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: 68 (1977)

Heft: 24

Artikel: Berechnung von Stossstromkreisen für Exponentialströme

Autor: Schwab, A. / Imo, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915098

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: 10.12.2025

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

Berechnung von Stoßstromkreisen für Exponentialströme

Von A. Schwab und F. Imo

621.3.049:621.3.014.33;

Ableiterprüfungen und Untersuchungen der elektromagnetischen Verträglichkeit elektronischer Schaltungen sowie der Nachweis der Stossstromfestigkeit bestimmter Geräte der Hochspannungstechnik erfordern Stoßströme hohen Scheitelwerts mit vorgeschriebenem zeitlichem Verlauf. Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Auslegung hierfür geeigneter Stromkreise. Es werden Gleichungen und Diagramme angegeben, die eine exakte und schnelle Abschätzung der Realisierbarkeit vorgegebener Stromverläufe und die einfache Ermittlung der jeweils erforderlichen Stosskreiselemente erlauben.

Les essais de parafoudres et les recherches au sujet de la compatibilité électromagnétique de montages électroniques, ainsi que la preuve de la résistance aux courants de choc d'appareils à haute tension, requièrent des courants d'une valeur de crête élevée, avec variation temporelle prescrite. Cet article concerne l'établissement de circuits appropriés dans ce but. Des équations et diagrammes sont indiqués, qui permettent d'estimer rapidement la possibilité de réalisation des courants prescrits et de déterminer les éléments nécessaires au circuit de choc.

1. Einleitung

Neben reinen Spannungsprüfungen werden Apparate der Hochspannungstechnik mitunter Stoßstromprüfungen unterzogen, beispielsweise Überspannungsableiter. Auch elektronische Messgeräte, Netzschutzrelais und andere elektronische Einrichtungen werden zunehmend auf ihre Empfindlichkeit gegen leitungsgebundene oder durch Strahlung übertragene Störspannungen mit Stoßströmen geprüft. Gemäss VDE 0433 [1][1]) finden hierbei die in Fig. 1 gezeigten Stromformen Verwendung, die durch Entladen von Hochspannungskondensatoren in gedämpften Schwingkreisen oder Kettenleiterschaltungen erzeugt werden. Typische Exponentialstoßströme sind der «Stoßstrom 8/20» und der «Stoßstrom 4/10», wobei die Zahlen vor und nach dem Schrägstrich jeweils die Stirn- und Rückenhalbwertszeiten T_S und T_R in µs bedeuten. Die praktische Auslegung von Stoßstromkreisen für Exponentialströme bereitet grössere Schwierigkeiten als gemeinhin erwartet wird, und unter Umständen lassen sich bestimmte Stromformen mit vertretbarem Aufwand überhaupt nicht erreichen. Zu dieser Problematik soll die vorliegende Arbeit einen Beitrag liefern.

