

# Normierte Berechnung von Stoßstromkreisen für vorgegebene Impulsströme

Autor(en): **Modrušan, M.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **67 (1976)**

Heft 22

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-915239>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# 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 Stoßstromkreises 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 aperiodique. 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]<sup>1)</sup>.

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.

<sup>1)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

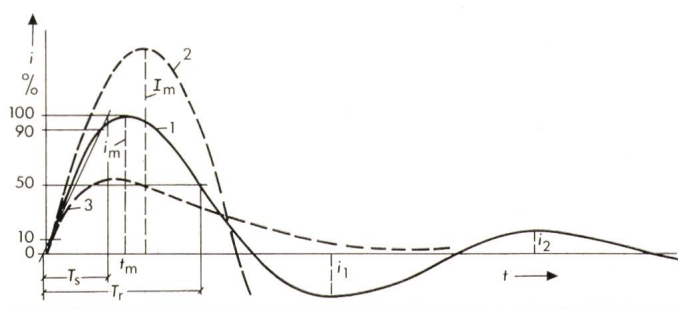


Fig. 1 Stromimpuls als periodisch gedämpfte Schwingung (1). Vergleich mit ungedämpfter (2) bzw. aperiodisch gedämpfter Schwingung (3)  
 $T_s, T_r$  Stirn- bzw. Rückenhalbwertszeit  
 $i_m$  Stromamplitude  
 $i_1$  Durchschwingung

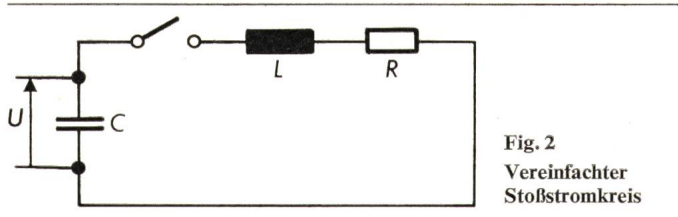


Fig. 2 Vereinfachter Stoßstromkreis

## 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  $R_r \geq 1$  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  $\eta$

$$\eta = i_m / I_m \quad (1)$$

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  $\eta$  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  $\eta$  lässt sich der Stromsichelwert  $i_m$  in einem gegebenen Kreis nach Fig. 2 aus Gl. (1) und (5A) ermitteln als

$$i_m = \eta U/Z \quad (2)$$

Dieser Ausdruck gilt für eine beliebige Dämpfung, die in  $\eta$  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

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

und für die normierte Rückenhalbwertszeit

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

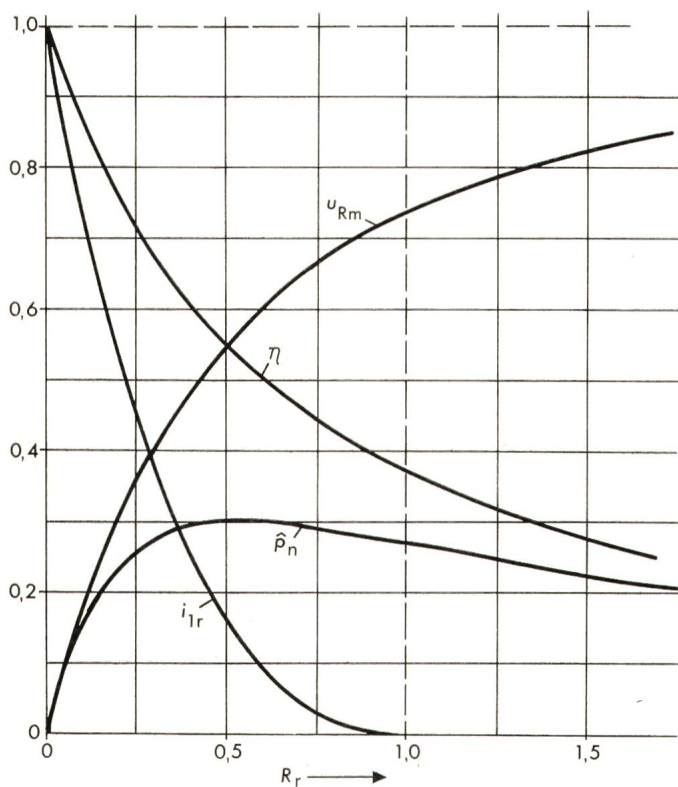


Fig. 3 Ausnutzungsgrad  $\eta$ , Spannungsabfall  $u_{R,m}$ , Leistung  $\hat{P}_n$  und Durchschwingung  $i_{1r}$  als Funktionen der relativen Dämpfung  $R_r = R/R_{ap}$

