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: Langzeit-Stossstromgenerator für die Ableiterprüfung gemäss CEI-Empfehlungen

Autor: Modrušan, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915097

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: 08.07.2025

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

Langzeit-Stoßstromgenerator für die Ableiterprüfung gemäss CEI-Empfehlungen

Von M. Modrušan

621.319.53 : 621.316.933

Vor der Inbetriebnahme von Überspannungsableitern werden diese unter anderem auch mit Langzeit-Stoßströmen getestet, um ihre Widerstandsfähigkeit gegen allfällige Entladungen von Hochspannungsleitungen zu überprüfen. Bei der Auslegung von geeigneten Stossgeneratoren werden normalerweise entsprechende CEI-Empfehlungen herangezogen. Es werden einige Aspekte der Bemessung von Kettenleiter-Generatoren erörtert sowie zwei typische Generatorausführungen kurz beschrieben.

Avant leur mise en service, les parafoudres sont soumis notamment à un essai avec courants de choc de longue durée, pour contrôler leur résistance à des décharges éventuelles de lignes à haute tension. Pour la conception de générateurs de chocs appropriés, on se base normalement sur les Recommandations de la CEI. L'auteur décrit brièvement quelques aspects du dimensionnement de générateurs de choc à constantes réparties, ainsi que deux exécutions typiques de tels générateurs.

1. Einleitung

Überspannungsableiter werden im Betrieb unter anderen Beanspruchungen auch den relativ langdauernden Strömen bei der Entladung von Hochspannungsleitungen ausgesetzt. Diese rein thermische Beanspruchung kann unter Umständen zur Zerstörung der Ableiter führen. Als Nachweis für deren Widerstandsfähigkeit sind deswegen entsprechende Typenprüfungen vorgesehen. Gemäss den internationalen Empfehlungen [1][1]) werden einzelne Ableiter bzw. ihre Sektionen mit Langzeit-Stoßstromimpulsen geprüft, wobei die Beanspruchungsart den Betriebsverhältnissen der Ableiter angepasst wird. Dabei ist wesentlich, dass die Beanspruchungsart sowohl von der Länge der Hochspannungsleitung als auch von deren Betriebsspannung abhängig ist. Da die gespeicherte Energie in einer Leitung neben der Kapazität vom Quadrat der Spannung abhängt, wird die gespeicherte Energie mehr als linear mit der Nennspannung ansteigen. Diesem Umstand wurde in [1] Rechnung getragen, indem verschiedene Entladeklassen eingeführt wurden.

Für die Prüfung von Ableitern mit Langzeitströmen werden entsprechende Kettenleiter-Generatoren verwendet, die grundsätzlich als bekannt vorausgesetzt werden können (vgl. z. B. [1...5]. In der vorliegenden Abhandlung wird auf einige Besonderheiten derartiger Generatoren hingewiesen, wobei entsprechende praktische Erfahrungen erläutert werden.

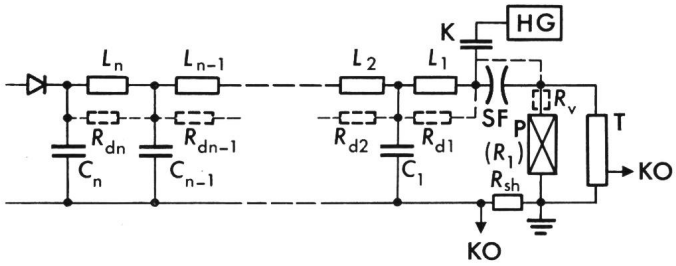

Fig. 1 Grundschaltung eines Kettenleiter-Generators

P	Prüfling	K	Kopplungskondensator
R_1	Anpassungswiderstand	SF	Schaltfunkenstrecke
T	Teiler	R_d	Dämpfungswiderstand
HG	Hilfsgenerator	R_v	Vorwiderstand

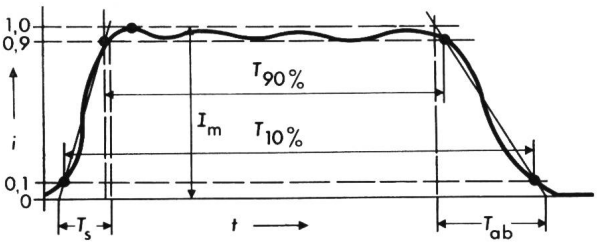

Fig. 2 Definition der Impulsform bei der Anpassung mit R_1

2. Auslegungskriterien

2.1 Allgemeine Voraussetzungen

Falls keine besonderen Forderungen gestellt werden, geht man bei der Auslegung von Langzeit-Stoßstromgeneratoren normalerweise von den CEI-Prüfparametern für die Ableiter in Tabelle I aus [1, Tab. III]. Dabei wird vorausgesetzt, dass eine minimale Nennspannung der Ableitersektion U_s bekannt ist, die von etwa 3 kV bei 110 kV bis über 12 kV bei 765 kV Nennspannung variieren kann. Es wird aus wirtschaftlichen Gründen vorteilhaft sein, für die gegebene U_s den Generator zugleich für mehrere Entladeklassen auszulegen. Ungünstiger wäre es, den Generator für mehrere Prüflingsspannungen U_s auszulegen, da dabei eine zu kostspielige Anlage resultieren würde.

