Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 61/62 (1913)

Heft: 25

Artikel: Auftreten und Bekämpfung von Ueberspannungen in elektrischen Anlagen

Autor: Kummer, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-30735

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: 15.07.2025

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

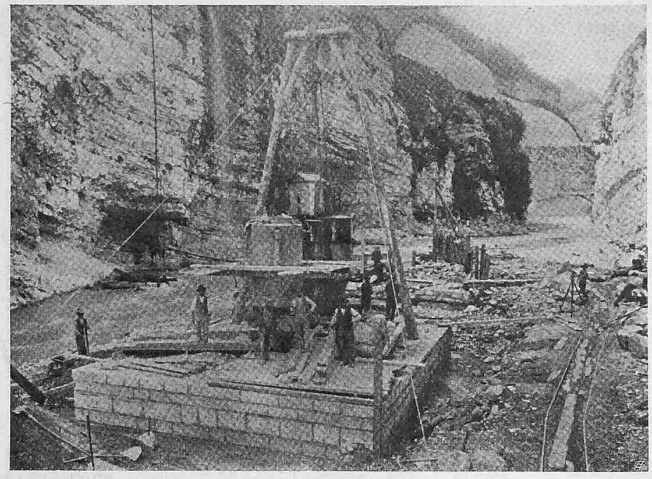

Abb. 10. Pfeiler-Caissons II im Betrieb.

aus räumlichen Gründen auf die Schaffung zweier kleinerer, den ausgesparten Pumpschächten entsprechenden Arbeitskammern beschränkte.

Natürlich wurde das aufgehende Mauerwerk, wie unsere Bilder 11 und 12 erkennen lassen, wo es ging, schon vor Beendigung aller Gründungsarbeiten also zunächst in der linken Wehrhälfte aufgeführt. Bis zur Kote 368 ist das wasserseitige Verkleidungsmauerwerk als liegendes Gewölbe wirkend gedacht und sind die Lagerfugen entsprechend gestellt; darüber hinaus genügt das Gewicht des horizontal geschichteten Mauerkörpers allein zur Aufnahme des Wasserdrucks (Abb. 12). Während des Baues waren in beiden Wehrhälften mit Rücksicht auf ausserordentliche Hochwasser sowie wegen der Holzflösserei Oeffnungen ausgespart, die erst nach Vollendung der Arbeiten zugemauert wurden. Am 27. Dezember 1909 schloss man nach fast dreijähriger, mehrfach gestörter Bauzeit die Schütze des Umleitungsstollens (Abb. 8) und begann damit die Stauung des Cismon.

Die Baukosten des Stauwehrs erreichten einschl. der Generalunkosten nicht ganz eine Mill. Fr. (Schluss folgt.)

Auftreten und Bekämpfung von Ueberspannungen in elektrischen Anlagen.

Von Prof. Dr. *W. Kummer*, Ingenieur, Zürich.

Seit etwa zehn Jahren bilden das Studium der Spannungserhöhungen in elektrischen Anlagen und die Erörterungen über die Möglichkeiten der Bekämpfung der Ueberspannungen ein ständiges Thema der elektrotechnischen Fachliteratur und ein ständiges Traktandum der elektrotechnischen Fachvereine. Da diese Angelegenheit nicht nur wissenschaftlich, sondern auch wirtschaftlich bedeutungsvoll ist, mag ein Hinweis auf den direkten Schaden, der alljährlich durch Ueberspannungen verursacht wird, naheliegen. Die elektrische Ausrüstung der Energie-Erzeugungs- und Verteilungs-Anlagen der Schweizerischen Unternehmungen für allgemeine Kraft- und Lichtversorgung sowie derjenigen für elektrische Traktion, Elektrochemie und private Kraftübertragung, einschliesslich der wichtigeren schweizerischen Elektromotoren-Anlagen, die allfälligen Beschädigungen durch Ueberspannungen ausgesetzt sein können, dürfte nach unserer Schätzung einem Baukapital von etwa 350 Millionen Franken entsprechen. Wenn nun für Reparaturkosten, die alljährlich direkt durch Ueberspannungserscheinungen bedingt werden, auch nur ein Betrag von etwa 1,5 ‰ des Anlagekapitals — in Wirklichkeit dürfte heute die Quote eher höher sein — aufgewendet werden muss, so kommt man schätzungsweise damit auf eine Ausgabe von rund einer halben Million Franken, die die schweizerische Volkswirtschaft alljährlich zur Behebung der durch Ueberspannungen entstandenen Defekte in elektrischen Anlagen im Minimum aufzuwenden hat.

