

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 45 (1954)
Heft: 7

Artikel: Messinstrument zur Zählung der Anzahl Blitzeinschläge in einem beschränkten Umkreis
Autor: Trümpy, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1058801>

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: 14.01.2026

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

bei der Konstruktion und Fabrikation stellen. So ist es nicht ganz einfach, eine Spannung von z. B. 15 kV in einem Gerät von relativ kleinen Abmessungen zu erzeugen und zu führen, ohne dass Überschläge und Korona-Erscheinungen auftreten. Ferner nützt die beste Schaltung nichts, wenn sich unter den frequenzbestimmenden Elementen der Ablenschaltungen eines von mangelhafter Stabilität befindet, sei es ein Widerstand oder ein Kondensator, der mit Temperatur oder Alterung seinen Wert ändert. Der betreffende Fernsehempfänger wird seinen Besitzer stets durch Weglaufen des Bildes ärgern.

Es ist ferner nicht ganz einfach, beim engen Zusammenbau aller Teile auf dem Chassis zu vermeiden, dass z. B. durch Kopplung zwischen Zeilen- und Bildablenkung ein störendes Paarigstehen der Zeilen verursacht wird, dass eine Schwebungserscheinung zwischen Netzfreqenz und Rasterfreqenz als Dunkelwelle langsam über den Bildschirm

läuft, oder dass das magnetische Streufeld des Netztromtransformators, des Tontransformators oder des Lautsprechers das Bild modulieren oder verzerrn.

Bei der Verdrahtung, vor allem des HF-Teiles, müssen Induktivitäten und Streukapazitäten der Leitungen, die auf den höheren Kanälen einen wesentlichen Bestandteil der Schwingkreise ausmachen, sehr engen Toleranzen genügen. Dies erfordert eine Exaktheit der verwendeten Drahtlängen und der Drahtführung, die der Werkstatt neu ist.

Die Zahl der Probleme und der möglichen Lösungen ist mit den aufgeführten keineswegs vollständig erfasst und das Gebiet auch noch so wenig ausgeschöpft, dass sich für Erfindungsgabe und für schöpferische Phantasie noch reiche Ernten bieten.

Adresse des Autors:

Dr. sc. techn. A. Braun, Ingenieur, Albiswerk Zürich A.-G.,
Albisriederstrasse 245, Zürich 47.

Messinstrument zur Zählung der Anzahl Blitzeinschläge in einem beschränkten Umkreis

Von E. Trümpy, Zürich

621.317.7 : 551.594.221

Es wird ein Zähler beschrieben, der auf das magnetische Feld einer elektrischen Entladung reagiert, mit der Absicht, ausschliesslich durch Erdblitze das Zählwerk in Funktion zu setzen. Das Prinzip beruht auf der Beobachtung, dass beim Erdblitze die über 5 μ s gemessene mittlere Stromänderung eine Grösse hat, welche von keiner andern Entladung erreicht wird, seien es Wolkenblitze, Erdschlüsse von benachbarten Hochspannungsanlagen usw.

Description d'un compteur qui agit sous l'influence du champ magnétique d'une décharge électrique, mais de telle sorte que le mécanisme enregistreur ne fonctionne que lorsqu'il se produit des coups de foudre au sol. Son principe est basé sur le fait que, dans ce cas, la variation d'intensité moyenne, mesurée pendant 5 μ s, est d'une grandeur qui n'est atteinte par aucune autre décharge, que ce soit par des coups de foudre entre nuages, par des mises à la terre accidentelles dans des installations à haute tension voisines, etc.

1. Bedürfnis und Ziel der Arbeit

Es ist eine alte Behauptung, dass bestimmte Gebiete viel mehr durch Blitzeinschläge gefährdet sind als andere. Eine physikalische Erklärung für diese Beobachtung ist bis heute nur in Form von Vermutungen möglich, da die meteorologischen Bedingungen für das Zustandekommen des Blitzes noch wenig bekannt sind. Zweifellos ist eine Gefährdung durch Blitze nur soweit vorhanden, als Blitzeinschläge zum Erdboden (Erdblitze) erfolgen. (Es gibt bekanntlich Gewitter, vor allem in den Tropen, deren Blitze ausschliesslich von Wolke zu Wolke verlaufen, ohne den Boden je zu erreichen [Wolkenblitze].) Es ist oft versucht worden, die Einschlagdichte der Erdblitze abzuschätzen. In der Literatur werden Zahlen von einigen Einschlägen pro Quadratmeile und pro Jahr genannt [1]¹).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Beschreibung der Entwicklung eines Zählers, der ausschliesslich Erdblitze in einem möglichst klar definierten Umkreis zählt.

2. Methoden der Einschlagzählung

Für die Zählung von Einschlägen ist eine ganze Reihe von Methoden denkbar:

a) Optische Methode

Der Blitz wird photographisch festgehalten und aus dem Bild der Einschlagpunkt bestimmt, wobei

in der Literatur sogar Angaben über die Möglichkeit von Photographien von Blitzen während des hellen Tages gemacht werden. Diese Methode krankt an der Abhängigkeit vom Wetter (Regen und Nebel), ferner ist ein erhöhter Standpunkt für die Photoapparate notwendig [2].

b) Optisch-akustische Methode

Der Blitz wird photographiert, die Distanz durch Messung des Zeitintervales vom Moment des Blitzeinschlags bis zum Eintreffen der vom Donner herührenden Schallwellen bestimmt. Grobe Fehler können entstehen, wenn die Blitzbahn nicht senkrecht, sondern schräg oder parallel zur Erdoberfläche verläuft. Distanzen können daher um einige Kilometer falsch eingeschätzt werden.

c) Elektrische Methoden

Es besteht die Möglichkeit, Erdblitze durch gleichzeitige Messung des Potentials des Erdbodens mit Sonden an verschiedenen Orten festzustellen und auch zu lokalisieren. Die Methode ist teuer und hat den Nachteil, dass andere Erdströme, z. B. von elektrischen Bahnen herührend, Fehlmessungen ergeben können.