CEI-Parameter für die Langzeit-Stoßstromprüfung von 10-kA-Ableitern Tabelle I

Reihenspannung kV	Langzeitentladeklasse	Anpasswiderstand R_1 (Ω)	Impulsdauer T_{90} % (µs)	Ladespannung U_c (kV)
245	1	3,3 U_s	2000	3,0 U_s
300	2	1,8 U_s	2000	2,6 U_s
420	3	1,2 U_s	2400	2,6 U_s
525	4	0,8 U_s	2800	2,4 U_s
765	5	0,5 U_s	3200	2,2 U_s

U_s = Nennspannung des Prüflings in kV

Das Schema eines üblichen Kettenleiter-Generators für die Erzeugung der Langzeit-Stoßströme ist ebenso in [1], Appendix E, angegeben (Fig. 1). Bei der Festlegung der Stufenzahl n wird man bestrebt sein, diese möglichst klein zu halten, wobei die Erfordernisse für die vorgeschriebene Impulsform (Fig. 2) erfüllt werden müssen. Es wird verlangt, dass die Impulsdauer $T_{90\%}$ zwischen 100% und 120% der in Tab. I angegebenen Zeiten liegt. Die totale Impulsdauer $T_{10\%}$ soll $\leqq 1{,}5\ T_{90\%}$ bleiben, ferner die Oszillationen im Scheitel nicht über 10% der Stromamplitude ausmachen. Alle diese Bedingungen können bereits mit 8 Stufen völlig erfüllt werden, wie dies in [5] gezeigt wurde.

Ein nahezu rechteckiger Stromimpuls nach Fig. 2 lässt sich mit einer Vielzahl von Schaltungen erzeugen [2; 3; 4]. Für die Hochspannungs-Prüftechnik wird aus wirtschaftlichen Gründen einzig die Variante mit gleichen Kondensatoren C_i in allen Stufen annehmbar sein. Die einzelnen Induktivitäten dagegen können relativ leicht abgeändert werden, was für die Erhaltung

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

der gewünschten Impulsform, insbesondere im Stirn- und im Rückenteil, erforderlich ist.

Mit genannten Voraussetzungen kann ein Kettenleiter-Generator für die gewünschte Ableiterprüfung zuverlässig ausgelegt werden. Aus den bekannten Relationen

$$T_{90\%} \approx 2 \frac{n-1}{n} \sqrt{L/C}$$

$$R_1 = Z = \sqrt{L/C}$$

sowie mit den Kriterien der Tab. I lassen sich die Gesamtkapazität C bzw. -Induktivität L wie folgt ermitteln:

$$C = \frac{n\, T_{90\%}}{2\, R_1\, (n-1)}; \quad L = C R_1^2.$$

Dabei wird der Energiebedarf des Generators ($A = CU^2/2$) ausschliesslich von der Prüflingsnennspannung U_s sowie von der Entladeklasse des Ableiters abhängen. In Fig. 3 ist die Energie des 8gliedrigen Generators in Abhängigkeit der Spannung U_s mit der Entladeklasse als Parameter aufgetragen. Ferner ist die minimale Energie in Abhängigkeit der Reihenspannung A (U_n) aufgetragen, wobei der steigenden Sektionsspannung U_s Rechnung getragen wurde.

2.2 Beeinflussbarkeit der Impulsform

Mit der Bestimmung der Kapazität C und der Induktivität L des Generators sind die wichtigsten Daten eines homogenen Kettenleiters bekannt. Da jedoch in einem völlig homogenen Kettenleiter ein Impuls gemäss Fig. 2 praktisch nicht erhältlich ist, so wird noch erforderlich sein, durch gewisse Anpassung der Anfangs- bzw. Enddrosseln die gewünschte Impulsform zu erzielen. Um diese Änderungsmöglichkeiten genauer untersuchen zu können, wurde das speziell für solche Fälle geeignete universelle Programm GOCAP [6] benützt. Ein wesentlicher Vorteil dieses Programmes liegt darin, dass man auch relativ komplizierte Schaltungen mit geringem Zeitaufwand analysieren kann. Im Unterschied zu [3] und [5], wo die Eigenwiderstände der Drosseln vernachlässigt werden, konnten auch diese berücksichtigt werden. Eigenwiderstände und Eigeninduktivitäten der Kondensatoren wurden dagegen als geringfügig ausser acht gelassen. Ebenso wurden die Gegeninduktivitäten zwischen den einzelnen Drosseln als unwesentlich betrachtet, was bei entsprechender Anordnung auch zulässig ist.

Gemäss [3] weist bei völliger Stufengleichheit des Kettenleiters der Stromverlauf im Scheitel eine erhebliche Überschwingung auf. Diese kann durch den komplexen Abschluss des Kettenleiters zum Verschwinden gebracht werden. Dabei soll in Serie zum Abschlusswiderstand R_1 eine Induktivität der Grössenordnung L/n zugeschaltet werden, wodurch die resultierende Ausgangsdrossel L_1 etwa den doppelten Wert der übrigen Drosseln annimmt. In Fig. 4 ist der Einfluss einer Verdopplung der Induktivität an der Entladeseite L_1 dargestellt. Wie man daraus sieht, können dadurch die Frontschwingungen praktisch völlig unterdrückt werden, wozu in [5] noch eine stufenweise Paralleldämpfung R_d empfohlen wurde (in Fig. 1 angedeutet). Da jedoch in diesen Dämpfungswiderständen R_d ein Teil der im Generator gespeicherten Energie vernichtet wird, sollen sie nach Möglichkeit vermieden werden, um so mehr als sie den Generator unnötig verteuern.