Da nunmehr in den Anschauungen der Fachleute in Bezug auf das Auftreten und die Bekämpfung der Ueberspannungen eine gewisse Abklärung zu verzeichnen ist, dürfte der Augenblick gekommen sein, über den Gegenstand hier zu referieren.

Ueberspannungen aus einfachen Schaltvorgängen.

Die zuerst erkannten und studierten Ueberspannungen sind jedenfalls die durch Schaltvorgänge bewirkten Ueberspannungen. Bemerkenswerterweise hat man sie bei ihrer Entdeckung nicht als Störungen, sondern als wertvolle Hochspannungserzeuger behandelt, nämlich anlässlich der Erfindung der sog. Induktionsapparate, die reichlich ein Menschenalter älter ist, als die Entdeckung des dynamoelektrischen Prinzips, das den Beginn der Entwicklung der Starkstromtechnik markiert. Als reine Störung an einer elektrischen Maschine dürfte diese Art Ueberspannungen wohl zum ersten Mal von demjenigen Elektriker empfunden worden sein, der als erster die Oeffnung des Erregerstromkreises einer unter Spannung stehenden Gleichstromnebenschlussmaschine vorgenommen hat. Indessen hat man auch schon anlässlich der Ausbildung von Induktionsapparaten sehr frühzeitig störende Nebenwirkungen der Primärstrom-Unterbrechungen festgestellt und durch geeignete Massnahmen bekämpft. So hat schon *Fizeau* die lästigen Unterbrechungsfunken durch Anschliessen eines Kondensators an die Unterbrechungspunkte wirksam bekämpft und damit, wohl als erster, den Reflexions-Schutzwert des Kondensators gegen Ueberspannungen bezw. Ueberströme — nämlich die sog. Extraströme — benutzt.

Der Betrag der bei *Stromunterbrechungen* auftretenden Spannungserhöhung ist indessen ein wesentlich anderer,

Das Wasserkraftwerk am Cismon.

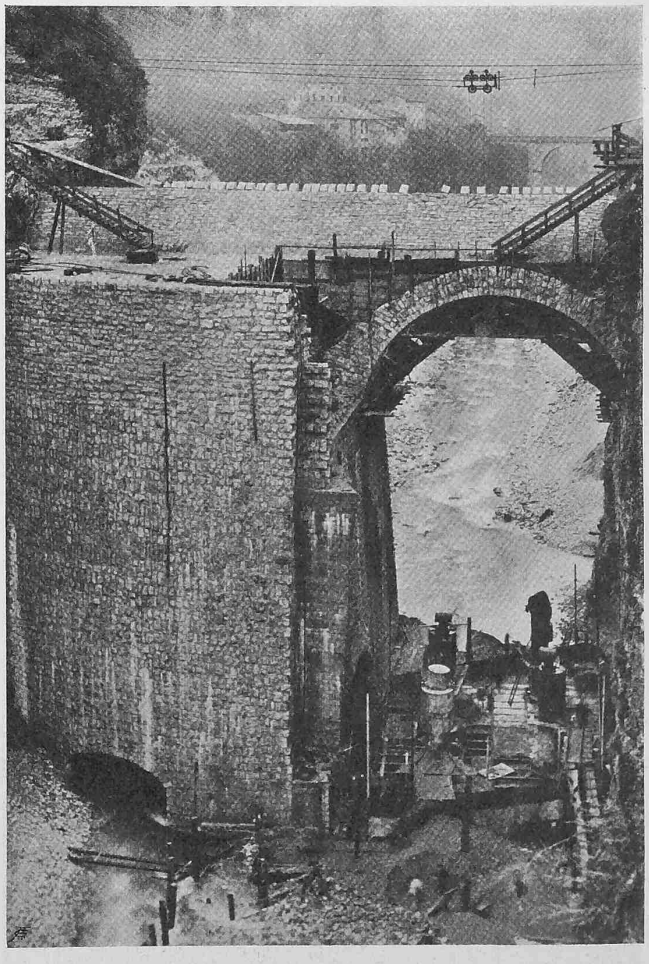

Abb. 12. Fundierung der rechten Wehrseite.