Schonland schlägt vor, die bei Blitzentladungen auftretenden elektrischen Feldänderungen zur Registrierung auszunützen. Leider kann aber das auf dieser Basis entwickelte Gerät Wolken- und Erdblitze nicht unterscheiden. Zudem weist es den prin-

¹⁾ siehe Literatur am Schluss.

ziuellen Fehler auf, dass Entladungen in einer bestimmten Entfernung (tote Zone) nicht gezählt werden. Zur ausschliesslichen Zählung von Erdblitzen befriedigt dieses Gerät nicht.

Weiterhin ist denkbar, die magnetische Induktionswirkung des Blitzstromes zur Feststellung von Blitz einschlägen zu benützen, sofern sich zwischen Wolken- und Erdblitz ein charakteristischer Unterschied im zeitlichen Verlauf des Stromes zeigt. Ein solcher Unterschied scheint auf Grund der Messungen von Schonland, Malan usw. zu bestehen, weil es allem Anschein nach nur bei Erdblitzen zu Hauptblitzen (main-strokes) kommt, nicht aber bei Wolkenblitzen. Der Hauptblitz sei dabei als Stromimpuls grosser Höhe und kurzer Dauer definiert. Leider lässt sich der Stromverlauf der Wolkenblitze nicht durch direkte Messung bestimmen, weil der Strom nicht über die Erde fliesst. Als indirekte Methode kommt zu diesem Zwecke lediglich die Messung der Induktionswirkungen in Betracht. Solche Messungen sind bis heute nicht veröffentlicht worden.

Auf Anregung und unter der Leitung von Prof. Dr. K. Berger wurde im Hochspannungslaboratorium der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich ein Blitz einschlagzähler entwickelt, der die Induktionswirkung der Erdblitze zur Registrierung benützt.

3. Grundlagen und Prinzip des neuen Einschlagzählers

Auf Grund vieler in der Blitzmeßstation auf dem Monte San Salvatore bei Lugano aufgenommener Oszillogramme des Blitzstromes bei Einschlägen in die dort aufgestellten Blitzableiter ist bei Erdblitzen ein Stromanstieg festgestellt worden, der sich wie folgt charakterisiert (Fig. 1 und 2):

- Dauer des Blitzstromanstieges: 1...10 μ s (wesentlicher Teil meist innerhalb 5 μ s);
- Stromamplitude: 5...100 kA;
- Halbwertdauer $T_h = 10...100 \mu$ s (ausnahmsweise bis 300 μ s, sofern die Stromamplitude grösser als 10⁴ A ist).

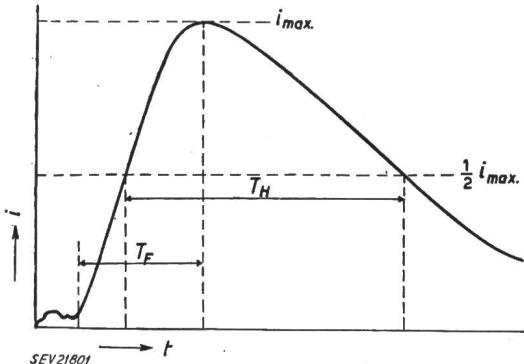


Fig. 1

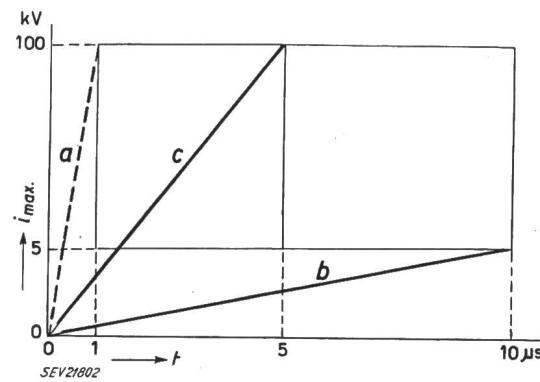
Prinzipielles Stromoszillogramm eines Erdblitzes

T_F Frontdauer, 1...10 μ s; T_h Halbwertdauer, 10...100 μ s;
 i Strom des Erdblitzes, sein Maximum i_{max} beträgt 5...100 kA;
 t Zeit

Eine Korrelation der drei Werte-Gattungen konnte bis jetzt nicht festgestellt werden.

Rasche Stromänderungen kleiner Amplitude sind beim Wolkenblitz vermutlich ebenfalls möglich,

doch scheint die Annahme gerechtfertigt, dass die mittlere Stromänderung über 5 μ s gemessen beim Erdblitz grösser ist als beim Wolkenblitz, denn die so beschriebene Stromänderung kann nur durch die rasche Entladung des geladenen Blitzkanals an einen

