}/P_k$	(8A)
– max-Leistung	$\hat{P} = i_m{}^2 R$	(9A)
– charakteristische Leistung	$P_k = U^2/Z$	(10A)
e) Normierter Spannungsabfall am Widerstand	$U_{Rm} = U_R/U$	(11A)
– Spannungsabfall am Widerstand	$U_R = i_m R$	(12A)
f) Relative Stromdurchschwingung	$i_{1r} = i_1/i_m$	(13A)

Anhang 2: Analytische Ausdrücke

Grösse	Schwingungsbereich: gedämpft periodisch ($0 < R_r < 1$)		Schwingungsbereich: aperiodisch ($R_r > 1$)	
Dämpfungsfaktor	$\delta = R/2L$ (14A)			
Dämpfungskriterium	$\delta^2 < 1/LC$		$\delta^2 > 1/LC$	
Stromverlauf	$i = I_1\,e^{-\delta t} \sin \omega t$	(15A)	$i = 2I_2\,e^{-\delta t}\,\mathrm{sh}\left(t\sqrt{\delta^2 - \frac{1}{LC}}\right)$	(16A)
Stromkonstante	$I_1 = \frac{U}{\omega L}$	(16A)	$I_2 = \frac{U}{\sqrt{R - 4\frac{L}{C}}}$	(17A)
Kreisfrequenz	$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \delta^2}$	(18A)		
Scheitelwertszeit	$t_m = \frac{1}{\omega}\,\mathrm{arctg}\,\frac{\omega}{\delta}$	(19A)	$t_m = \frac{\ln\left(\sqrt{LC\delta^2 - 1} + \delta\sqrt{LC}\right)}{\sqrt{\delta^2 - \frac{1}{LC}}}$	(20A)

Anhang 3: Normierte analytische Ausdrücke

Stromverlauf	$i_n = \frac{e^{-R_r t_n}}{\sqrt{1 - R_r^2}} \sin\left(t_n\sqrt{1 - R_r^2}\right)$	(21A)	$i_n = \frac{e^{-R_r t_n}}{\sqrt{R_r^2 - 1}}\,\mathrm{sh}\left(t_n\sqrt{R_r^2 - 1}\right)$	(22A)
Scheitelwertszeit	$t_{mn} = \frac{\mathrm{arctg}\sqrt{(1 - R_r^2)/R_r^2}}{\sqrt{1 - R_r^2}}$	(23A)	$t_{mn} = \frac{\ln\left(R_r + \sqrt{R_r^2 - 1}\right)}{\sqrt{R_r^2 - 1}}$	(24A)
Ausnutzungsgrad	$\eta = \exp\left(-\frac{R_r}{\sqrt{1 - R_r^2}}\,\mathrm{arc\,sin}\sqrt{1 - R_r^2}\right)$	(25A)	$\eta = \left(R_r + \sqrt{R_r^2 - 1}\right)^{-R_r/\sqrt{R_r^2 - 1}}$	26A)
Leistung	$\hat{P}_n = 2\,R_r \cdot \exp\left(-\frac{2\,R_r}{\sqrt{1 - R_r^2}}\,\mathrm{arc\,sin}\sqrt{1 - R_r^2}\right)$	(27A)	$\hat{P}_n = 2\,R_r\left(R_r + \sqrt{R_r^2 - 1}\right)^{-2R_r/\sqrt{R_r^2 - 1}}$	(28A)
Spannungsabfall am Widerstand	$u_{Rm} = 2\,R_r \cdot \exp\left(-\frac{R_r}{\sqrt{1 - R_r^2}}\,\mathrm{arc\,sin}\sqrt{1 - R_r^2}\right)$	(29A)	$u_{Rm} = 2\,R_r\left(R_r + \sqrt{R_r^2 - 1}\right)^{-R_r/\sqrt{R_r^2 - 1}}$	(30A)
Relative Durchschwingung	$i_{1r} = \exp\left(-\frac{\pi\,R_r}{\sqrt{1 - R_r^2}}\right)$	(31A)		

Anhang 4: Veränderung der Impulscharakteristika bei Variierung nur eines Kreiselementes

Änderung des Kreiselementes	Veränderte Impulscharakteristika			
	Dämpfung R_{r2}	Amplitude i_{m2}/i_{m1}	Stirnzeit T_{s2}/T_{s1}	Rückenzeit T_{r2}/T_{r1}
R (C, L = konst)	$R_{r1}\frac{R_2}{R_1}$	$\frac{\eta_2}{\eta_1}$	$\frac{T_{sn,2}}{T_{sn,1}}$	$\frac{T_{rn,2}}{T_{rn,1}}$
C (R, L = konst)	$R_{r1}\sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$	$\frac{\eta_2}{\eta_1}\sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$	$\frac{T_{sn,2}}{T_{sn,1}}\sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$	$\frac{T_{rn,2}}{T_{rn,1}}\sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$
L (R, C = konst)	$R_{r1}\sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$	$\frac{\eta_2}{\eta_1}\sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$	$\frac{T_{sn,2}}{T_{sn,1}}\sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$	$\frac{T_{rn,2}}{T_{rn,1}}\sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$