wenn eine Kondensatorwirkung im Spiele ist oder nicht. Die magnetische Energie, die beim Unterbrechen eines vom Strome I durchflossenen und die Induktivität L (Selbstinduktionskoeffizient L) aufweisenden Stromkreises frei wird, beträgt:

$$\frac{I^2}{2} \cdot L = -\int_I^o L \cdot I \cdot dI$$

Falls nun eine Kapazität (bezw. Kondensatorwirkung) dieses Stromkreises nicht vorhanden ist, so wird die magnetische Energie lediglich in eine Wärmeenergie umgesetzt, die durch einen Ausdruck:

$$\int_o^{Ta} j^2 \cdot R \cdot dt$$

gemessen wird, wo j die veränderliche Stromstärke und R der veränderliche Widerstand während der Ausschaltezeit T_a ist. Die vollständige Auflösung der Energiegleichung:

$$\int_I^o L \cdot I\, dI + \int_o^{Ta} j^2 \cdot R\, dt = o$$

die zur Berechnung der entstehenden Ueberspannungen führt, ist indessen nur auf Grund der Kenntnis des zeitlichen Verlaufs von R oder j bei den verschiedenen in Betracht fallenden Ausschalter-Bauarten möglich, welche Kenntnis auf Grund von bezüglichen Versuchen erlangt werden kann [1]). In der Fachliteratur sind in den letzten Jahren mannigfache, meist durch oszillographische Aufnahmen illustrierte Versuche über verschiedene Schaltvorgänge, insbesondere beim Funktionieren von Sicherungen und automatischen Schaltern, bekannt gegeben worden. Solche Unterlagen sind neuerdings wiederholt für die Auswertung oben genannter Energiegleichung und anschliessender Nachrechnung der entstehenden Ueberspannungen verwendet worden; es möge z. B. auf bezügliche Berechnungen in der neuen Auflage von Band I der „Wechselstromtechnik" von E. Arnold hingewiesen werden [2]).

Die seit langer Zeit bekannte Massnahme zur Verhinderung des Entstehens von Ueberspannungen beim Ausschalten induktiver, aber kapazitätsfreier Widerstände, namentlich Gleichstromwicklungen, beruht in der Regel auf der Zuhilfenahme einer unterbrechungslosen Umschaltung auf einen induktionsfreien Widerstand und nachheriger Abschaltung desselben, die dann überspannungsfrei möglich ist.

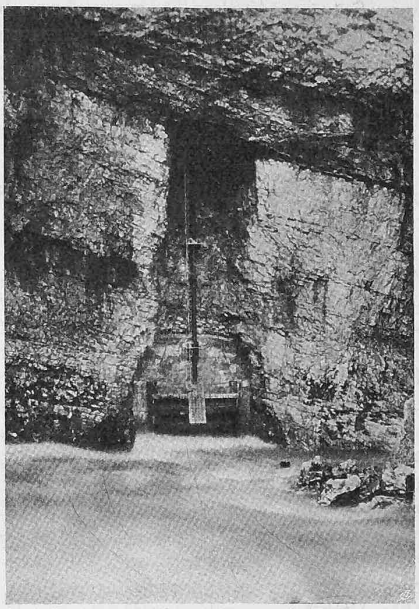

Abb. 8. Abschluss des Umleitungsstollens.

Was nun die Unterbrechung induktiver Stromkreise angeht, die zugleich auch Kapazität enthalten, wie dies für sämtliche Hochspannungs-Stromkreise der Fall ist, so führt diese in der Regel auf sog. freie elektrische Schwingungen. Das ist also seit Fizeau auch der Fall für die Primärstromkreise der Induktionsapparate. Die bezüglichen Schwingungsvorgänge, die von *W. Thomson* bereits im Jahre 1853 rechnerisch behandelt wurden, können unter der Annahme wärmefreier Energieumsetzungen am kürzesten folgendermassen dargelegt werden.