Die Eliminierung von Frontschwingungen hat eine merkliche Verlangsamung des Stromanstieges zur Folge. Auffallend ist jedoch, dass auch am Impulsende der Strom etwas langsamer und nicht ganz auf null abfällt, obwohl der Abschlusswiderstand R_1 praktisch der Wellenimpedanz ($Z = \sqrt{L/C}$) entspricht.

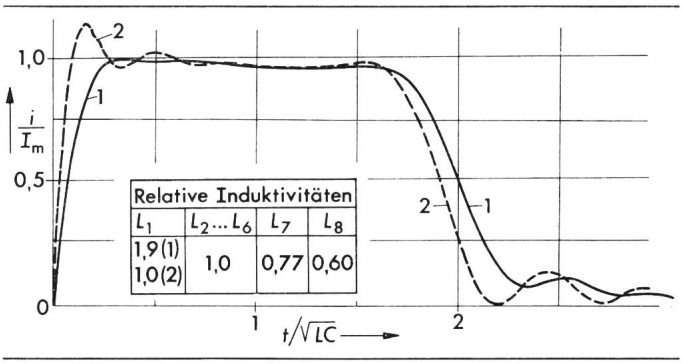

Fig. 4 Einfluss der Drosselinduktivität an der Entladeseite auf die Form des Stromimpulses
Entladeklasse 1 des Generators Fig. 11

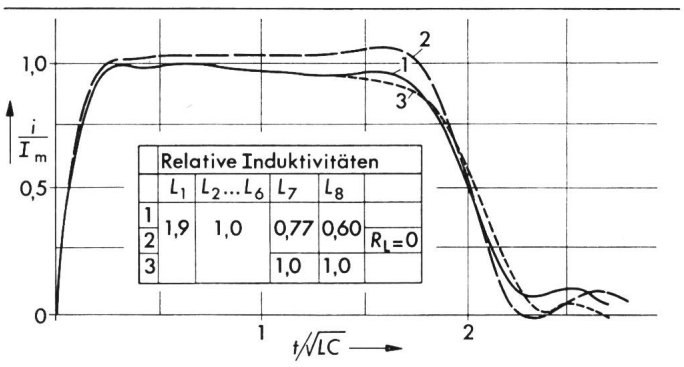

Fig. 5 Einfluss der Drosseln L_7 und L_8 auf den Rückenteil des Stromimpulses
Entladeklasse 1 des Generators Fig. 11

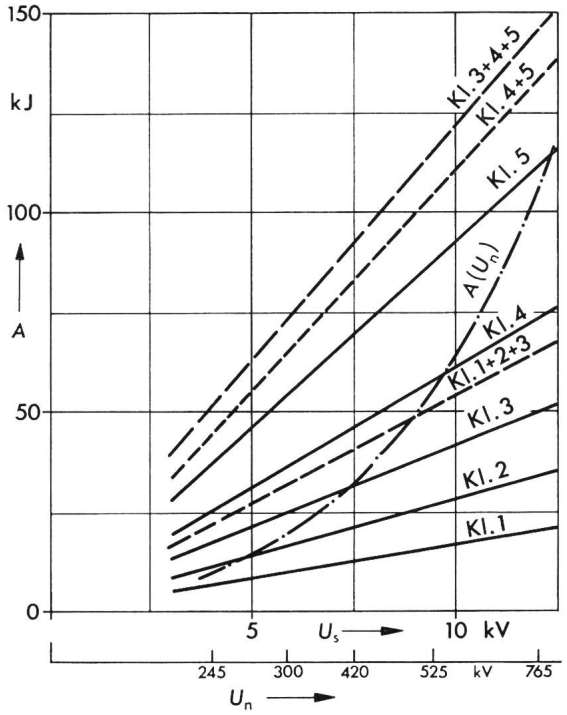

Fig. 3 Erforderliche Energie A eines 8gliedrigen Kettenleiter-Generators für die Ableiterprüfung gemäss CEI-Empfehlungen [1] mit der Entladeklasse als Parameter

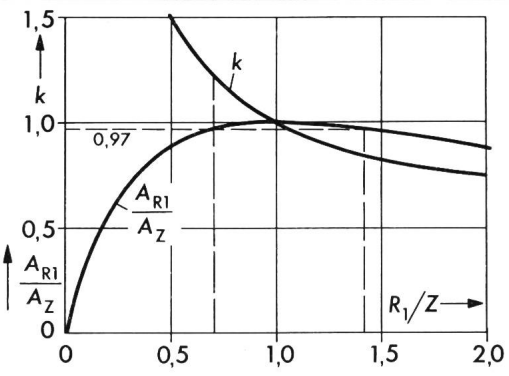

Fig. 6 Einfluss des Abschlusswiderstandes auf die Energieumwandlung
k Kontrolle der Anpassung des Generators

Ein Versuch, den abfallenden Impulsteil durch Änderung der Drosseln L_7 und L_8 zu beeinflussen, ist in Fig. 5 wiedergegeben. Wie in [5] gezeigt wird, kann durch eine gewisse Abstufung der Drosseln die Impulsform etwas verbessert werden.

Gemäss CEI-Empfehlungen [1] soll eine Anpassungskontrolle des Generators durchgeführt werden. Dabei soll die Grösse

$$k = \frac{U_d}{2\, I_d\, R_1}$$

in den Grenzen $0{,}95 < k < 1{,}05$ liegen, wobei U_d eine Spannung über $0{,}5\, U_c$ und I_d der dazugehörige Strom ist. Diese Forderung muss als etwas zu scharf bezeichnet werden, da bereits eine übliche fabrikationsbedingte Toleranz der Kreiselemente L, C und R_1 zu deren Nichterfüllung führen könnte. Ausserdem wird bei erfüllter Bedingung für k der Generator nicht unbedingt optimal abgeschlossen, da die immer vorhandenen Eigenwiderstände der Drosselspulen, wie noch gezeigt wird, ebenso eine gewisse Beeinflussung des Stromimpulses hervorrufen.