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

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

und ähnlich für die Sichelwertzeit

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

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. Sichelwertzeiten 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

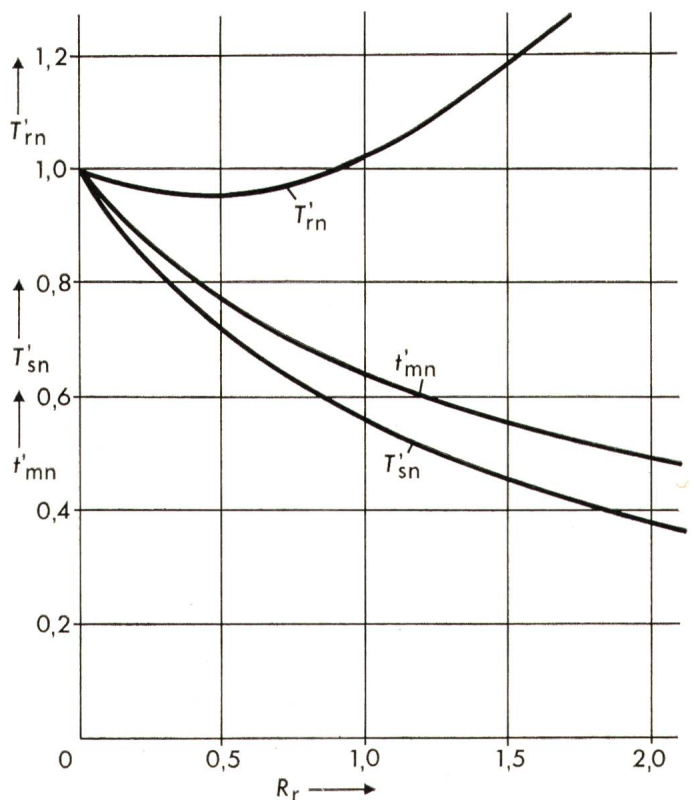


Fig. 4 Einfluss der Dämpfung auf die Stirnzeit  $T'_{sn}$ , Sichelwertzeit  $t'_{mn}$  und die Rückenhalbwertszeit  $T'_{rn}$ . Alle Werte bezogen auf die ungedämpfte Stromschwingung

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  $\eta$  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

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

so werden die neuen Zeiten zu

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

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

$$C = T/Z \text{ und} \quad (8)$$

$$L = T^2/C. \quad (9)$$

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

$$R = 2 R_r Z. \quad (10)$$

#### 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  $L = L_0 + L_g$ . Andererseits ist bei einem Stromimpuls gegebener Form (d. h. Dämpfung, Dauer und Stromamplitude) die grösste Stromsteilheit

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

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

Für  $K$  findet man aus Gl. (2)

$$K = i_m/\eta \cdot T \quad (11a)$$

Diese Konstante kann aus den bekannten Daten  $T_s$ ,  $T_r$  und  $i_m$ , über  $T_{sn}$  und  $\eta$  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