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

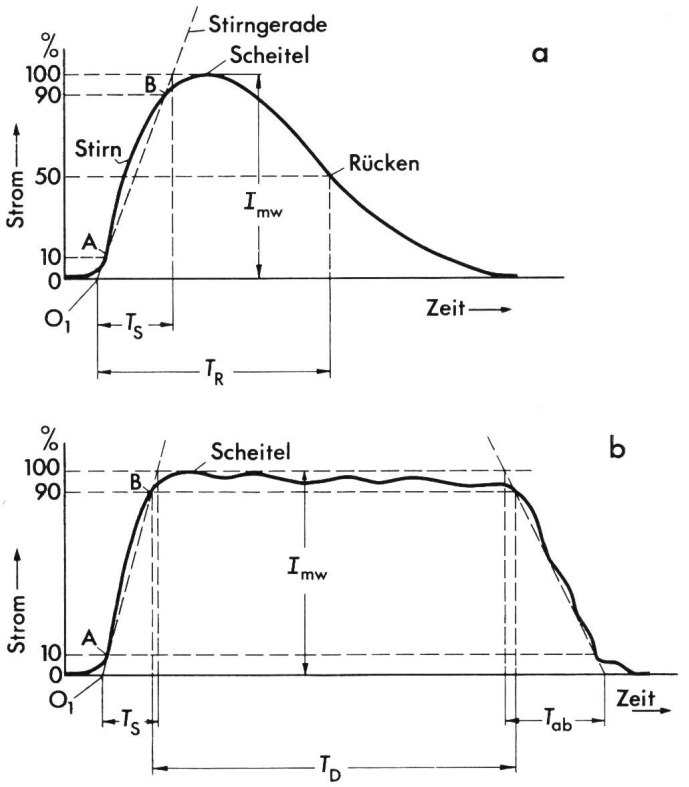

Fig. 1 Bestimmungsgrössen von Stoßströmen

a Exponentialstoßstrom — b Rechteckstoßstrom
O_1 Beginn des Stoßstromes — I_{mw} Wirklicher Scheitelwert
T_S Stirnzeit — T_R Rückenhalbwertszeit
T_D Dauer — T_{ab} Abfallzeit

Aufbauend auf bekannten Rechenverfahren [2; 3; 4] werden Gleichungen und Diagramme angegeben, die eine rasche Abschätzung der Realisierbarkeit vorgegebener Stromverläufe ermöglichen und eine im Lösungsweg wesentlich vereinfachte Ermittlung der jeweils erforderlichen Stoßkreiselemente erlauben.

2. Der Stoßstromkreis

Exponentialstoßströme mit Scheitelwerten bis zu 100 kA werden üblicherweise in einem gedämpften Serienschwingkreis erzeugt (Fig. 2). Der auf eine Spannung von 10 kV und mehr aufgeladene Energiespeicherkondensator C_S wird über eine extern triggerbare Schaltfunkenstrecke FS, den Dämpfungswiderstand R und das Prüfobjekt P entladen. Die in Fig. 2 eingezeichnete Induktivität L ist häufig kein diskretes Bauelement. Sie entsteht zwangsweise durch die Leitungsführung und ist, wenngleich massgeblich den zeitlichen Stromverlauf mitbestimmend, meist parasitärer Natur. Diese Induktivität klein zu halten, ist oberstes Gebot beim konstruktiven Aufbau einer Stoßstromanlage (koaxiale und bifilare Leitungsführung, induktionsarme Energiespeicherkondensatoren usw.). Die endlichen Bogenwiderstände der Schaltfunkenstrecke und des Ableiters nach dem Durchzünden sind bei den hier in Frage kommenden Stromstärken immer klein gegen den Dämpfungswiderstand R und dürfen vernachlässigt werden. Zur Berechnung des Stoßstromkreises kann man daher vom vereinfachten Ersatzschaltbild ausgehen (Fig. 3).

Das Zeitverhalten der vereinfachten Ersatzschaltung für $t \geqq 0$ wird durch die bekannte Differentialgleichung

$$R \cdot i(t) + L \cdot \mathrm{d}i(t)/\mathrm{d}t + \frac{1}{C_S} \int i(t)\,\mathrm{d}t = U_0 \cdot 1(t)$$

beschrieben. Je nach Grösse der Komponenten R, L und C_S ergeben sich für den Strom $i(t)$ drei typische Lösungen, die, auf den jeweiligen Stromscheitelwert i_{max} normiert, sich wie folgt darstellen lassen:

a) Bereich aperiodischer Dämpfung, $D = 1 - 4L/R^2 C_S$

$$i^*(t) = i(t)/i_{max} = \sqrt{(1-D)/4D} \cdot \exp\left(\frac{1}{2\sqrt{D}} \ln \frac{1+\sqrt{D}}{1-\sqrt{D}}\right) \cdot$$