Die bei der Stromöffnung freiwerdende magnetische Energie:

$$\frac{I^2}{2} \cdot L$$

setzt sich um in elektrische Energie, die die mit der Kapazität C behaftete Stromleiter-Anordnung auflädt auf eine Ladespannung e, entsprechend einer Energie:

$$\frac{e^2}{2} \cdot C$$

Aus der Gleichheit der Energien:

$$\frac{I^2}{2} \cdot L = \frac{e^2}{2} \cdot C$$

folgt für die Spannung an der Unterbrechungsstelle:

$$e = I\sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Dass damit der korrekte Ausdruck für die Unterbrechungsspannung im Primärkreis von Induktionsapparaten, für die i alsdann den sog. Magnetisierungsstrom bedeutet, gewonnen ist, haben einlässliche Untersuchungen von *Fr. Klingelfuss* dargetan [3]). Diese Gleichung ist aber nicht nur für die Untersuchungen von Induktionsapparaten, sondern auch für die Beurteilung aller Ueberspannungserscheinungen, die

Vom Bau der Staumauer.

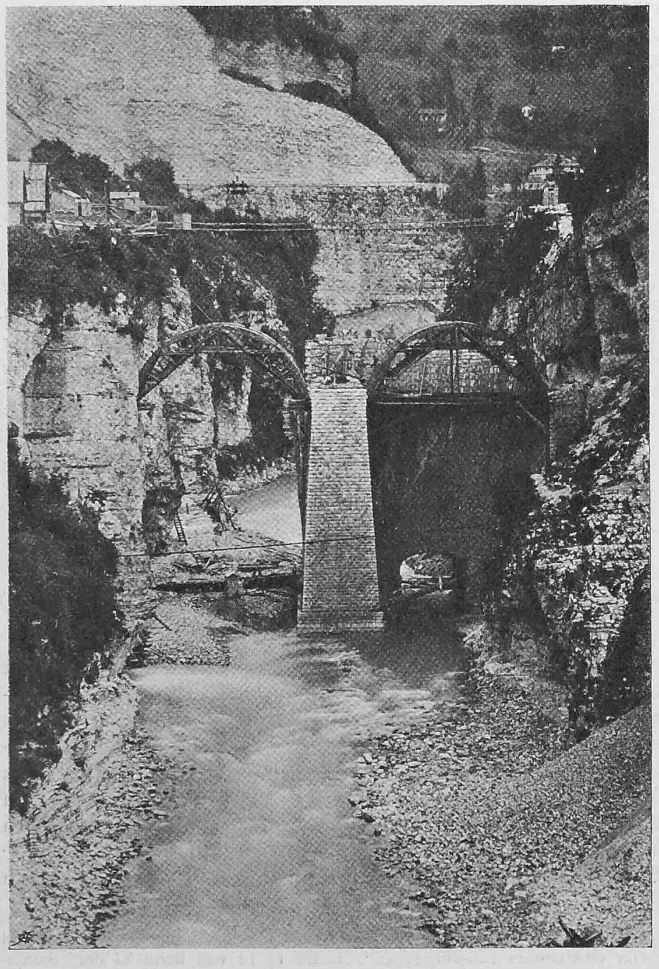

Abb. 11. Blick auf die Baustelle vom Ponte della Serra.

[1]) Zu seiner eigenen Information hat der Verfasser des vorliegenden Aufsatzes schon im Jahre 1899 solche Versuche an gewöhnlichen Hebelschaltern, insbesondere aber an dem damals neu aufgekommenen elektrolytischen Unterbrecher von Wehnelt angestellt und darüber im Juli desselben Jahres vor der physikalischen Gesellschaft Zürich referiert (vergleiche den Hinweis im elften Jahresbericht dieser Gesellschaft). Im Frühjahr 1906 hatte er dann Gelegenheit, auf dem Versuchsstand für Bahnmaterial der Maschinenfabrik Oerlikon ähnliche Versuche für Schalter verschiedener Bauart für Gleichstrom von 800 bis 1500 Volt vorzunehmen und sich über die auftretenden Ueberspannungen neuerdings an Hand von Messungen ein Urteil zu bilden.

[2]) Seite 610 ff.; Besprechung dieses Bandes, siehe Bauzeitung Bd. LVII, Seite 350.

[3]) Verhandlungen der naturforschenden Gesellschaft Basel 1901—1903, Drudes Annalen 1901—1903; Mitteilungen der physikalischen Gesellschaft Zürich, 1903.

aus Schaltvorgängen hervorgehen, bedeutsam geworden. Allerdings gilt die Gleichung genau nur unter der in praxi niemals zutreffenden Voraussetzung, dass die Energieumsetzung bei Ausschluss von Wärmewirkungen, also völlig verlustfrei erfolge, wobei dann ungedämpfte Schwingungen von der Schwingungszeit:

$$T = 2\pi\sqrt{L\,C}$$

bezw. von der Ausbreitungsgeschwindigkeit:

$$v = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

entstehen müssten. In Wirklichkeit werden vielmehr infolge der Wärmewirkungen bezw. des Widerstandes der Leiteranordnungen die entstehenden Schwingungen mehr oder weniger stark gedämpft. Bevor wir indessen auf diese Dämpfung eintreten, wollen wir kurz die Erscheinungen beim *Schliessen* induktiver Stromkreise betrachten.