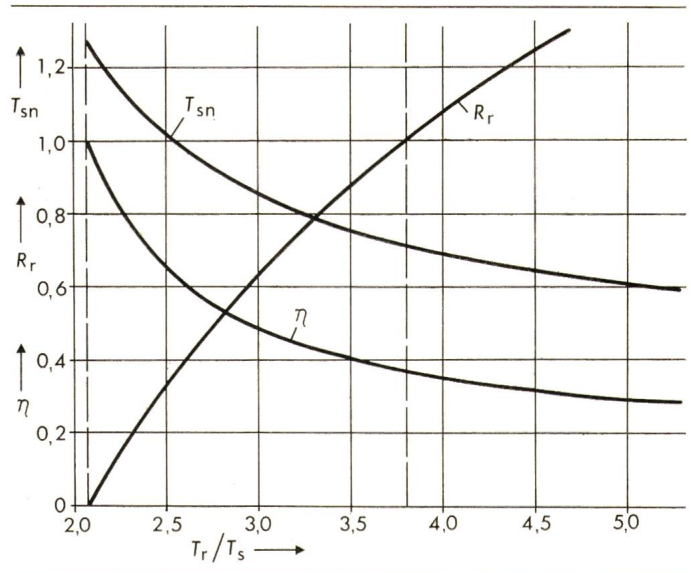


Fig. 5 Ausnutzungsgrad  $\eta$ , normierte Dämpfung  $R_r$  und normierte Stirnzeit  $T_{sn}$  als Funktion des Zeitverhältnisses  $T_r/T_s$

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  $T_r' = f_2(R_r)$ , die in Fig. 4 aufgetragen sind, können die folgenden Näherungsformeln aufgestellt werden:

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

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

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.

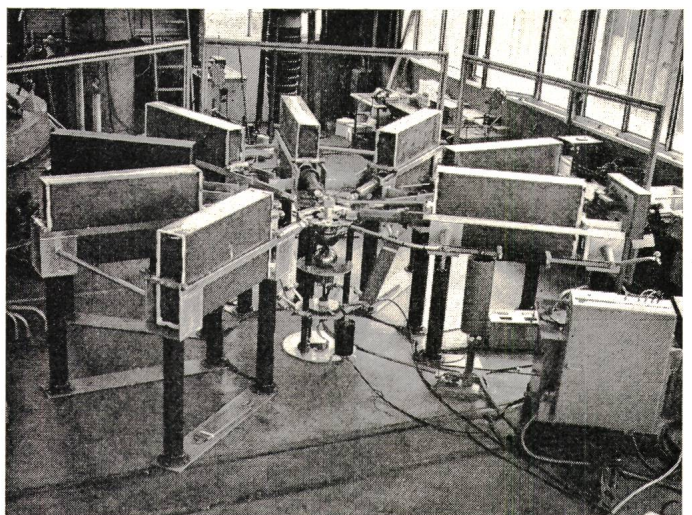


Fig. 6 Ausgeführter Stoßstromgenerator 100 kV, 80 kJ

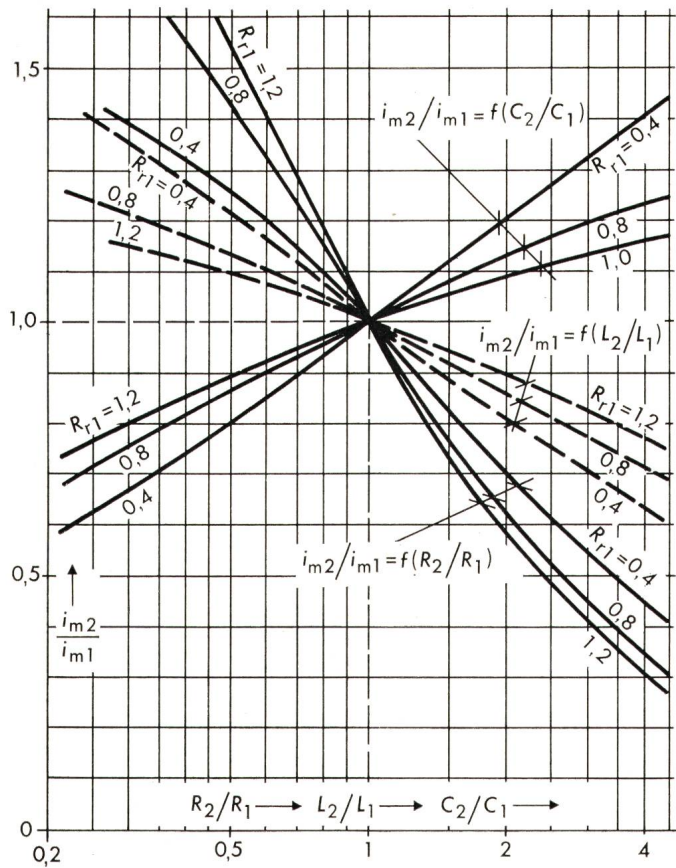


Fig. 7 Einfluss der Veränderung von Kreiselementen auf die Stromamplitude. Anfangsdämpfung als Parameter