Eine Fehlanpassung des Generators mit $R_1 \neq Z$ könnte grundsätzlich in wesentlich breiteren Grenzen, als sie für den Faktor k gelten, realisiert werden, ohne dass dabei die Energieumwandlung im Prüfling beeinträchtigt würde. Wie in [2; 4] gezeigt wird, beträgt bei der Entladung einer idealen Leitung die relative Energieumwandlung in R_1 während des ersten Impulses der Dauer $T_D = 2\sqrt{LC}$ (T_D Dauer des idealen Rechteckimpulses)

$$\frac{A_{R1}}{A_z} = 4\,\frac{R_1}{Z}\,\frac{1}{\left(1+\frac{R_1}{Z}\right)^2}$$

mit A_z der maximalen Energieumwandlung bei $R_1 = Z$.

In Fig. 6 ist diese relative Energie als Funktion des Verhältnisses R_1/Z aufgetragen. Wie man daraus entnehmen kann, könnte eine wesentlich grössere Abweichung des Abschlusswiderstandes R_1 von der Wellenimpedanz Z, als dies beim Faktor k gilt, zugelassen werden. So könnten bei einer Abweichung der umgesetzten Energie von lediglich 3 % die neuen Grenzen mit $0{,}70 < R_1/Z < 1{,}42$ angegeben werden. Wenn man den Faktor k ebenso als Funktion des Verhältnisses R_1/Z ausdrückt, nämlich

$$k = \frac{1 + R_1/Z}{2\, R_1/Z},$$

so können für diese Grenzen die k-Werte im Bereiche $1{,}21 > k > 0{,}85$ toleriert werden.

Da es bei der Leitungsentladung auf einen Prüfling hauptsächlich auf die umgesetzte Energie ankommt, erscheinen die 5-%-Grenzen für die Anpassung des Generators als übertrieben klein. Eine Toleranzdefinition der im Generator gespeicherten Energie würde dagegen sinnvoller erscheinen.

2.3 Auslegung der Drosselspulen

Wie erwähnt, werden Kettenleiter-Generatoren ausschliesslich mit untereinander gleichen Stufenkondensatoren gebaut, die noch dazu eine genau bestimmbare Kapazität und Ladespannung haben. Deswegen wird die wesentliche Auslegungsarbeit bei der richtigen Wahl der einzelnen Drosselspulen liegen, die möglichst kleinen Eigenwiderstand R_L aufweisen sollen. Durch diesen wird meistens eine nicht vernachlässigbare Beeinflussung der Impulsform zustande kommen. In Fig. 5 ist vergleichshalber der gerechnete Stromverlauf bei Vernachlässigung der Drosselwiderstände eingetragen. Neben einer Verminderung der Stromamplitude bewirken die Drosselwiderstände eine gewisse Dachschräge des Impulses sowie eine Verlangsamung des Stromabfalles im Rücken. Dazu käme noch ein Energieverlust, für den man mit guter Näherung schreiben kann

$$A_{RL} \approx I^2 \sqrt{LC} \cdot \sum_{i=1}^{n} R_{Li}.$$

Es ist empfehlenswert, diese Energieverluste kleiner als 5 % der gesamten Ladeenergie zu halten. Um dies einhalten zu

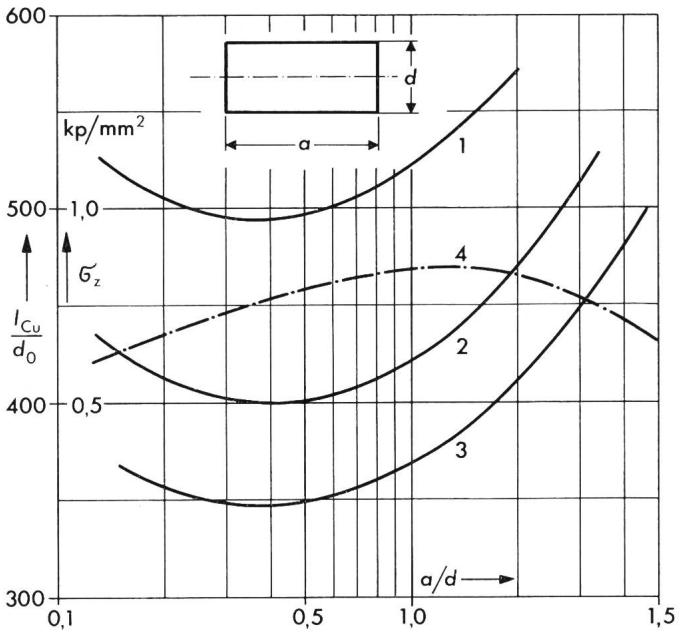

Fig. 7 Erforderliche Drahtlänge l_{Cu} zur Ausführung einer einlagigen Spule sowie Zugspannung σ_z in Abhängigkeit des Spulenabmessungs-Verhältnisses a/d

L = konst; Draht ⌀ = konst.