$$\cdot \exp\left(-t \Big/ \frac{2L}{R}\right) \cdot \left[\exp\left(t\sqrt{D} \Big/ \frac{2L}{R}\right) - \exp\left(-t\sqrt{D} \Big/ \frac{2L}{R}\right)\right]$$

$$\text{mit } i_{max} = \left(2\,U_0/R\sqrt{1-D}\right) \cdot \exp\left(-\frac{1}{2\sqrt{D}} \ln \frac{1+\sqrt{D}}{1-\sqrt{D}}\right)$$

b) Sonderfall der kritischen Dämpfung, $D = 0$

$$i^*(t) = i(t)/i_{max} = t \Big/ \frac{2L}{R} \cdot \exp\left(1 - t \Big/ \frac{2L}{R}\right)$$

mit $i_{max} = 2U_0/R \cdot \exp(1) = 2U_0/R_0 \cdot \exp(1)$

c) Bereich periodischer Dämpfung, $D^* = -D = -1 + 4L/R^2 C_S$

$$i^*(t) = i(t)/i_{max} = \sqrt{(1+D^*)/D^*} \cdot \exp\left(\operatorname{arctg}\sqrt{D^*}/\sqrt{D^*}\right) \cdot \exp\left(-t \Big/ \frac{2L}{R}\right) \cdot \sin\left(t\sqrt{D^*} \Big/ \frac{2L}{R}\right)$$

mit $i_{max} = (2U_0/R \cdot \sqrt{1+D^*}) \cdot \exp\left(-\operatorname{arctg}\sqrt{D^*}/\sqrt{D^*}\right)$.

Aus den Gleichungen für den Stromverlauf lassen sich Widerstands-, Induktivitäts- und Zeitfunktionen ableiten, die für die exakte Berechnung der Kreiskomponenten sowie für die Erstellung der in Fig. 5 und 6 gezeigten Diagramme benötigt werden.

Gegenüber bisherigen Rechenverfahren enthalten die obigen Gleichungen die Diskriminante D bzw. D^* als unabhängige Variable, was den Vorteil bietet, alle Grössen als Funktionen der Diskriminanten in einem einzigen Diagramm darstellen zu können. Der Änderungseinfluss eines Parameters auf die übrigen Grössen lässt sich somit unmittelbar ablesen. Die in den folgenden Betrachtungen verwendeten Grössen sind in Fig. 4 am Beispiel des periodisch gedämpften Stromverlaufs erklärt.

3. Widerstands-, Induktivitäts- und Zeitfunktionen

Löst man die Gleichungen für den Stromscheitelwert i_{max} nach R auf und bezieht R auf R_0 des Sonderfalles der kritischen Dämpfung (Fall b), dann folgt für die normierten Widerstandsfunktionen in den einzelnen Dämpfungsbereichen

a) $R^* = R/R_0 = (1/\sqrt{1-D}) \cdot \exp\left(1 - \frac{1}{2\sqrt{D}} \ln \frac{1+\sqrt{D}}{1-\sqrt{D}}\right)$

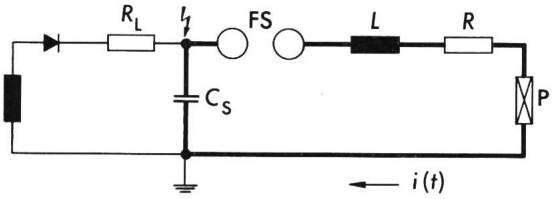

Fig. 2 Vollständige Ersatzschaltung des Stoßstromkreises zur Erzeugung von Exponential-Stoßströmen
R_L Ladewiderstand
C_S Induktionsarmer Energie-Speicher-Kondensator
FS Triggerbare Schaltfunkenstrecke
L Kreisinduktivität (meist reine Streuinduktivität)
R Induktionsarmer Wirkwiderstand
P Prüfobjekt