Kapazitätsfreie Stromkreise ergeben beim Schliessen auf Stromquellen keine Ueberspannungen, wohl aber erhält man solche Ueberspannungen beim Schliessen von Stromkreisen, die Kapazität aufweisen. Dabei tritt, wie sich leicht zeigen lässt, im Falle verlustloser Energieumsetzung eine höchste Spannung auf, die dem doppelten Werte der Spannung der Stromquelle entspricht, und die ebenso wie beim Fall des Ausschaltens, mit ungedämpften Schwingungen von der Ausbreitungsgeschwindigkeit:

$$v = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

verknüpft ist. Dieser Fall hat praktisch grosse Bedeutung, insofern er beim Einschalten von Hochspannungsstromkreisen auftritt. Für Luftleitungen liegen die Konstanten L und C derart, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit sehr nahe mit der Lichtgeschwindigkeit übereinstimmt. Bemerkenswert ist nun besonders der Vergleich beim Einschalten und Ausschalten von Hochspannungsstromkreisen: Beim Einschalten erreicht die maximale Spannung höchstens den doppelten Betrag der Spannung der Stromquelle, beim Ausschalten tritt dagegen eine Ueberspannung auf, die einen der ausgeschalteten Stromstärke proportionalen Wert erreicht, der im Falle der Unterbrechung des sog. Kurzschlusstromes sein absolutes Maximum besitzt.

Sowohl für das Einschalten, als auch für das Ausschalten von Stromkreisen mit Kapazität beruht nun die dämpfende Wirkung der auftretenden Wärmebildung, die dem effektiven Widerstand der Seitenanordnung entspricht, darauf, dass einerseits die Amplituden der Schwingungen nach einer Exponentialfunktion abklingen und anderseits die Schwingungszeit T verkürzt wird. Bei Widerständen:

$$R \geqq 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

treten eigentliche Oszillationen überhaupt nicht mehr auf und findet ein aperiodischer Verlauf der elektrischen Ausgleichsvorgänge statt.

Bei unsern Betrachtungen haben wir zwischen Gleichstrom und Wechselstrom als Stromart des Betriebsstroms keinen Unterschied gemacht, insofern als prinzipiell ja der momentane Zustand des Betriebsstroms massgebend ist, für den man im Falle des Wechselstroms einfach den Amplitudenwert zu nehmen hat, um die maximale Ueberspannung zu erhalten. Zudem ist die Frequenz der freien Schwingungen der Schaltvorgänge unvergleichlich höher als diejenige des Betriebs-Wechselstromes.

Trotzdem die Phänomene der freien elektrischen Schwingungen seit Jahrzehnten bekannt sind und ihre Erforschung durch *Kirchhoff* und *Helmholtz* sowie deren Schüler, unter denen in erster Linie unser unvergesslicher Lehrer *H. F. Weber* genannt werden muss, ausserordentlich gefördert wurde [1]), sind sie doch erst seit dem Jahre 1900 zur rechnerischen Behandlung der in Starkstromnetzen auftretenden Ueberspannungen herangezogen worden. Amerikanischen Elektrotechnikern, wie *Kennelly*, *Steinmetz*, *Baum* und *Thomas* war es vorbehalten, die ersten bezüglichen Arbeiten zu veröffentlichen. In der deutschen Literatur waren es Seibt [1]) und Markovitsch [2]), die durch ihre 1905 erschienenen Arbeiten mit Anleitungen über die *Berechnung* von Ueberspannungs-Erscheinungen zuerst hervorgetreten sind.

Wir verzichten darauf, hier eine ausführliche Betrachtung über weitere Ueberspannungs-Erscheinungen anzustellen, die beim Vornehmen einfacher Schaltoperationen in elektrischen Stromkreisen bei Annahme konzentriert angeordneter Induktivitäten und Kapazitäten auftreten können. Es kam uns hier nur darauf an, die wichtigsten typischen Fälle aufzuführen.