a Spulenlänge
d Spulendurchmesser
d_0 Durchmesser einer Spule bei $a/d = 1$
L Induktivität (3,34 mH)

l_{Cu}/d_0: 1 – Draht ⌀ 1 mm, d_0 = 180 mm
2 – Draht ⌀ 2 mm, d_0 = 277 mm
3 – Draht ⌀ 3 mm, d_0 = 362 mm
σ_z: 4 – Draht ⌀ 2 mm, I = 1000 A

können, soll, neben dem ausreichenden Leiterquerschnitt, auch die Form der Drosselspulen möglichst optimal gewählt werden. In Fig. 7 ist die erforderliche Drahtlänge für eine bestimmte Induktivität in Abhängigkeit des Abmessungsverhältnisses aufgetragen. Wie man sieht, hat eine Drossel die kleinste Drahtlänge (d.h. den kleinsten Eigenwiderstand) bei einem Verhältnis a/d von rund 0,4. Bei Vergrösserung dieses Verhältnisses, z.B. auf 2, würde der Eigenwiderstand um ca. 20% ansteigen. Eine Verdoppelung des Drahtquerschnittes dagegen würde den Widerstand auf ca. 56% des ursprünglichen Wertes vermindern. Allerdings würde das zugleich eine ca. 25%ige Vergrösserung der linearen Abmessungen der Drossel nach sich ziehen.

Ein weiterer Aspekt, der nicht völlig ausser acht gelassen werden darf, ist die Zugbeanspruchung im Draht infolge der elektrodynamischen Kräfte. Normalerweise wird diese Beanspruchung bei der Einhaltung des oben erwähnten Verlustkriteriums klein genug. In Fig. 7 ist auch die Zugbeanspruchung σ_z für eine bestimmte Drossel in Abhängigkeit des Verhältnisses a/d aufgetragen. Die grösste Beanspruchung tritt im betrachteten Falle bei $a/d \approx 1{,}25$ auf. Diese sowie weitere Fälle für $a/d > 1{,}25$ können für die einlagige Spule mit guter Näherung aus folgender Relation ermittelt werden:

$$\sigma_z = 0{,}32 \cdot 10^{-7} \frac{I^2 N}{S_{Dr}} \frac{d}{a} K_a \quad [\mathrm{kp/m^2}]$$

wobei S_{Dr} den Drahtquerschnitt in m^2 und N die Windungszahl bezeichnet. Der Korrekturfaktor K_a hat im erwähnten Bereich folgenden Betrag:

a/d	1,25	1,5	1	3	4
K_s	0,735	0,770	0,818	0,872	0,902

3. Strom- und Spannungsverlauf innerhalb des Generators

Neben dem Stromimpuls im Anpasswiderstand R_1 ist es auch interessant, den Stromverlauf innerhalb des Kettenleiters zu untersuchen, was wiederum mit dem erwähnten Programm [6] durchgeführt wurde. In Fig. 8 ist neben dem Ausgangsimpuls eines 8gliedrigen Generators noch der Stromverlauf in L_5 bzw. L_1 wiedergegeben. Wie man sieht, wird gegen Ende des Kettenleiters der Stromimpuls immer kürzer und welliger (i_{L8}), was etwa einem Kettenleiter mit immer kleinerer Stufenzahl entsprechen würde. Wesentlich ist dabei, dass die Stromänderungen nirgends schneller als im Frontteil des Stromimpulses sind sowie dass die Stromschwingungen in relativ kleinem Rahmen bleiben.

Auf ähnliche Weise wurden auch die Spannungen an den Kondensatoren C_1, C_5, C_8 untersucht. Sie sind in Fig. 9 wiedergegeben. Auch hier kann man feststellen, dass die Spannungsänderungen sowie die Oszillationen in relativ gleichem Rahmen wie beim Stromimpuls liegen. In Fig. 10 wurden dieselben Kondensatorenspannungen an einem ausgeführten Generator (Fig. 11) aufgenommen, wobei eine gute Übereinstimmung mit den gerechneten Kurven erzielt wurde.

Die Untersuchungen des Strom- und Spannungsverlaufes im Generator sind für die Beurteilung der Dielektrikumsbeanspruchung in Kondensatoren sehr aufschlussreich. Dadurch können die Kondensatoren für die gewünschte Lebensdauer (d.h. Stosszahl) optimal ausgelegt werden.

4. Ausgeführte Generatoren

4.1 Generator für drei CEI-Entladeklassen

In Fig. 11 ist ein neuzeitlicher Generator abgebildet. Er ist als ein 8gliedriger Kettenleiter aufgebaut, wobei jede Stufe aus drei untereinander gleichen Kondensatoren (8) sowie aus einer

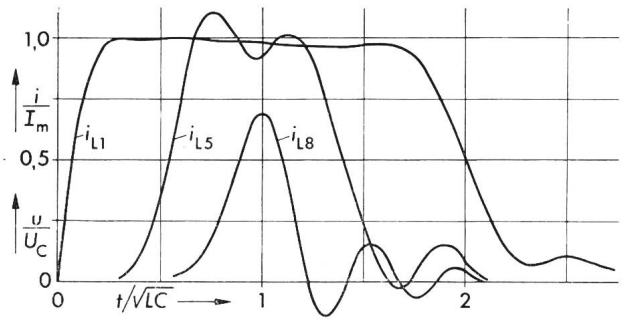

Fig. 8 Stromverlauf in den Drosseln L_1, L_5 und L_8 eines 8gliedrigen Generators