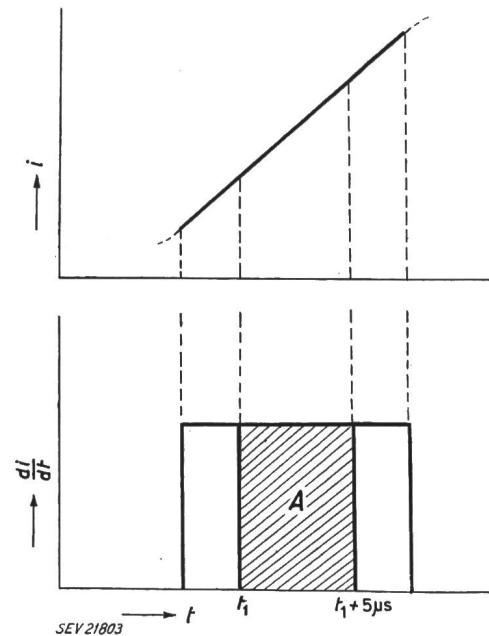
Fig. 2
Diagramm der beim Erdblitz vorkommenden Steilheiten der Front T_F

a und b stellen die extrem vorkommenden Steilheiten der Front dar, c hingegen die auf das Meßsystem am stärksten wirkende Front

i_{max} Stromamplituden der Erdblitze; t Zeit

Leiter (die Erde) entstehen. Das Prinzip des entwickelten Apparates besteht nun darin, einen Zähler ansprechen zu lassen, sobald die mittlere Stromänderung $\left| \frac{\Delta i}{\Delta t} \right|_{5 \mu s}$ einen Schwellenwert überschreitet.

Mathematisch wird die verlangte mittlere Stromänderung dadurch erhalten, dass das bestimmte Integral in den Grenzen $t = t_1$ bis $t = t_1 + 5 \mu$ s der

Fig. 3
Graphische Darstellung der im Text definierten Fläche A
Bezeichnungen siehe im Text

nach der Zeit differenzierten Stromkurve $i = i(t)$ des Blitzes gebildet wird. Das Integral ist proportional der verlangten mittleren Stromänderung und ist in Fig. 3 durch die Fläche A dargestellt. Diese

Proportionalität ist daraus ersichtlich, dass im Nahfeld des Blitzes gilt:

$$A = \int_{t_1}^{t_1+5\mu s} u_i dt = -M \int_{t_1}^{t_1+5\mu s} \frac{di}{dt} dt = -M \int_{t_1}^{t_1+5\mu s} di$$

$$A = -M [i(t_1 + 5\mu s) - i(t_1)] = -M \Delta i$$

$(\Delta i > 5\mu s)$

Wo A Fläche, u_i in den Rahmenantennen induzierte Spannung, M magnetische Kopplung, i Blitzstrom und t Zeit bedeuten.

Der Einschlagzähler verwirklicht die genannten mathematischen Operationen auf folgendem Wege:

a) Differentiation der Stromkurve $i = i(t)$ des Blitzes

Wird eine induktive Ankopplung des Zählers an den Blitz gewählt, so induziert das vom Blitzstrom herrührende Magnetfeld in der Antenne des Zählers eine Spannung u_i , welche im Nahfeld proportional di/dt ist:

$$u_i = -M \frac{di}{dt}$$

b) Ausführung der Integration

Das verlangte bestimmte Integral wird auf bekannte Art durch Aufladung einer Kapazität C über einen Widerstand R gebildet.

$$uc = \frac{1}{C} \int i_c dt$$

Die Dauer der Aufladung muss nach Voraussetzung $5\mu s$ betragen. Falls die Zeitkonstante $\tau = RC \gg 5\mu s$ ist, wird die Amplitude h des dreieckigen Spannungsimpulses uc , welcher an der Kapazität erhalten wird, proportional der oben definierten Fläche A (Fig. 4). Damit ist eine leicht auswertbare Grösse für das gesuchte Integral gefunden.

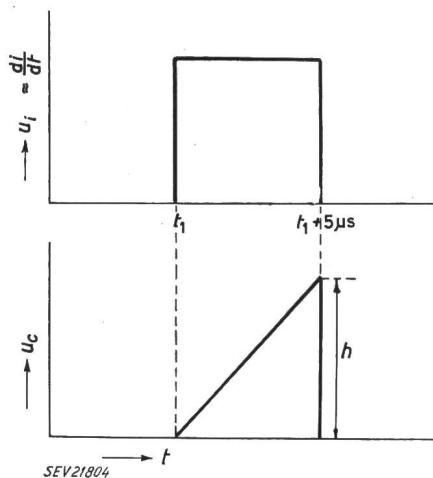


Fig. 4
Graphische Darstellung der Integration
Bezeichnungen siehe im Text

Zur Ausführung der beschriebenen Integration wurde ein Zweikanal-Meßsystem gewählt. Die beiden Kanäle werden abwechselungsweise während $5\mu s$ eingeschaltet, bzw. gesperrt. Der eingeschaltete Kanal führt die verlangte Integration in der vorge-

schriebenen Zeitspanne von $5\mu s$ durch, während dem der gesperrte Kanal vollkommen entladen wird, um in den folgenden $5\mu s$ Einschaltzeit frei von Restladungen, d. h. messbereit zu sein. Überschreitet die Amplitude h einen Schwellenwert h_{min} , so muss der Zähler ansprechen.

4. Beschreibung des ausgeführten Apparates

a) Kopplung, algebraische Addition und Eingangsverstärker

Damit die Empfindlichkeit des Einschlagzählers nicht stark von der Richtung abhängt, wird er mit zwei zueinander räumlich um 90° verdrehten, abgeschirmten Rahmenantennen an den Blitz angekoppelt (Fig. 5). Auf gute Abschirmung der beiden Antennenzuführungen und auch des ganzen Zählergehäuses ist zu achten, damit die Kopplung keinesfalls kapazitiv erfolgen kann. Die beiden Windungs-

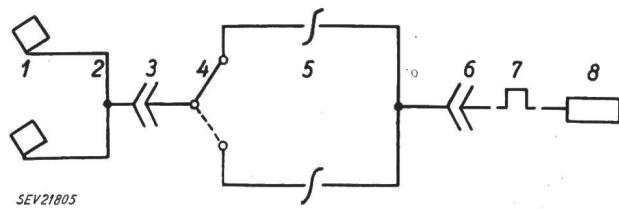


Fig. 5
Schematischer Aufbau des Einschlagzählers

1 Rahmenantenne; 2 Addition; 3 Verstärker; 4 Schalter; 5 Integration; 6 Verstärker; 7 Auslösung; 8 Zähler

enden einer Rahmenantenne sind symmetrisch zur Erde geschaltet. Mit einer Doppeldiode pro Antenne wird erreicht, dass über einen gemeinsamen Kathodenwiderstand unabhängig von der Polarität des Blitzes formgetreue positive Impulse entstehen, welche im darauf folgenden Verstärker vergrössert und begrenzt werden.