Wanderung und Reflexion der Ueberspannungen.

Eine irgendwie entstandene Ueberspannung ist gekennzeichnet sowohl durch den Energiegehalt, den sie aufweist, und der im einfachsten Falle der Unterbrechung eines mit konzentrierter Induktivität behafteten Betriebsstromes I der magnetischen Energie $\frac{I^2}{2} \cdot L$ entspricht, als auch durch den zeitlichen Verlauf der sie bestimmenden Strom- und Spannungsgrössen. Der zeitliche Verlauf von Ueberspannungserscheinungen ist sehr wesentlich für die Grösse der durch sie eventuell verursachten Beschädigung (Wicklungsdurchschlag). In den Abbildungen 1 und 2 bringen wir typische Bilder von oszillatorisch verlaufenden Spannungswellen, sog. Wanderwellen, die die zeitliche und räumliche Ausbreitung häufig vorkommender Ueberspannungen darstellen. Die Abbildungen 1 und 2 stellen sog. Entladeschwingungen dar, wie sie beim Einschalten von Stromkreisen entstehen; in Abbildung 1 handelt es sich um einen Stromkreis mit konzentriert angeordneter Kapazität, Induktivität und Widerstand; in Abbildung 2 um einen Stromkreis, für den diese Konstanten gleichförmig verteilt sind. Solche Spannungs- und Stromwellen (e und i) gehorchen nun dem durch die Gleichungen:

$$l \cdot c \cdot \frac{d^2 e}{dt^2} + r \cdot c \frac{de}{dt} = \frac{d^2 e}{dx^2}$$

$$l \cdot c \cdot \frac{d^2 i}{dt^2} + r \cdot c \frac{di}{dt} = \frac{d^2 i}{dx^2}$$

festgelegten Wanderungsgesetz, wobei t die veränderliche Zeit, x der veränderliche Weg (die Leiterlänge vom Beginn der Wanderung aus gemesen), l die Induktivität der Leiterlänge 1, c deren Kapazität und r deren Widerstand darstellen.

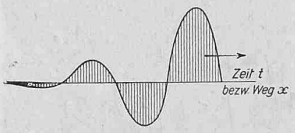

Abb. 1. Entladeschwingung beim Einschalten eines Stromkreises mit konzentriert angeordneter Kapazität, Induktivität und Widerstand.

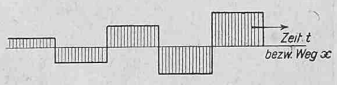

Abb. 2. Entladeschwingung beim Einschalten eines Kabels mit gleichförmig verteilter Kapazität, Induktivität und Widerstand.

Es mag darauf hingewiesen werden, dass man mit Hilfe der ersten dieser Gleichungen auch diejenigen stationären Spannungserhöhungen in längern unbelasteten Kabeln nachrechnen kann, die man wegen ihres stationären Charakters nicht als eigentliche „Ueberspannungen" qualifizieren darf. Solche Rechnungen hat Prof. H. F. Weber seit den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts in Zürich fast ein Menschenalter lang in seinen Vorlesungen über „Elektrische Schwingungen" bekanntgegeben [3]); im Jahre 1905 hat dann

[1]) Es soll hier noch besonders auf die Arbeiten von *A. Ekström*, Stockholm, über Schwingungen in verzweigten Stromkreisen hingewiesen werden (Physik. Gesellschaft Zürich 1899 und Stockholmer Akademie 1903).

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift 1905, Seite 25.

[2]) „Spannungserhöhung in elektrischen Netzen infolge Resonanz und freier elektrischer Schwingungen". Hefte 11/12 von Band VI der „Sammlung elektrotechnischer Vorträge". Stuttgart, 1905.

[3]) Prof. H. F. Weber hat auch schon im Winter 1896/1897 durch damalige Diplomkandidaten der Abteilung für Maschineningenieure an der Eidg. Technischen Hochschule bezügliche Versuche unter Zuhilfenahme sog. künstlicher Kabel, die aus einzelnen Spulen und einzelnen Kondensatoren gebildet wurden, vornehmen lassen. Der Verfasser des vorliegenden Aufsatzes, der jener Gruppe von Diplomkandidaten angehörte, hat dann im Frühjahr 1908 vor der Physikalischen Gesellschaft Zürich über die bemerkenswerten Ergebnisse jener Versuche referiert (vergleiche den Hinweis im zehnten Jahresbericht dieser Gesellschaft).