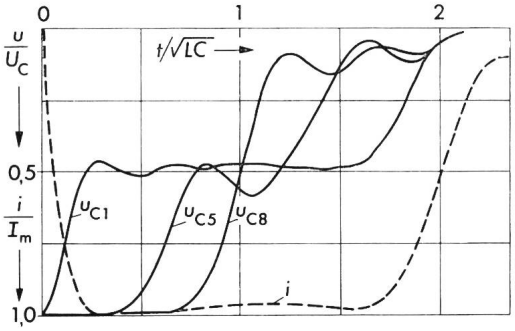

Fig. 9 Spannung am Anfangs- bzw. Mittel- bzw. Endkondensator eines Kettenleiter-Generators gemäss Fig. 1

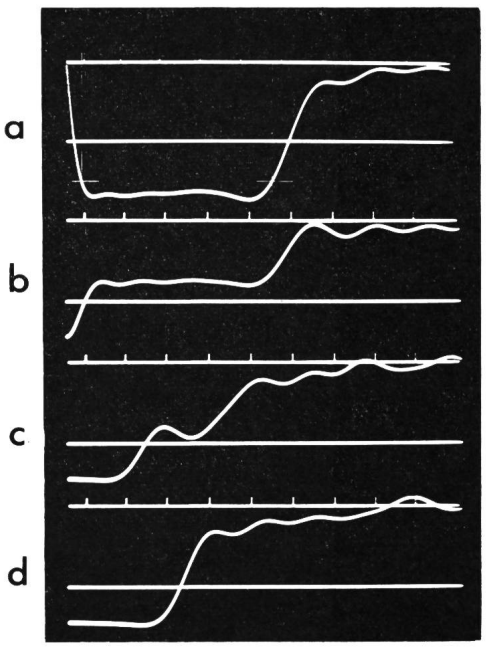

Fig. 10 Gemessener Strom- und Spannungsverlauf
Generator Fig. 11; Schaltung Kl. 1; 500 µs/div
a Stromimpuls mit $R_1 = Z$, $T_{90\%} = 2380$ µs, $I_m = 420$ A
b Spannung an C_1, $U_c = 18$ kV
c Spannung an C_5
d Spannung an C_8

Drosselspule (3) mit zwei Anzapfungen besteht. Damit können die Ableiter wahlweise gemäss den drei CEI-Entladeklassen 1, 2 und 3 (Tab. I) geprüft werden [1].

Da bei diesen Generatortypen die Ladespannung U_c im allgemeinen kleiner als die Ableiter-Ansprechspannung ist, wird zum Durchschlagen der Trennfunkenstrecken im Ableiter ein Hilfsgenerator (4) benötigt. Durch entsprechende Schaltung kann er zur gestaffelten Triggerung der Schalt- bzw. Trennfunkenstrecken eingesetzt werden. Bei unzulänglicher Spannung des Hilfsgenerators könnte die Schaltfunkenstrecke überbrückt werden, wodurch eine überlagerte Lade- und Impulsspannung für das Ansprechen der Prüflingsfunkenstrecken ausreichen würde (Fig. 1).

In Fig. 10a (oben) ist das Stromoszillogramm bei der Schaltung der Entladeklasse 1 angegeben, wobei an Stelle des Prüflings der Anpasswiderstand $R_1 = Z$ geschaltet wurde. Ein Vergleich mit dem berechneten Impuls (Fig. 4, Kurve) zeigt eine recht gute Übereinstimmung. Weitere Oszillogramme sind in Fig. 12 dargestellt. Die auffallende «Dachschräge» des Spannungsverlaufes in Fig. 12a deutet auf die erwärmungsbedingte Widerstandsverminderung hin. In Fig. 12b wurden dieselben Kurven an einer vergleichbaren Ableitersektion, jedoch mit magnetisch beblasenen Trennfunkenstrecken, aufgenommen. Als Folge derartiger Funkenstrecken ist neben dem stark veränderten Strom- bzw. Spannungsverlauf eine unvollständige Entladung des Generators zu verzeichnen. Bei entsprechenden Betriebsfällen hätte dies zur Folge, dass andere Anlageteile, z. B. magnetische Spannungswandler, die restliche Leitungsladung abführen müssten.

4.2 Kombinierter Generator

In einigen Fällen, vor allem bei Ableitern für leichte Betriebsbedingungen (light-duty), können der Hochstrom- und Langzeitstromgenerator kombiniert gebaut werden. Da bei diesen Ableitern ein bestimmter Stromimpuls vorgeschrieben

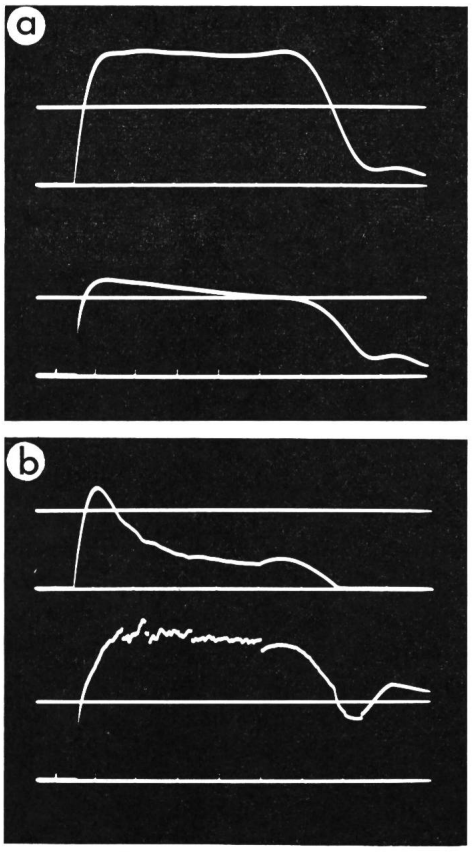

Fig. 12 Gemessener Strom- bzw. Spannungsverlauf bei der Ableiterprüfung

Generator gemäss Fig. 11

a 10-kA-Ableitersektion $U_s = 10$ kV, mit Plattenelektroden
oben: Stromverlauf $I_{eich} = 640$ A
unten: Spannungsverlauf $U_{eich} = 9{,}14$ kV
Ablenkung: 500 µs/div