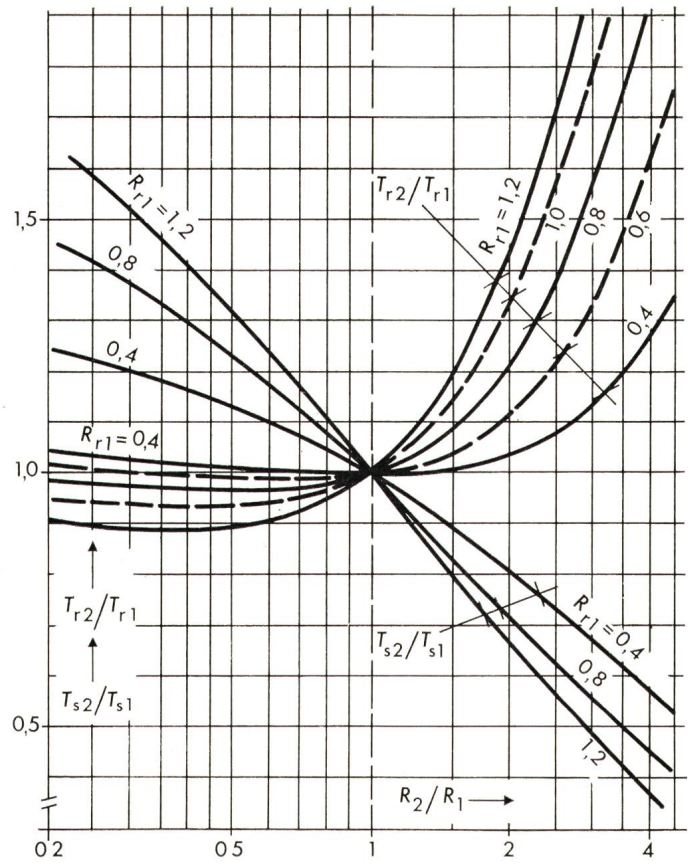


Fig. 8 Einfluss der Widerstandsänderung auf die Impulsdauer. Anfangsdämpfung als Parameter

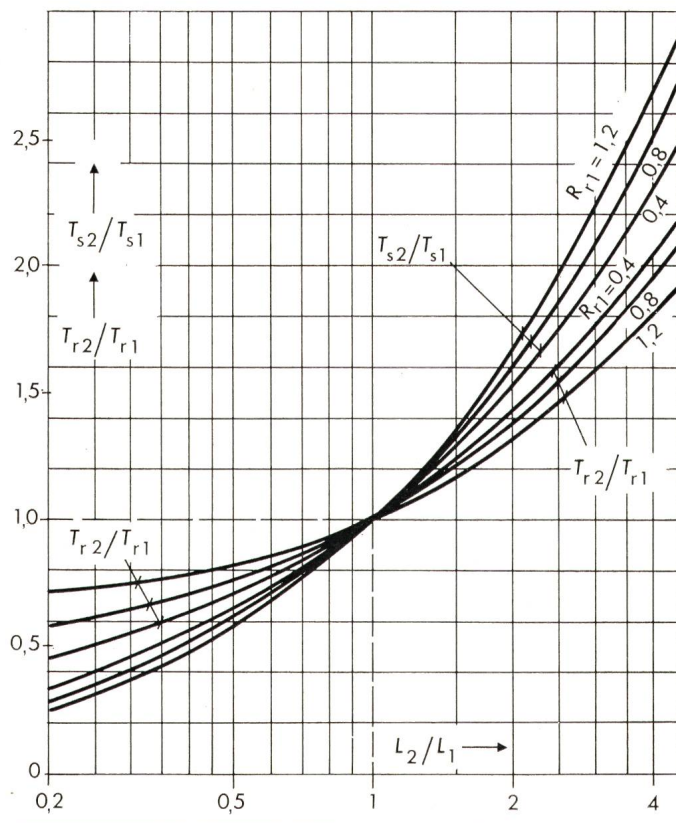


Fig. 9 Einfluss der Induktivitätsänderung auf die Impulsdauer. Anfangsdämpfung als Parameter