G. Rössler die erweiterte Betrachtung unter Berücksichtigung der „Ableitung" infolge nicht vollkommener Isolation veröffentlicht [1]). Im Jahre 1908 folgten dann die denkwürdigen Arbeiten über die Anwendung der oben genannten Differentialgleichungen auf die Probleme der Wanderung und Reflexion der unstationären Ausgleichsvorgänge auf elektrischen Leitungen, bezw. auf die eigentlichen Ueberspannungen, von *K. W. Wagner* [2]).

Die für die Praxis wertvollen Schlüsse, die sich in Bezug auf Wanderung und Reflexion der Ueberspannungen nach dem von K. W. Wagner gegebenen Schema entwickeln lassen, sind am einfachsten herzuleiten unter der Annahme widerstandsloser Leitungsbahnen, für die somit in den Gleichungen $r = o$ zu setzen ist. Die Gleichungen lauten alsdann:

$$\frac{d^2 e}{dt^2} = \frac{1}{l \cdot c} \cdot \frac{d^2 e}{d x^2} = v^2 \cdot \frac{d^2 e}{d x^2}$$

und

$$\frac{d^2 i}{dt^2} = v^2 \cdot \frac{d^2 i}{dx^2}.$$

Partielle Differentialgleichungen dieser Form zur Lösung von Problemen der mathematischen Physik (Schwingungen einer elastischen Saite) sind wiederholt integriert worden. Die allgemeine Lösung für e lautet:

$$e = \varphi\,(x - v \cdot t) + \psi\,(x + v \cdot t)$$

in der durch die Funktionen φ und ψ unverzerrt vorwärts- und rückwärtsschreitende Spannungswellen gegeben sind. Betrachten wir nur die Fortpflanzung in einer Richtung, so ist:

$$e = \varphi\,(x - vt).$$

Der Spannungswelle e ist dann eine Stromstärkewelle i beigeordnet, für die:

$$i = \sqrt{\frac{c}{l}} \cdot e = \frac{e}{z}$$

Der Grösse:

$$z = \sqrt{\frac{l}{c}}$$

wird etwa der Name „Wellenwiderstand" gegeben. Den einseitig wandernden Wellen e und i entspricht dann der Effekt W der Ueberspannungswanderung:

$$W = e \cdot i = \frac{e^2}{z}$$

Bei gleichmässigem Charakter der Leitungsbahn breiten sich die Wellen e und i ebenfalls gleichmässig aus. Wenn jedoch die Leitungsbahn an einer Stelle plötzlich andere charakteristische Werte annimmt, derart, dass sich der wandernden Ueberspannung nunmehr ein anderer Wellenwiderstand:

$$z_a = \sqrt{\frac{l_a}{c_a}}$$

entgegensetzt, wie das namentlich beim Uebergang von einer Freileitung auf ein Kabel oder umgekehrt der Fall ist, dann wird die Ueberspannung, je nach Massgabe von z und z_a, an der Uebergangsstelle teilweise reflektiert, derart, dass ein Teilbetrag auf der neuen Leitungsbahn weiter wandert, während der Rest in die ursprüngliche Leitungsbahn zurückgeworfen wird. Ist e_r der reflektierte, e_a der von der neuen Leitungsbahn aufgenommene und auf ihr weiter wandernde Spannungsteil, so gilt für das Spannungsgleichgewicht an der Uebergangsstelle:

$$e + e_r = e_a$$

Den Spannungswerten e_r und e_a entsprechen Stromstärkewerte:

$$i_r = \frac{e_r}{z} \text{ und } i_a = \frac{e_a}{z_a}$$

Am Uebergangspunkt muss nun zur Erfüllung der Kontinuität der Stromstärken gelten:

$$i - i_r = i_a$$

Die Effekte W_r und W_a der reflektierten und der auf der neuen Leitungsbahn fortwandernden Ueberspannung ergeben sich aus:

$$W_r = i_r \cdot e_r = \frac{e_r^2}{z} \text{ und } W_a = i_a \cdot e_a = \frac{e_a^2}{z_a}$$