Die Addition der Eingangsspannungen der beiden Rahmenantennen wird dadurch erhalten, dass der schon erwähnte Kathodenwiderstand auch gemeinsam für die beiden Doppeldioden wirkt. Die Ströme der beiden Doppeldioden addieren sich demnach in jedem Moment, so dass die Summenspannung am Kathodenwiderstand je nach der Richtung des Blitzes nur zwischen 1 und $\sqrt{2}$ schwanken kann.

Der eigentliche Verstärker umfasst zwei Stufen, da trotz der verlangten grossen Bandbreite von ca. 1 MHz eine genügend grosse Verstärkung und damit eine genügende Empfindlichkeit gewährleistet sein muss. Die maximal gestattete Empfindlichkeit ergibt sich dadurch, dass Wolkenblitze in minimal vorkommender Entfernung nicht gezählt werden dürfen. Aus diesem Grunde wurde die grösste Empfindlichkeit so festgelegt, dass der Zähler bei einem Blitz in einem Kilometer Entfernung und mit der mittleren Stromänderung von $1000 \text{ A}/\mu s$ während $5\mu s$ seine Zählschwelle gerade erreicht. Die Eingangsspannung am Verstärker beträgt dabei ca. 0,8 V. Ströme von hundertfacher Steilheit müssen noch gezählt werden.

Die Verstärkung dieser Stufe ist variabel, so dass die Empfindlichkeit des Gerätes von ihrer maximalen Grösse bis zur vollständigen Unempfindlichkeit beliebig und kontinuierlich eingestellt werden kann.

b) Elektronischer Schalter und Integration

Den in Abschnitt 3 angeführten Ausführungen ist noch folgendes beizufügen:

Die beiden elektronischen Schalter am Eingang des Zweikanalsystems bestehen aus zwei Heptoden. Auf entsprechenden Steuergittern der beiden Röhren werden einander um 180° phasenverschobene Spannungsimpulse rechteckiger Form aufgedrückt, derart, dass beim gleichzeitigen Anlegen des Eingangssignals an die entsprechenden andern beiden Steuergitter die eine Röhre gesperrt bleibt, währenddessen in der andern Strom fliesst. Die Schaltdauer beträgt nach Voraussetzung 5 μ s.

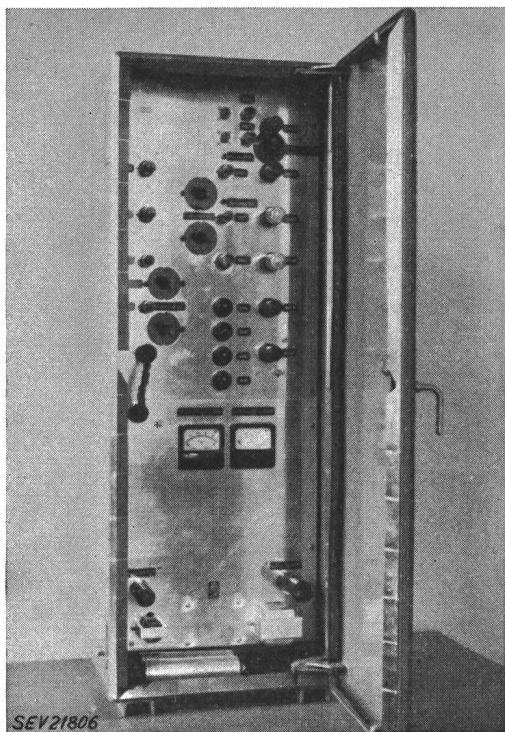


Fig. 6
Ansicht des Messinstrumentes

Die Entladung der Integration erfolgt durch eine Anordnung von zwei Doppeldioden pro Kanal. Die Entladungen werden wie beim Schalter durch phasenverschobene Spannungsimpulse gesteuert.

c) Endstufe

Vor Vereinigung der beiden Kanäle werden die Spannungsimpulse getrennt verstärkt. Die beiden Röhren, welche die Vereinigung vollziehen, sind als Schwellen geschaltet. Da die Steuergitter unter den cut-off vorgespannt sind, müssen die Spannungsimpulse eine gewisse Amplitude aufweisen, damit sie weitergeleitet werden. Es ist darauf zu achten, dass die Vorspannungen dazu genügen, die Röhren für das «Geräusch» des elektronischen Schalters gesperrt zu halten. Es kann hier auch die Empfindlichkeit des ganzen Zählers variiert werden. Schwellenänderungen während des Betriebes sind nicht zu empfehlen, da die beiden Röhren sich nur mit Hilfe weiterer Messinstrumente einregulieren lassen.

Alle diese Schwellen passierenden Impulse lösen, ungeachtet des Kanals dem sie angehören, einen

monostabilen Multivibrator aus. Dieser schliesst seinerseits einen Stromkreis und bringt das Zählwerk zum Ansprechen. Wichtig ist, dass die Auslösung des Multivibrators praktisch unabhängig von der Dauer des Eingangsimpulses erfolgt. Diese darf im ausgeführten Falle Bruchteile von 1 μ s betragen.