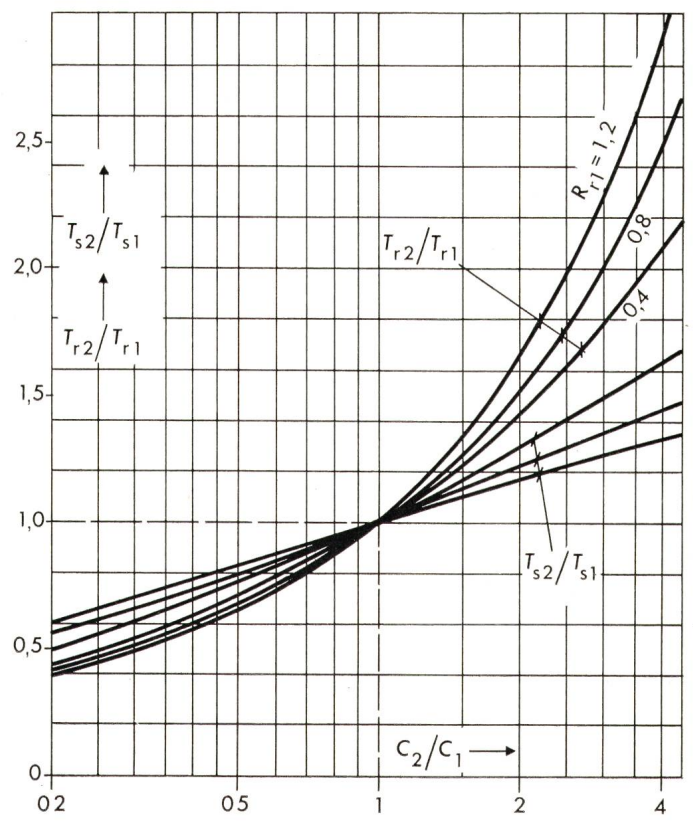


Fig. 10 Einfluss der Kapazitätsänderung auf die Impulsdauer. Anfangsdämpfung als Parameter

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

## Anhang 2: Analytische Ausdrücke

Grösse	Schwingungsbereich	
	gedämpft periodisch ( $0 < R_r < 1$ )	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)	$i = 2I_2 e^{-\delta t} \text{sh} \left( t \sqrt{\delta^2 - \frac{1}{LC}} \right)$ (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	$t_m = \frac{1}{\omega} \arctg \frac{\omega}{\delta}$ (19A)	$t_m = \frac{\ln(\sqrt{LC\delta^2 - 1} + \delta\sqrt{LC})}{\sqrt{\delta^2 - \frac{1}{LC}}}$ (20A)