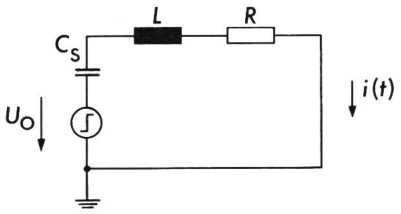

Fig. 3 Vereinfachte Ersatzschaltung des Stosskreises zur Erzeugung von Exponential-Stoßströmen

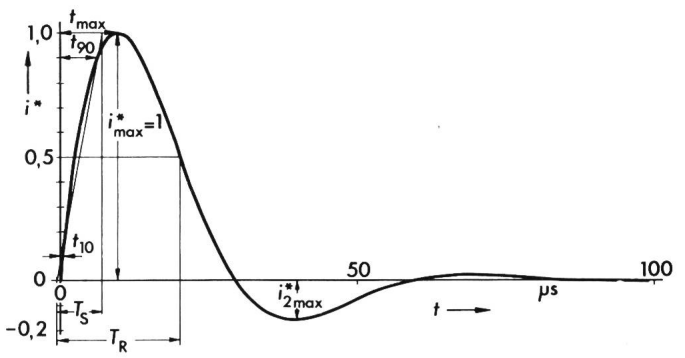

Fig. 4 Periodisch gedämpfter Stromimpuls
$i^* = i(t)/i_{max}$ Normierter Strom
i_{2max} Erste Strom-Durchschwing-Amplitude

Gezeichnetes Beispiel:
$T_S/T_R = 0{,}36$, $T_S = 7{,}3$ μs, $T_R = 20{,}3$ μs, $i^*_{2max} = -0{,}15$

b) $R^* = R_0/R_0 = 1$ für $D = -D^* = 0$

c) $R^* = R/R_0 = (1/\sqrt{1+D^*}) \cdot \exp\left(1 - \operatorname{arctg}\sqrt{D^*}/\sqrt{D^*}\right)$

Mit diesen Widerstandsfunktionen und mit den Beziehungen $D = -D^* = 1 - 4L/R^2C_S$ im allgemeinen und $D = -D^* = 0 = 1 - 4L_0/R_0^2C_S$ im Sonderfall lassen sich die normierten Induktivitätsfunktionen ableiten

a) $L^* = L/L_0 = \exp\left(2 - \frac{1}{\sqrt{D}} \ln \frac{1+\sqrt{D}}{1-\sqrt{D}}\right)$

b) $L^* = L_0/L_0 = 1$ für $D = -D^* = 0$

c) $L^* = L/L_0 = \exp\left(2 - 2 \operatorname{arctg}\sqrt{D^*}/\sqrt{D^*}\right)$.

Um alle Grössen des Stosskreises bestimmen zu können, müssen noch die Zeitfunktionen T_S, T_R und T_S/T_R in Abhängigkeit von der Diskriminanten berechnet werden. Die Darstellung der Kapazität als Kapazitätsfunktion erübrigt sich, wie noch gezeigt wird, da sie sich in einfacher Weise aus den für den kritischen Sonderfall gültigen Gleichungen ermitteln lässt.

Zunächst setzt man in die Stromfunktionen $i^*(t)$ an Stelle R und L die Funktionen $R^* \cdot R_0$ und $L^* \cdot L_0$ ein und bezieht die in den Stromfunktionen enthaltene Zeit t auf die Maximumzeit des kritischen Sonderfalles $t_{0max} = 2L_0/R_0$ ($\equiv R_0C_S/2$). Die Stromfunktionen $i^*(t^*)$ enthalten dann nur noch bezogene Grössen.