Aus dem ganzen Zählsystem geht hervor, dass ein einziger in der Rahmenantenne induzierter Spannungsimpuls mit einer Dauer grösser als 5 μ s den Multivibrator verschiedene Male auslösen kann. Um nur eine einmalige Registrierung zu erhalten, wurde ein Zählwerk gewählt, das alle $1/20$ s neu zu zählen im Stande ist, eine Zeit, die viel grösser als die gemessene Dauer von Erdblitzen, besonders als deren Frontdauer T_F ist.

5. Anfänglich aufgetretene Störungen

a) Verschiedene Röhren führen nur beim Ansprechen des Zählers Strom und sind somit praktisch ständig gesperrt. Gewöhnliche Röhren haben die Eigenschaft, nach langen Sperrzeiten bei Impulsbetrieb keinen oder nur noch einen Bruchteil des Nennstromes zu liefern. Aus diesem Grunde sind beim ausgeführten Zähler alle derart beanspruchten Röhren unter den zur Verfügung stehenden RCA-Spezialtypen 5915 und 5963 ausgewählt worden.

b) Auf die Erdungs- und Abschirmungsverhältnisse ist speziell Rücksicht zu nehmen. Das Gehäuse muss mit dem Nulleiter des Netzes verbunden sein, damit keine Potentialunterschiede zwischen diesem und einer eventuellen weiteren Erdung des Gehäuses auftreten können. Es wurde festgestellt, dass solche Störimpulse den Zähler zum Ansprechen bringen, solange der Käfig nicht vollständig ist. Zur Vervollständigung des Käfigs gehört auch das Abblocken der speisenden Netzphasen an den Käfig.

c) Eine weitere Quelle von Fehlzählungen kann das Netzgerät sein. Es darf von einer Stabilisierung der Spannung abgesehen werden, falls beim Einschalten der Netzspannungen sich die positiven Anodenspannungen nur verzögert gegenüber den negativen Gittervorspannungen bilden können, bzw. beim Ausschalten sich der umgekehrte Vorgang abspielt. In diesem Fall ist das Gerät vollkommen unempfindlich auf Störungen des Netzes.

d) Kurzschlüsse, Erschlüsse usw. von benachbarten Hochspannungsleitungen dürfen selbstverständlich keine Fehlzählungen verursachen. Beim extremen Fall einer Wanderwelle auf einer Freileitung von 500 kV fliesst bei einem Wellenwiderstand von 200Ω ein Wellenstrom von 2500 A. In der 1- μ s-Front besteht eine Stromänderung von 2500 A/ μ s. Über 5 μ s ergibt sich somit eine mittlere Änderungsgeschwindigkeit von nur 500 A/ μ s. Zudem ist bei gleichem di/dt bei Blitz und Erdchluss das magnetische Feld des Blitzes viel stärker mit der Antenne gekoppelt als jenes einer fernen Hochspannungsleitung.

6. Funktionskontrolle des Einschlagzählers

Einige prinzipielle Messprobleme, welche durch das System des entwickelten Zählers begründet sind, seien kurz angeführt.

a) Richtungsempfindlichkeit

Durch die räumliche Anordnung der beiden Antennen ergibt sich ein Unterschied der Empfindlichkeit in der Ebene im Verhältnis von maximal $1:\sqrt{2}$, bei Voraussetzung vertikaler Blitze.

b) Zählfolge

Da das Zählwerk nur alle $1/20$ s neu zählen kann, werden zwei Erdblitze, die in weniger als $1/20$ s aufeinander folgen, nur einmal gezählt. Eine solche rasche Folge von Erdblitzen ist aber selten.

c) Schwellenwert (Empfindlichkeit)

Wie schon erwähnt, muss in mindestens einem Kanal des Einschlagzählers eine Fläche minimaler Grösse A_{min} innert $5 \mu s$ induziert werden, damit die Schwelle zur Auslösung des Zählers erreicht wird. Dadurch, dass der Erdblitz nicht mit dem Gerät synchronisiert werden kann, ergeben sich Komplikationen, indem die totale induzierte Fläche A_{total} durch den Schalter willkürlich in verschiedene Teilflächen A_1, A_2, \dots zerhackt wird (siehe Fig. 7).

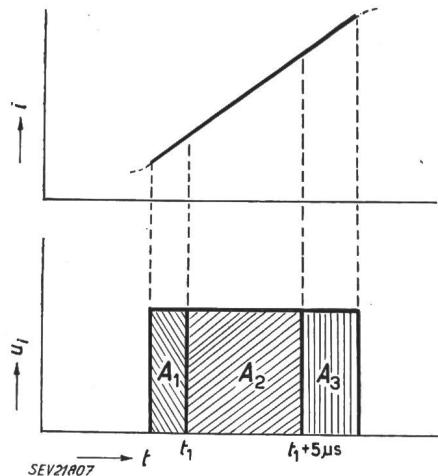


Fig. 7
Darstellung der Aufteilung der Fläche A_{total} durch das Zweikanal-Meßsystem

$$A_{total} = A_1 + A_2 + \dots + A_n$$

Der Zähler spricht an, falls A_1 oder A_2, \dots oder $A_n \geq A_{min}$
Bezeichnungen siehe im Text

I. $t_i \geq 10 \mu s$

A_{total} wird willkürlich in die verschiedenen Kanäle aufgeteilt; mindestens ein Kanal wird jedoch sicher während $5 \mu s$ ununterbrochen gespiesen. A_{min} wird somit unter allen Umständen im einen oder andern Kanal eindeutig erreicht. Die Schwelle ist scharf ausgeprägt, d. h. eine kleine Änderung von u_i bewirkt, dass die Blockierung des Zählers aufgehoben wird und dieser jeden Eingangsimpuls zählt.