Literatur

[1] Erzeugung und Messung von Hochspannungen. Teil 3: Bestimmungen für die Erzeugung und Anwendung von Stoßspannungen und Stoßströmen für Prüfzwecke. VDE-Vorschrift 0433 Teil 3/4.66.

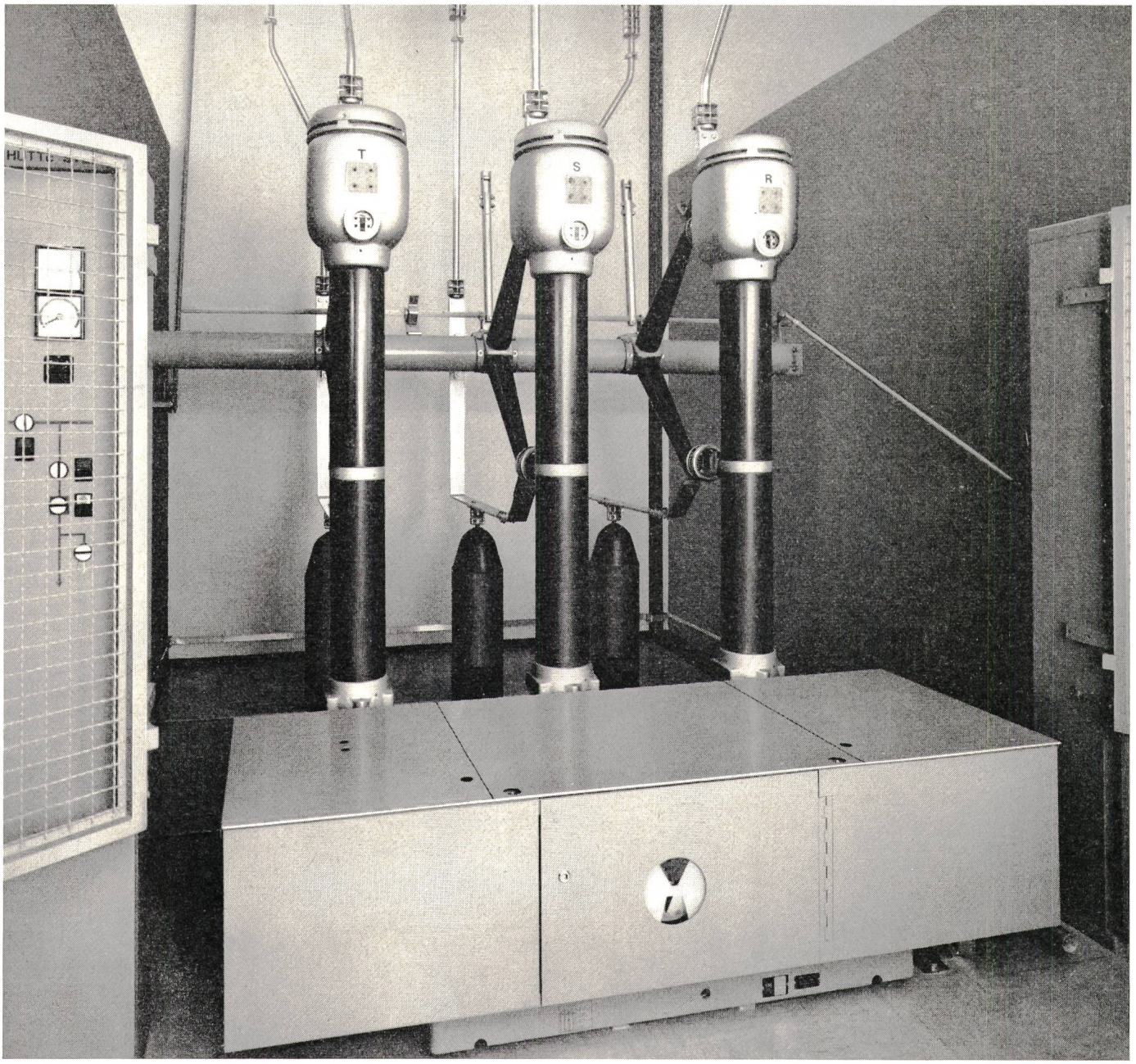
[2] Techniques des essais à haute tension. 2e partie: Modalités d'essais. Publication de la CEI N° 60–2(1973).