b Ableiter mit beblasenen Funkenstrecken; entsprechende Kurven

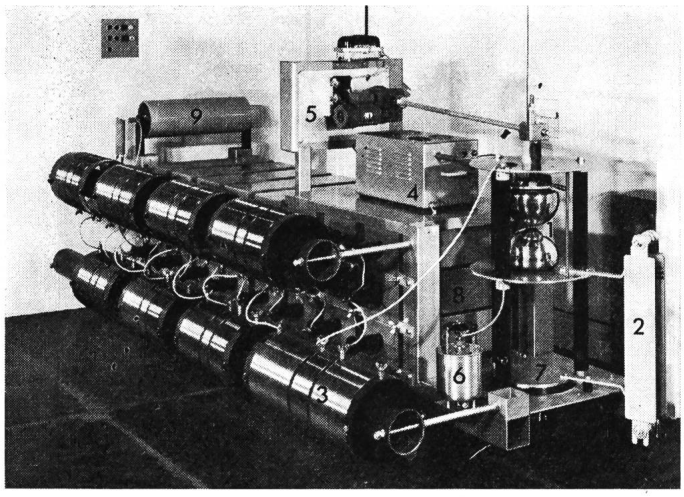

Fig. 11 Langzeit-Stoßstromgenerator für die Prüfung von Ableitern der CEI-Klassen 1, 2 und 3

1 Schaltfunkenstrecke
2 Anpasswiderstand R_1
3 Drosselspulen
4 Zündgerät
5 Antrieb zur Schaltfunkenstrecke
6 Spannungsteiler
7 Prüflingsraum
8 Stosskondensatoren
9 Erdungswiderstand (in Serie mit dem Entladeschalter)

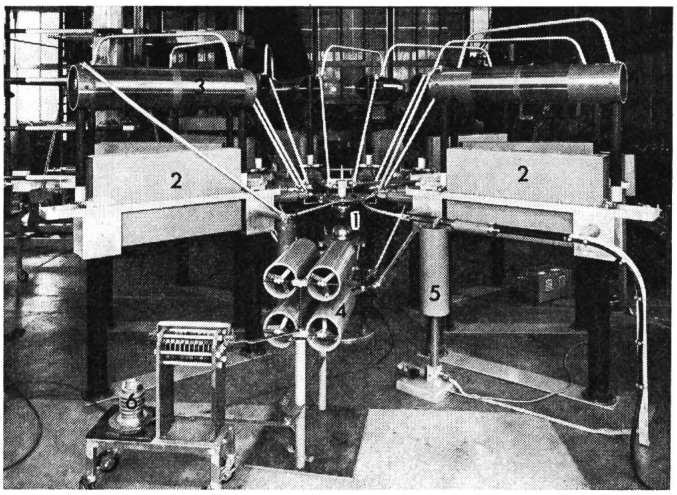

Fig. 13 Kombinierter Stoßstromgenerator 100 kV, 80 kJ

für Hochstromimpuls 4/10 µs, 200 kA
und Langzeitstoss 2100 µs, 700 A

1 Schaltfunkenstrecke
2 Stosskondensatoren
3 Drosselspulen
4 Vorwiderstand
5 Entladewiderstand mit Erdschalter
6 Prüfling

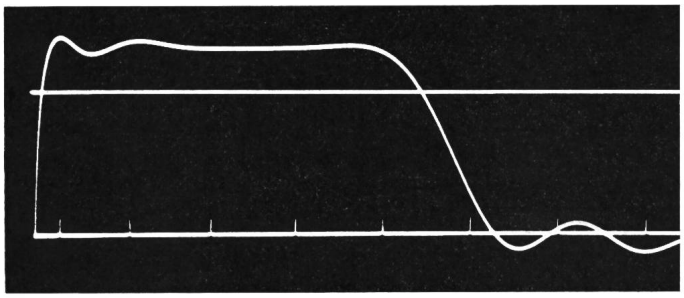

Fig. 14 Langzeit-Stoßstromimpuls
Erzeugt mit dem kombinierten Generator gemäss Fig. 13 bei $R_1 \approx 0{,}9\ Z$; $T_{90\%} = 2100$ µs sowie $I = 700$ A; $I_{eich} = 550$ A
Ablenkung 500 µs/div

ist, kann nach [1, Tab. IV] dem zu prüfenden Ableiter ein Widerstand R_V (Fig. 1) vorgeschaltet werden.

In Fig. 13 ist ein derartiger kombinierter Generator abgebildet. Ergänzend zu dem in [7] beschriebenen Generator ist hier noch über jedem Stosskondensator (2) eine entsprechende Drosselspule (3) montiert. Das Umschalten von der einen auf die andere Stoßstromform kann mit Hilfe der vorbereiteten Verbindungen sehr rasch durchgeführt werden. Bei diesem Generatortyp ist die Ladespannung stets grösser als die Ansprechspannung des Ableiters, wodurch die Trennfunkenstrecken des zu prüfenden Ableiters gleich nach dem Durchzünden der Schaltfunkenstrecke (1) ebenso durchgeschlagen werden.

In Fig. 14 ist ein Stromoszillogramm des Generators in der Langzeitstoßstromschaltung ohne Prüfling angegeben, wobei $R_V \approx Z$ gewählt wurde.