Nach der VDE-Definition korrespondieren die diskreten Zeitwerte $T_R^* = T_R/t_{0max}$ und $T_S^* = T_S/t_{0max} = 1{,}25\,(t^*_{90} - t^*_{10}) = 1{,}25\,(t_{90} - t_{10})/t_{0max}$ mit den Stromwerten $i^*(T_R^*) = 0{,}5$, $i^*(t^*_{90}) = 0{,}9$ und $i^*(t^*_{10}) = 0{,}1$. Diese in die Stromfunktionen $i^*(t^*)$ eingesetzt, führen auf die gesuchten normierten Zeitfunktionen $T_R^* = f(D$ bzw. $D^*)$ und $T_S^* = f(D$ bzw. $D^*)$. Für die normierte Rückenzeit T_R^* lauten die Funktionen in den drei Bereichen:

a) $$1 = \sqrt{\frac{1-D}{D}} \cdot \exp\left(\frac{1}{2\sqrt{D}} \ln \frac{1+\sqrt{D}}{1-\sqrt{D}}\right) \cdot \left\{\exp\left[T_R^* \cdot \frac{\sqrt{D}-1}{\sqrt{1-D}} \cdot \exp\left(-1 + \frac{1}{2\sqrt{D}} \ln \frac{1+\sqrt{D}}{1-\sqrt{D}}\right)\right] - \exp\left[-T_R^* \cdot \frac{\sqrt{D}+1}{\sqrt{1-D}} \cdot \exp\left(-1 + \frac{1}{2\sqrt{D}} \ln \frac{1+\sqrt{D}}{1-\sqrt{D}}\right)\right]\right\}$$

b) $T_R^* \approx 2.678$

$$\text{c)}\quad 1 = 2\sqrt{\frac{1+D^*}{D^*}}\cdot \exp\left(\operatorname{arctg}\sqrt{D^*}/\sqrt{D^*}\cdot\right.$$

$$\cdot\exp\left[-\frac{T^*_R}{\sqrt{1+D^*}}\cdot\exp\left(-1+\operatorname{arctg}\sqrt{D^*}/\sqrt{D^*}\right)\right]$$

$$\cdot\sin\left[\sqrt{\frac{D^*}{1+D^*}}\cdot T_R^*\cdot\exp\left(-1+\operatorname{arctg}\sqrt{D^*}/\sqrt{D^*}\right)\right].$$

Entsprechend lassen sich die Zeitfunktionen t^*_{90} und t^*_{10} ermitteln, aus denen man über die Beziehung $T_S^* = 1{,}25\,(t^*_{90} - t^*_{10})$ die Funktion der normierten Stirnzeit T_S^* erhält.

Die normierten Zeitfunktionen T_R^*, t^*_{10}, t^*_{90} und T_S^* lassen sich nicht explizit in Abhängigkeit von der Diskriminanten ausdrücken und sind daher für jeweilige D bzw. D^* nur auf iterativem Weg zu berechnen. Die Forderung, Genauigkeitsfehler von max. 0,5 % zuzulassen und dabei den Rechenaufwand in Grenzen zu halten, machte den einmaligen Einsatz eines Digitalrechners mit Plotter unumgänglich. Das monoton steigende bzw. fallende Verhalten der Funktionen kam dabei dem Wunsch eines einfachen Programmaufbaues sehr entgegen.

4. Berechnungsdiagramme und Beispiele

In den Figuren 5 und 6 sind die Funktionen T_S^*, T_S^*/T_R^*, R^*, L^* und $-i^*_{2max}$ für die Bereiche aperiodischer und periodischer Dämpfung über der Diskriminanten aufgetragen. Die Nahtstelle beider Diagramme liegt bei $D = -D^* = 0$.

Die Funktion $-i^*_{2max} = \exp(-\pi/\sqrt{D^*})$ gibt Auskunft über das Durchschwingverhalten des Stoßstromes im periodisch gedämpften Bereich.

Fig. 5 zeigt, dass eine hinreichende Ablesegenauigkeit im Bereich $0{,}9 < D \leqq 1{,}0$ nicht mehr gewährleistet ist. Daher muss man sich diesen Bereich im vergrösserten Maßstab herauszeichnen oder die einzelnen Werte unmittelbar aus den angegebenen Funktionen errechnen. Letzteres gilt auch für Fig. 6, wenn die Diskriminante $D^* > 10$ ist.