## Anhang 3: Normierte analytische Ausdrücke

Stromverlauf	$i_n = \frac{e^{-R_r t_n}}{\sqrt{1 - R_r^2}} \sin(t_n \sqrt{1 - R_r^2})$ (21A)	$i_n = \frac{e^{-R_r t_n}}{\sqrt{R_r^2 - 1}} \text{sh}(t_n \sqrt{R_r^2 - 1})$ (22A)
Scheitelwertszeit	$t_{mn} = \frac{\arctg \sqrt{(1 - R_r^2)/R_r^2}}{\sqrt{1 - R_r^2}}$ (23A)	$t_{mn} = \frac{\ln(R_r + \sqrt{R_r^2 - 1})}{\sqrt{R_r^2 - 1}}$ (24A)
Ausnutzungsgrad	$\eta = \exp\left(-\frac{R_r}{\sqrt{1 - R_r^2}} \arcsin \sqrt{1 - R_r^2}\right)$ (25A)	$\eta = (R_r + \sqrt{R_r^2 - 1})^{-R_r/\sqrt{R_r^2 - 1}}$ (26A)
Leistung	$\hat{P}_n = 2 R_r \cdot \exp\left(-\frac{2 R_r}{\sqrt{1 - R_r^2}} \arcsin \sqrt{1 - R_r^2}\right)$ (27A)	$\hat{P}_n = 2 R_r (R_r + \sqrt{R_r^2 - 1})^{-2R_r/\sqrt{R_r^2 - 1}}$ (28A)
Spannungsabfall am Widerstand	$u_{Rm} = 2 R_r \cdot \exp\left(-\frac{R_r}{\sqrt{1 - R_r^2}} \arcsin \sqrt{1 - R_r^2}\right)$ (29A)	$u_{Rm} = 2 R_r (R_r + \sqrt{R_r^2 - 1})^{-R_r/\sqrt{R_r^2 - 1}}$ (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 $T_{r2}/T_{r1}$
$R$ ( $C, L = \text{konst}$ )	$R_{r1} \frac{R_2}{R_1}$	$\frac{\eta_2}{\eta_1}$	$\frac{T_{sn,2}}{T_{sn,1}}$	$\frac{T_{rn,2}}{T_{rn,1}}$
$C$ ( $R, L = \text{konst}$ )	$R_{r1} \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$	$\frac{\eta_2}{\eta_1} \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$	$\frac{T_{sn,2}}{T_{sn,1}} \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$	$\frac{T_{rn,2}}{T_{rn,1}} \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$
$L$ ( $R, C = \text{konst}$ )	$R_{r1} \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$	$\frac{\eta_2}{\eta_1} \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$	$\frac{T_{sn,2}}{T_{sn,1}} \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$	$\frac{T_{rn,2}}{T_{rn,1}} \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$