[3] *M. Modrušan:* Realisation of the prescribed exponential impuls currents for different kinds of test samples. In: Internationales Symposium Hochspannungstechnik, 9. ... 13. September 1975, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich. Zürich, SEV, 1975; Bd. 1, S. 155...160.

Adresse des Autors

Dr.-Ing. *Martin Modrušan*, Emil Haefely & Cie. AG, 4028 Basel.

Der Leistungsschalter für **trennerlose Innenraum-Anlagen** auch im 72,5 kV-Bereich



Dadurch

Mehr Sicherheit durch zuverlässige mechanische Direktverriegelungen zwischen Schalterkontakten und Trennkontakten.

Grösstmögliche Raumersparnisse durch Wegfall der Trennschalter.

Ideale Revisionsmöglichkeit.

Einige Daten

Nennspannung bis 72,5 kV, Nennstrom 1250, 1600, 2000 A, Nennausschaltstrom 20, 31,5 kA

Aus-/ Einfahr-Vorgang durch Handkurbel oder durch aufgebauten Motor fernsteuerbar.

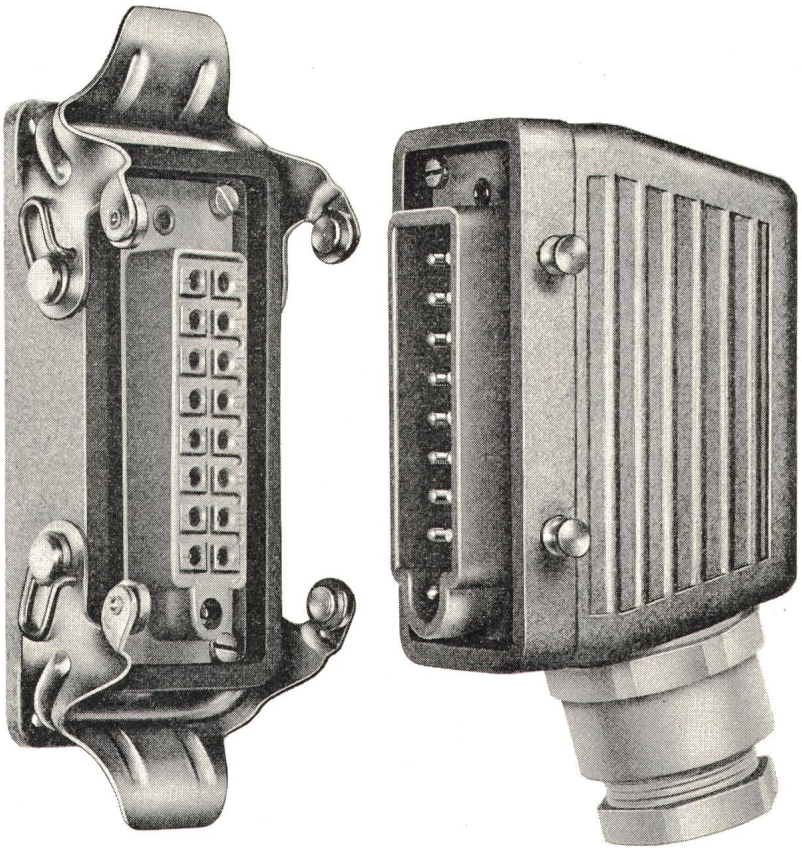
Verlangen Sie Katalog 41 20 oder weitere Informationen bei

sprecher + schuh

Sprecher + Schuh AG
5001 Aarau/Schweiz
Telefon 064/25 21 21

764 E

Haben Sie Steckerprobleme?



Unser Verkaufsprogramm von Starkstrom- und Steuergeräten umfasst:

Leistungsschalter, Endschalter, Mikroschalter, Schütze, Motorschutzschalter, Relais, Druckwächter, Druckknopfschalter, Drehschalter, Kippschalter, Annäherungsschalter, Programmschaltwerke, Steckvorrichtungen.

ILME-Steckvorrichtungen

- *Kontaktzahl:* *6/10/16/24/32/48+E*
- *Nennspannung:* *380 V*
- *Nennstrom:* *16 A*
- *Prüfspannung:* *4000 V/50 Hz/1 Min.*
- *Isolationswiderstand:* *> 50 MΩ*
- *Schutzart:* *P 44 (nach DIN 40 050)*

Günstige Preise, ab Lager lieferbar

TRACO ZURICH

TRACO TRADING COMPANY LIMITED
JENATSCHSTR. 1 8002 ZURICH TEL. 051 360711