Die Diagramme zeigen, dass alle Grössen in einem eindeutigen Verhältnis zueinander stehen. Das heisst, dass z. B. bei einem bestimmten, geforderten Zeitenverhältnis $T_S^*/T_R^* \equiv T_S/T_R$ nur jeweils ein realisierbarer Wert für T_S^*, R^*, L^* und $-i^*_{2max}$ existiert. Auf die absoluten Grössen T_S, T_R, R, L, C_S hat man dann nur noch über U_0 und i_{max} Einfluss. $C_S = 2\,T_S/(R_0 \cdot T_S^*)$ erhält man aus der im Grenzfall b gültigen Beziehung $t_{0max} = 2\,L_0/R_0 = 1/2\,R_0\,C_S = T_S/T_S^*$.

Die Rechenbeispiele in Tabelle I und II sollen dies erläutern. Der Rechenvorgang beginnt mit der ersten und endet mit der letzten Zeile (Anmerkung: e = 2,718).

Weiter geben die Diagramme unmittelbar Aufschluss darüber, ob man sich im Bereich aperiodischer oder periodischer Dämpfung befindet, was wiederum vom vorgegebenen Zeitenverhältnis T_S/T_R abhängt. Beispielsweise ist aus den Diagrammen sofort ersichtlich, dass sich die «Stoßstromform 8/20» nach VDE 0433 nicht ohne Durchschwingen realisieren lässt, weil dort das Zeitenverhältnis $T_S/T_R > 0{,}2655$ ist. Auf die Höhe der normierten Stromdurchschwingamplitude wiederum kann man nur über das Zeitenverhältnis Einfluss nehmen, was einer Änderung der Stirn- und Rückenzeiten, z. B. in der erlaubten Toleranz von $\pm$ 10 %, gleichkommt.

Der Ausnutzungsgrad $\eta = i_{max}/i_{max0}$ (i_{max} = maximale Stromamplitude des betrachteten Stosskreises; $i_{max0} = U_0/\sqrt{L/C}$ = maximale Stromamplitude desselben, jedoch ungedämpften Stosskreises) spielt bei diesen Überlegungen eine auch in wirtschaftlicher Hinsicht wesentliche Rolle.

Meist lautet die Aufgabenstellung derart, dass für einen vorgegebenen Stoßstrom (Scheitelwert i_{max}, Stirnzeit T_S und Rückenzeit T_R) und eine gegebene Ladespannung (vorgeschrieben durch das Ansprechverhalten der Ableiter) die Werte der Bauelemente C_S, R und L ermittelt werden sollen. Als Lösung dieses Problems existieren nicht, wie fälschlicherweise oft angenommen wird, mehrere R, L, C_S-Kombinationen, von denen mindestens ein Stosskreiselement frei wählbar