II. $t_i < 10 \mu s$

Je nach dem Zeitpunkt der Umschaltung in der Stromfront wird die Fläche A_{total} verschieden unterteilt. Der ungünstigste Fall ist jener, wo A_{total} gerade halbiert wird. Bei $t_i = 5 \mu s$ wird jeder Kanal während $2,5 \mu s$ gespiesen und u_i muss verdoppelt werden, um dieselbe Fläche A zu erhalten

wie in jenem Fall, wo A_{total} nicht aufgeteilt wird. Dasselbe gilt für $t_i < 5 \mu s$. Dies heisst, dass die Empfindlichkeit des Einschlagzählers in diesem Falle bis doppelte Werte A_{total} benötigt, d. h. dass A_{total} maximal im Verhältnis $2:1$ streut. Bei Frontdauern $< 5 \mu s$ wird die Wahrscheinlichkeit, dass die Umschaltung gerade mitten in der Front passiert, immer kleiner. Im Grenzfall bekommt jeder Kanal nur den halben Gesamtimpuls A_{total} , doch wird dieser Fall immer seltener. Da die meisten Erdblitze eine Frontdauer von $2 \dots 5 \mu s$ (selten länger als $10 \mu s$) aufweisen, wird die Streuung im Sinne höherer Ansprechwerte bei kürzerer Dauer als $5 \mu s$ immer seltener. In Fig. 8 ist der Verlauf der Streuung graphisch dargestellt, wobei T_F als Parameter berücksichtigt wird.

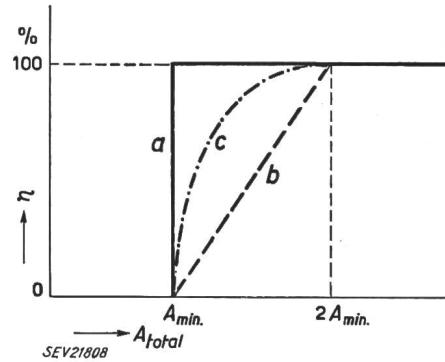


Fig. 8
Darstellung der Streuung, hervorgerufen durch das Zweikanal-Meßsystem

a : $t \geq 10 \mu s$; b : $t = 5 \mu s$; c : $t = 8 \mu s$ bzw. $2 \mu s$
Weitere Bezeichnungen siehe im Text

In den vorangehenden Betrachtungen wurden Blitze mit während der Frontdauer T_F konstant bleibender Stromänderung behandelt. Ist di/dt nicht konstant, so bleiben die Streuungsverhältnisse identisch den eben besprochenen. Als einzige Bedingung für die Front gilt, dass diese keine Schwingungen aufweist, weil in diesem Fall der Zähler nicht auf die mittlere, sondern auf die Summe der absoluten Teilbeträge der positiven und negativen Spannungsänderungen während $5 \mu s$ reagiert. Dieser theoretische Fall ist nicht von Interesse, da Schwingungen in der Front bei Erdblitzen nicht ausgeprägt sind.

Die verschiedenen, in Abschnitt 6c beschriebenen Fälle wurden experimentell nachgeprüft. Einerseits wurde mit einem Rechteck-Impulsgenerator bei der niedrigen Stoßfolge von 50 Hz direkt Spannung an die Windungsenden der Rahmenantenne gelegt, wobei die Zeitdauer der Impulse beliebig von 2 bis $60 \mu s$ variiert werden konnte. Anderseits wurde der Einschlagzähler induktiv an eine Stoßschaltung gekoppelt. Die Frontdauer des Stoßes konnte in diesem Fall in den Stufen von $32, 15, 7$ und $3 \mu s$ gewählt werden. Die gemessene Streuung der Empfindlichkeit entsprach den obigen Überlegungen. Im besonderen bestätigte sich das Verhältnis zwischen Streuungsbeginn und Streuungsende von $2:1$.

d) Obere Messgrenze

Bei der Aufstellung des Einschlagzählers ist darauf zu achten, dass unter keinen Umständen ein Erd-

blitz in nächster Nähe einschlägt. Die induzierte Spannung zwischen Kathode und Heizfaden der Eingangsröhre darf 330 V nicht übersteigen, was bei der bestehenden Schaltung einen Höchstwert für die induzierte Spannung von 660 V ergibt. Für die steilste vorkommende Front eines Erdblitzes von 10 kA/μs darf dieser nicht näher als ca. 12 m einschlagen. Auf dem Monte San Salvatore wird der Einschlagzähler in dieser Hinsicht durch einen ca. 20 m entfernten Blitzableiter geschützt.

e) Einfluss der Blitzlage und Blitzlänge

Für die folgenden Betrachtungen soll der Erdblitz als Entladung eines Plattenkondensators durch einen zentralen Überschlagfunkten nach Fig. 9 definiert werden. Der Stromkreis schliesst sich durch einen Verschiebungsstrom $\varepsilon \frac{dE}{dt}$ [E elektrische Feldstärke; ε Dielektrizitätskonstante], wobei dieser gleichmäig über die Platten verteilt fliesset. Die beiden Platten des Kondensators, Erde und Wolke,