Literatur

[1] Parafoudres. Première partie: Parafoudres à résistance variable pour réseaux à courant alternatif. Publication de la CEI No. 99–1, 1970.
[2] *G.N. Glasoe* and *J.V. Lebacqz:* Pulse generators. New York and London, McGraw-Hill, 1948.
[3] *W. Bönig:* Theorie und Anwendung der Entladung des symmetrischen homogenen LC-Kettenleiters zur Erzeugung hochgespannter Rechteckimpulse. Dissertation der Technischen Hochschule Aachen, 1959.
[4] *B.J. Gururaj:* Choice of circuit constant for long-duration current generator for surge diverter testing. Internationales Symposium Hochspannungstechnik. Technische Universität München, März 1972, S. 147...152.
[5] *A. Schmid:* Gocap, ein Computerprogramm zur Analyse von elektrischen und elektronischen Schaltungen. Elektroniker 8(1969)5, S. 232...238.
[6] *M. Modrušan:* Normierte Berechnung von Stoßstromkreisen für vorgegebene Impulsströme. Bull. SEV/VSE 67(1976)22, S. 1237...1242.

Adresse des Autors
Dr. Ing. *Martin Modrušan*, Emil Haefely & Cie. AG, 4028 Basel.

Literatur – Bibliographie

621.3 SEV-Nr. A 655

Einführung in die Elektrotechnik. Arbeitsbuch. Von *Klaus Lunze* und *Eberhart Wagner*. 2. Auflage. Berlin, Verlag Technik, 1976; 8°, 304 S., 314 Fig., 5 Tab. – Preis: gb. Ostmark 35.–.

Dies ist ein «Arbeitsbuch» für Studierende der Elektrotechnik in den Anfangssemestern. Der im «Lehrbuch» (Klaus Lunze: Einführung in die Elektrotechnik, VEB-Verlag Technik, Berlin) behandelte Stoff soll durch eine Fülle der Anwendung entnommener Aufgaben verarbeitet und eingeprägt werden. Lehrbuch und Arbeitsbuch sind in jeder Hinsicht sorgfältig aufeinander abgestimmt.

Die Stoffauswahl ist die übliche, dem erwähnten Benützerkreis angepasst: Grundstromkreis, mit gründlicher Darstellung der elektrischen Grössen und ihrer Beziehungen beim Zweipol; lineare Gleichstromschaltungen; ausgewählte einfachste nichtlineare Gleichstromschaltungen; ausführliche Darlegung des elektrischen und magnetischen Feldes technisch wichtiger Elektroden- und Leiteranordnungen mit dem Ziel einer sauberen Behandlung der Vorgänge in einfachen *RC*- und *RL*-Kreisen.

Im Arbeitsbuch wird der Stoff des Lehrbuches abschnittsweise in einem Leitfaden zusammengefasst. Ohne mathematische oder physikalische Begründungen werden die Grössengleichungen in ihren Zusammenhängen in Skizzen dargestellt, oder die Methoden zur Berechnung von Schaltungen in Rechenprogrammen angegeben. Die daran anschliessenden Aufgaben werden konsequent nach gleichbleibender Systematik behandelt: Aufgabenstellung – Lösungshinweise (Methoden) – Lösung – Diskussion (z. B. Anwendungsmöglichkeiten); Hinweise auf andere Lösungsmethoden; Merkregeln, Daten.

Das Buch ist didaktisch so geschickt angelegt, dass es jedem Studierenden der Elektrotechnik an einer Technischen Hochschule fast unabhängig von seiner persönlichen Aufnahmefähigkeit und Arbeitstechnik als Arbeitsbuch dienen kann.

H. Baggenstos

621.314.632 SEV-Nr. A 658

Leistungselektronik. Grundlagen und Anwendungen. Von *Rainer Jäger*. Berlin, VDE-Verlag, 1977; 8°, 322 S., 195 Fig. Preis: bro. DM 60.–.

Hauptthema des Buches bildet, neben einem kurzen Überblick über die Eigenschaften, Kühlung, Schutz und Steuerung der Thyristoren, die Stromrichter-Schaltungslehre. Übersichtlich werden die Grundschaltungen der fremd- und selbstgeführten Stromrichter sowie der Wechsel- und Gleichstromsteller behandelt. Die Anwendung der Leistungselektronik wird in einem Abschnitt über die Stromrichterantriebe beschrieben.

Die einzelnen Kapitel sind mit Aufgaben ergänzt, deren Lösung im Anhang des Buches zu finden ist. Allerdings sind dabei, neben entsprechenden Zahlenbeispielen, auch komplizierte Probleme als Aufgaben gestellt, die den Rahmen der im Buch enthaltenen Erläuterungen weit überschreiten.

Die Stromrichterschaltungen werden konventionell – glatter Gleichstrom, keine Kommutierung – beschrieben. Die Kapitel sind nicht ganz ausgewogen, z. B. wird der stark idealisierten Einpulsschaltung mehr Gewicht gegeben als der wichtigen Drehstrom-Brückenschaltung (dieser Begriff fehlt sogar im Sachverzeichnis).

Im Schrifttum sind neben den deutschsprachigen Veröffentlichungen des letzten Jahrzehnts auch die DIN-Stromrichternormen erwähnt. Zweifarbiger Druck vieler Bilder und Gleichungen erleichtert das Verständnis. Die Orientierung beim Nachschlagen wird durch ein Formelzeichenverzeichnis ermöglicht. *A. Kloss*