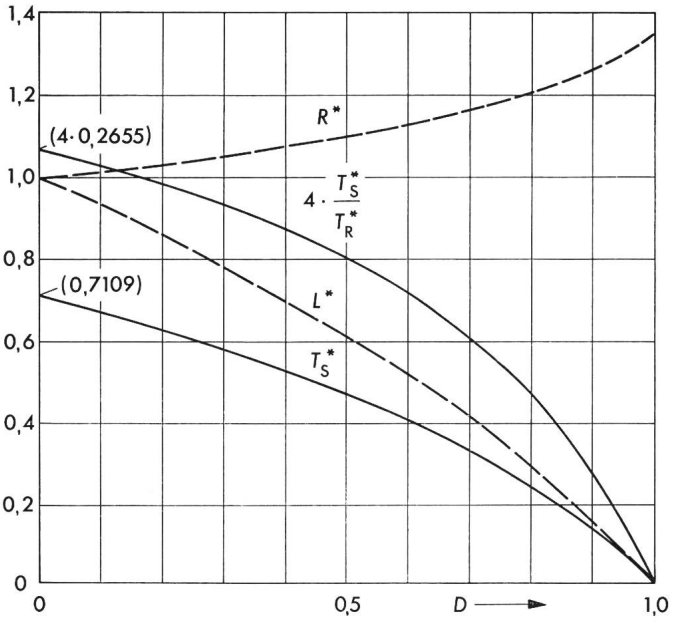

Fig. 5 Aperiodisch gedämpfter Bereich
Widerstand R^*, Induktivität L^*, Stirnzeit T_S^* und Zeitenverhältnis T_S^*/T_R^* als normierte Funktionen der Diskriminanten D

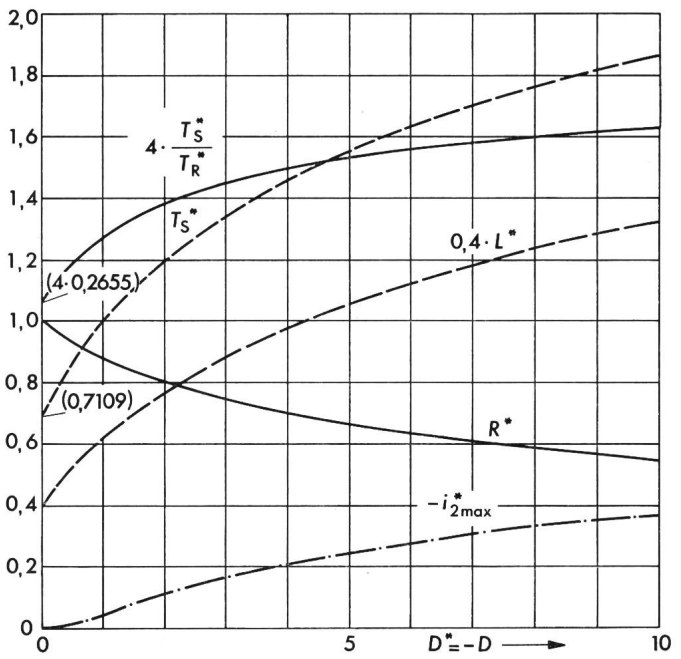

Fig. 6 Periodisch gedämpfter Bereich
Widerstand R^*, Induktivität L^*, Stirnzeit T_S^*, Zeitenverhältnis T_S^*/T_R^* und erste Strom-Durchschwingamplitude $-i^*_{2max}$ als normierte Funktionen der Diskriminanten D^*

Bestimmung der Kreisparameter C_S, R und L sowie der ersten Strom-Durchschwingamplitude $-i^*_{2max}$ bei vorgegebenem T_S, T_R, T_S/T_R, i_{max} und U_0

Tabelle I

$T_S/T_R = T_S^*/T_R^*$	0,2	0,4
aus Figur	5	6
D bzw. D^*	interessiert hier nicht	
T_S^*	0,470	1,820
R^*	1.100	0,550
L^*	0,620	3,200
$-i^*_{2max}$	–	0,350
$R_0 = 2\,U_0/(e \cdot i_{max})$ [Ω]	0,184	0,184
$C_S = 2\,T_S/(R_0 \cdot T_S^*)$ [μF]	231,300	47,800
$L_0 = R_0^2 \cdot C_S/4$ [μH]	1,960	0,404
$R = R^* \cdot R_0$ [Ω]	0,202	0,101
$L = L^* \cdot L_0$ [μH]	1,210	1,294

Beispiel 1:
$T_S = 10$ μs, $T_R = 50$ μs, $T_S/T_R = 0{,}2$, $i_{max} = 40$ kA, $U_0 = 10$ kV
Beispiel 2:
$T_S = 8$ μs, $T_R = 20$ μs, $T_S/T_R = 0{,}4$, $i_{max} = 40$ kA, $U_0 = 10$ kV