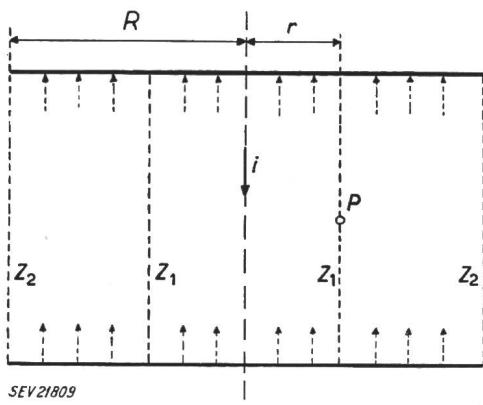


Fig. 9

Für die Rechnung benütztes Ersatzbild einer Blitzentladung (Erdblitz)

R Radius der Kondensatorplatten; r Radius des durch den Punkt P gelegten Zylinders Z_1 ; Z_1, Z_2 Zylinder

seien Leiter; die Randwirkung der Kapazität wird vernachlässigt. Die Rahmenantenne sei dabei so angeordnet, dass die Feldstärke \vec{H} senkrecht zu A steht. (A ist die von der Rahmenantenne umschlossene Fläche).

Die beschriebene Entladung induziert in der Rahmenantenne des Zählers eine Spannung

$$u_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -\mu_r \mu_0 N \frac{d}{dt} \iint H dA$$

Da in diesem grossen Plattenkondensator die Feldstärke H über die ganze Rahmenantenne als konstant angesehen werden darf, gilt:

$$u_i = -\mu_r \mu_0 N A \frac{dH}{dt}$$

H lässt sich nach Maxwell berechnen:

$$\text{rot } H = j + \varepsilon \frac{dE}{dt}$$

Wird diese Beziehung in die Gleichung von Stokes eingesetzt, so wird:

$$\oint H_s ds = \iint \text{rot } H_n dA_1 = \iint j_n dA_1 - \iint \varepsilon \frac{dE_n}{dt} dA_1 = i - \varepsilon \iint \frac{dE_n}{dt} dA_1$$

Darin bedeutet A_1 die Fläche längs deren Rand das Linienintegral gebildet wird; die Indizes n und s geben an, dass es sich um Normal-, bzw. Tangentialkomponenten an den Integrationsweg handelt. Falls die beiden Kondensatorplatten Kreisscheiben sind, kann der Rotationssymmetrie wegen H bestimmt werden:

$$H_s = \frac{i}{2\pi r} - \frac{\varepsilon}{2\pi r} \iint \frac{dE_n}{dt} dA^*$$

Aus Symmetriegründen folgt weiter, dass die Ströme in den Platten auf das magnetische Feld keinen Einfluss ausüben können. Es gilt somit:

$$H_s \equiv H$$

Wird durch den Punkt P ein Zylinder Z_1 gelegt (wie in Fig. 9 gezeichnet), so beträgt der innerhalb dieses Zylinders fliessende Verschiebungsstrom i (r^2/R^2). Der Rest des Verschiebungsstromes fliesset im Hohlyzylinder Z_2 . Das von diesem erzeugte Feld ist 0. Es gilt somit:

$$H = \frac{i}{2\pi r} - \frac{i r^2}{2\pi r R^2} = i \frac{R^2 - r^2}{2\pi r R^2}$$

und

$$u_i = -\mu_r \mu_0 A N \frac{R^2 - r^2}{2\pi r R^2} \frac{di}{dt}$$

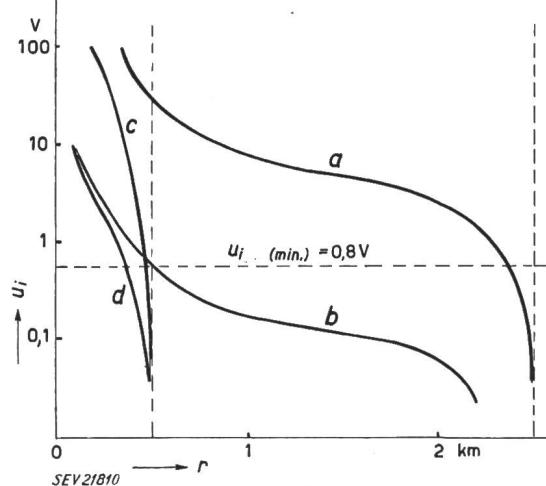


Fig. 10
Vom Erdblitz in der Rahmenantenne induzierte Spannung u_i in Funktion des Abstandes r

Kurve	R km	$\left \frac{\Delta i}{\Delta t} \right _{5\mu s}$ A/μs
a	2,5	$2 \cdot 10^4$
b	2,5	500
c	0,5	$2 \cdot 10^4$
d	0,5	500

In Fig. 10 ist u_i in Funktion von r und mit $\left| \frac{\Delta i}{\Delta t} \right|_{5\mu s}$ und R als Parameter dargestellt. Wie aus Fig. 2 hervorgeht, sind die in Betracht fallenden

extremen Steilheiten $\frac{di}{dt} = 5 \cdot 10^2 \frac{A}{\mu s}$ und $\frac{di}{dt} = 2 \cdot 10^4 \frac{A}{\mu s}$. Weitere Parameter stellen die geometrischen Abmessungen des Plattenkondensators dar. Als extreme Fälle sind Kondensatoren mit einem Plattenradius R von 0,5 und 2,5 km aufgezeichnet. Die Distanz der Platten ist gleich deren Radius gewählt. Da zum Ansprechen des Zählwerks ein minimales u_i von ca. 0,8 V in der Antenne induziert werden muss, ergeben sich die räumlichen Zählgrenzen des Einschlagzählers. Diese sind nicht nur für jedes $\left. \frac{di}{dt} \right|_{5 \mu s}$, sondern auch für jeden Plattenkondensator verschieden.