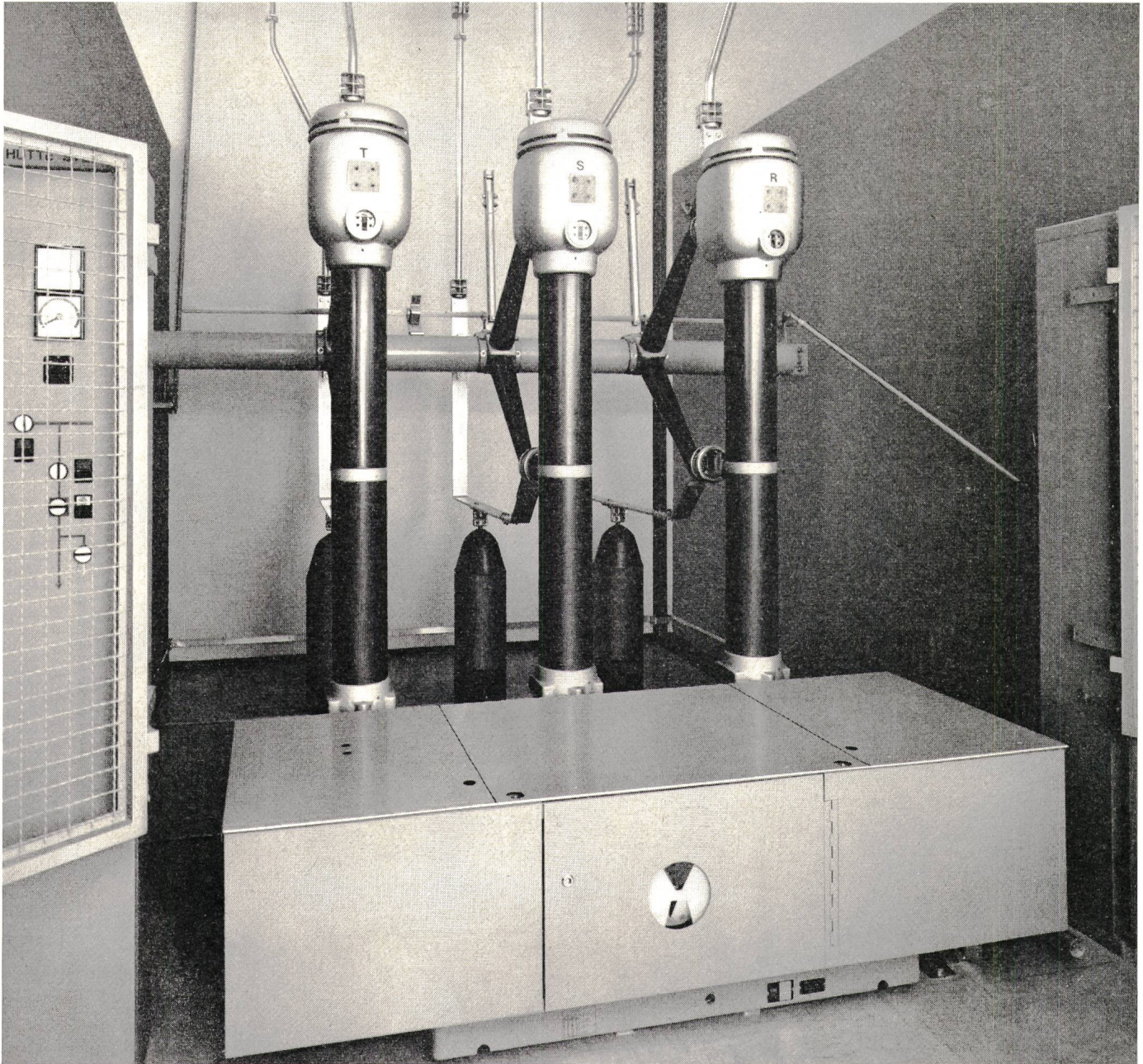
#### Literatur

- [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. 2<sup>e</sup> 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.

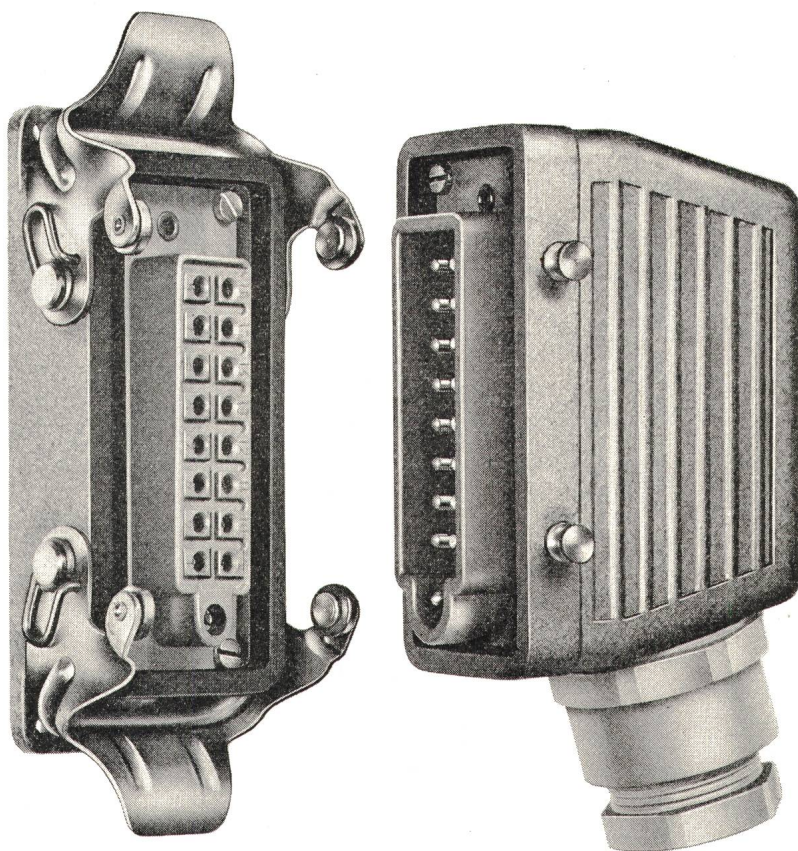
Verlangen Sie Katalog 41 20 oder weitere Informationen bei

**sprecher +  
schuh**

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



## Haben Sie Steckerprobleme?



Unser Verkaufsprogramm von Starkstrom- und Steuergeräten umfasst:

### 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 M $\Omega$
- Schutzart: P 44  
(nach DIN 40 050)

Günstige Preise, ab Lager lieferbar

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

# TRACO ZURICH

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