Bestimmung der Grössen T_S, T_R, T_S/T_R, i_{max} und $-i_2{}^*_{max}$ bei vorgegebenem C_S, R, L und U_0

Tabelle II

$D = 1 - 4\,L/R^2\,C_S = -D^*$	0,444	9,615
aus Figur	5	6
$T_S^*/T_R^* = T_S/T_R$	0,200	0,400
T_S^*	0,470	1,820
R^*	1,100	0,550
L^*	0,620	3,200
$-i^*_{2max}$	–	0,350
$R_0 = R/R^*$ [Ω]	0,184	0,184
$L_0 = R_0^2 \cdot C_S/4 = L/L^*$ [μH]	interessiert hier nicht	
$i_{max} = 2\,U_0/(e \cdot R_0)$ [kA]	40	40
$T_S = \frac{1}{2} R_0\,C_S \cdot T_S^*$ [μs]	10	8
$T_R = T_S \cdot T_R^*/T_S^*$ [μs]	50	20

Beispiel 1:
$R = 0{,}202$ Ω, $L = 1{,}210$ μH, $C_S = 213{,}3$ μF, $U_0 = 10$ kV
Beispiel 2:
$R = 0{,}101$ Ω, $L = 1{,}294$ μH, $C_S = 47{,}8$ μF, $U_0 = 10$ kV

wäre. Vielmehr werden durch diese Aufgabenstellung alle drei Elemente eindeutig zueinander festgelegt. Diese Tatsache wird anhand zweier Beispiele in der Tabelle I veranschaulicht.

Ist die Aufgabe gestellt, aus vorgegebenen Elementen C_S, R, L und gegebener Ladespannung U_0 den Stoßstrom und u.a. seine erste Durchschwingamplitude $-i_{2max}$ zu ermitteln, benutzt man Tabelle II als Rechenanleitung. Weitere Variationen in der Aufgabenstellung sind möglich.

5. Schlussbemerkungen

Mit der einfachen Ermittlung der Schaltkreiselemente aus obigen Diagrammen ist die Auslegung eines Stromkreises noch nicht abgeschlossen. Es darf nicht übersehen werden, dass zur Konstruktion des Stosskreises technische Bauelemente verwendet werden müssen, die parasitäre Komponenten besitzen, beispielsweise Induktivität und Wechselstromverlustwiderstand des Kondensators und der Verbindungsleitungen.

Die errechneten Werte der pulsformenden Elemente R und L setzen sich also aus den im Auslegungsstadium meist unbekannten parasitären Komponenten und den damit auch unbekannten Werten der in den Stosskreis noch einzufügenden technischen Bauelemente R_T und L_T zusammen. Letztere können nur durch «trial and error» im Labor ermittelt werden, was auch bei sorgfältiger Auswahl aller Bauelemente mit grossem Aufwand verbunden ist.

Eine wesentliche Hilfe in der Beurteilung und Verbesserung der erreichten Kurvenform ist wiederum die hier abgehandelte Rechenmethode. Aus den Diagrammen kann man rasch ablesen, wie und ob die gewählten Schrittweiten $\pm\,\Delta R$ und $\pm\,\Delta L$ zum Ergebnis führen. Durch eventuelles Verfeinern der Schrittweiten wird dann der gesuchte Stromstoss erhalten.

Literatur

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

[2] *M. Modrušan:* Normierte Berechnung von Stoßstromkreisen für vorgegebene Impulsströme. Bull. SEV/VSE 67(1976)22, S. 1237...1242.

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

[4] *O. Salka:* Berechnung des Stosskreises. Arch. Elektrotechn. 41(1953)1, S. 18 bis 27.

Adresse der Autoren

Apl. Prof. Dr.-Ing. *Adolf J. Schwab*, Wissenschaftlicher Rat, und
Dipl. Ing. *Friedrich Imo*, Wissenschaftlicher Assistent, Hochspannungsinstitut der Universität Karlsruhe, D-7500 Karlsruhe.