Es bleibt zu berücksichtigen, dass die gemachten Voraussetzungen nur grobe Näherungen der Wirklichkeit sind. Eine Erfassung des Einflusses der Topographie der Gegend, der Wolkenformen usw., ist nicht möglich.

Bessere Ersatzbilder des Blitzes sind leider nur für stationäre Wechselfelder möglich (z. B. Hertzscher Dipol). Für die Berechnung des Magnetfeldes H des Blitzstromes kommen daher nur Fourier-Reihen in Frage, die leider für allgemeine Betrachtungen sehr unübersichtlich sind. Grundsätzlich würde das Bild in der Hinsicht besser, als der Feldabfall mit der Entfernung flacher würde. Die Schwierigkeit, dass sich für den Messbereich des Zählers keine scharfe, vom Stromverlauf unabhängige Grenze (Blitzdistanz) angeben lässt, bleibt jedoch bestehen.

Zusammenfassend kann über den Messbereich des Einschlagzählers unter Berücksichtigung der in Ab-

schnitt 6 aufgeführten Ergebnisse folgendes festgestellt werden. Spricht der Einschlagzähler an, so hat bestimmt ein Blitz in die Erde eingeschlagen, und zwar innerhalb eines Umkreises von höchstens ca. 5 km Radius, was der grössten vertikalen Blitzlänge entsprechen dürfte. Nicht jeder Erdblitz in diesem Umkreis hingegen wird gezählt, d. h. stromschwache und kurze Blitze nur, wenn sie näher liegen. Von der Anzahl der gezählten auf die Anzahl der ungezählten Erdblitze zu schliessen, ist unmöglich. Somit kann lediglich angegeben werden, dass im genannten Umkreis eine bestimmte, minimale Anzahl von kräftigen Erdblitzen eingeschlagen hat.

Für absolute Messungen der Anzahl Blitzentzündungen pro km^2 ist demnach der Einschlagzähler nicht geeignet, trotzdem die Abhängigkeit der induzierten Spannung von den elektrischen Blitzdaten und dessen Entfernung und Lage streng definiert sind. Werden hingegen nur vergleichende Messungen, z. B. zwischen verschiedenen Gebieten gewünscht, so dürfen die Zählungen benutzt werden, falls die topographischen Formen der Gegend einander ähnlich sind. In diesem Falle spielen die beschriebenen Streuungen des Gerätes, sowie die verschiedenen Zählgrenzen keine Rolle, da diese, für viele Einschläge betrachtet, in den verschiedenen Gegenden dieselben sind.

Literatur:

- [1] Golde R. H.: Frequency of occurrence of lightning flashes to earth. Journal of Royal Meteorological Society Bd. 71, Nr. 307/308. Jan.-Apr. 1945.
- [2] Schonland: The Flight of Thunderbolts. Oxford 1950.

Adresse des Autors:

E. Trümpy, dipl. Elektroingenieur ETH, Hochspannungslaboratorium der ETH, Gloriastrasse 35, Zürich 7/6

Spannungsverteilung in einem städtischen Wasserleitungsnetz bei hohen Spannungen oder Strömen von Industriefrequenz und bei Stoßbeanspruchung

(Von U. Gugelmann und M. Jacot, Zürich, und E. Ruoss, Winterthur

61.316.99 : 628.15

Die Arbeit gibt ein knappes Bild von einem städtischen Wasserleitungsnetz und zeigt, wie mittels einer Darstellung in einem Radialnetz das Problem der Spannungsverteilung bei Beanspruchung durch hohe 50-Hz-Ströme und durch Stoßspannungen sowohl rechnerisch wie mit einfacherem Modellversuch annähernd untersucht werden kann.

Ce travail décrit d'abord sommairement un réseau urbain de canalisations de distribution d'eau, puis aborde le problème de la répartition des tensions lors de sollicitations par de forts courants de 50 pér./s ou par une onde de choc. Les auteurs y montrent comment, moyennant la transformation du système en un réseau radial, ce problème peut être étudié aussi bien par le calcul que par essais sur modèle.

I. Einleitung

Nach allgemeiner Praxis der Elektrizitätswerke werden städtische Niederspannungsanlagen an das bestehende Wasserleitungsnetz geerdet. Durch die zunehmende Bevölkerung steigt einerseits die Dichte der angeschlossenen elektrischen Apparate und damit die Wahrscheinlichkeit von Erd- oder Kurzschlüssen, direkten oder indirekten Blitzentzündungen. Andererseits vergrössert sich durch die Zunahme der Starkstromanlagen (Hochspannungs-Übertragungsleitungen, Transformatorenstationen usw.) die Wahrscheinlichkeit, dass dem Wasserleitungsnetz bei Erdschlägen in geerdeten Hochspannungsnetzen hohe Spannungen aufgedrückt werden. Dazu bringt die stets zunehmende Vermischung der elektrischen

Verteilnetze ein Ansteigen der Kurzschlussleistungen mit sich, so dass bei Erdschlägen Erdströme bis zu mehreren kA fliessen können.

In allen diesen Fällen muss man sich fragen, ob nicht gefährliche Berührungsspannungen zwischen dem Wasserleitungsnetz und dem Erdboden oder — bei grossem Spannungsgradienten — zwischen an verschiedenen Punkten geerdeten Objekten auftreten können. Dazu kommt, dass die grossen Ströme in den Wasserleitungsrohren durch Induktion auch Schwachstromanlagen (z. B. Telefon) stören können.

Aus diesen Gründen ist die Spannungsverteilung im Wasserleitungsnetz, wenn diesem an irgendeiner Stelle ein hoher Strom, sei es 50-Hz-Wechselstrom