Es folgt nun ohne weiteres:

$$W = W_r + W_a$$

was auch schon aus dem Prinzip der Erhaltung der Energie geschlossen und wofür auch geschrieben werden kann:

$$\frac{e^2}{z} = \frac{e_r^2}{z} + \frac{e_a^2}{z_a} \text{ sowie } i^2 \cdot z = i_r^2 \cdot z + i_a^2 \cdot z_a$$

Man erhält nun die wertvollen Zusammenhänge:

$$\begin{cases} \dfrac{e_a}{e} = \dfrac{2\,z_a}{z + z_a} \\ \dfrac{e_r}{e} = \dfrac{z_a - z}{z + z_a} \end{cases}, \text{ ferner: } \begin{cases} \dfrac{i_a}{i} = \dfrac{2\,z}{z + z_a} \\ \dfrac{i_r}{i} = \dfrac{z_a - z}{z + z_a} \end{cases} \text{ und: } \begin{cases} \dfrac{W_a}{W} = \dfrac{4\,z \cdot z_a}{(z + z_a)^2} \\ \dfrac{W_r}{W} = \left(\dfrac{z_a - z}{z_a + z}\right)^2 \end{cases}$$

Diese Beziehungen wenden wir an zur Beurteilung der Grenzfälle des Uebergangs von Ueberspannungen von einer Leitungsbahn auf eine andere.

Zunächst betrachten wir den Fall

$$z_a = o$$

der der Reflexion am kurzgeschlossenen Ende der ersten Leitungsbahn entspricht. In diesem Fall wird:

$$\begin{cases} e_a = o \\ e_r = -e \end{cases} \text{ und } \begin{cases} i_a = 2\,i \\ i_r = -i \end{cases}$$

d. h. die Spannungen am Leitungsende ergeben eine Resultierende null, die Ströme dagegen eine solche vom doppelten Wert des ursprünglichen Betrages.

Für den andern Grenzfall:

$$z_a = \infty$$

der der Reflexion am offenen Ende der ersten Leitungsbahn entspricht, wird:

$$\begin{cases} e_a = 2\,e \\ e_r = +e \end{cases} \text{ und } \begin{cases} i_a = o \\ i_r = +i \end{cases}$$

d. h. die Ströme am Leitungsende ergeben eine Resultierende null, die Spannungen dagegen eine solche vom doppelten Werte des ursprünglichen Betrages.

Normalerweise sind jedoch die für den Uebergang von Ueberspannungen von einer Leitungsbahn auf eine andere massgebenden Wellenwiderstände von der Grösse 400 bis 700 Ohm für Luftleitungen bezw. 30 bis 70 Ohm für Kabel. In allen diesen Fällen ist immer:

$$W_a < W$$

d. h. ob nun ein Uebergang von einem Kabel auf eine Freileitung oder umgekehrt stattfindet, immer tritt eine Verkleinerung der weiter wandernden Wellenenergie auf. Infolge der Reflexion sind jedoch bei einem solchen Uebergang aber auch immer Spannungs- oder Stromstärke-Erhöhungen im Spiele.

Es wird daher die Frage nach einem reflexionslosen Uebergang von wandernden elektrischen Wellen über verschiedene Leitungsbahnen bedeutungsvoll.

(Schluss folgt.)

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift 1905, Seite 734 und das bei Julius Springer erschienene Werk: „Die Fernleitung von Wechselströmen", besprochen in Band XLVII, Seite 223 der Bauzeitung.

[2]) Elektrotechnische Zeitschrift 1908, Seite 707, und das bei G. B. Teubner erschienene Werk: „Elektromagnetische Ausgleichsvorgänge in Freileitungen und Kabeln".

Neuere Zürcher Giebelhäuser.

VIII. Wohnhaus Blattmann in Wädenswil.

Architekten *Bischoff & Weideli* in Zürich.

(Mit Tafel 67 bis 70.)

Im Gegensatz zu Rittmeyer & Furrers Vierhäusergruppe am Brühlberg in Winterthur [1]), wo sich durch Forderung grösster Oekonomie das Zürcherhaus sozusagen von selbst, als reine Zweckform (man entschuldige den klingenden Kunstausdruck!) ergab, war beim Bau dieses vornehmen Landsitzes an einem hervorragenden Punkt des Zürichseeufers der Wunsch wegleitend, dem Landschaftsbild und seinem alten Häuserbestand durch möglichste Anpassung Rechnung zu tragen. Dies ist trotz mancherlei künstlerischer Freiheiten gegenüber dem historischen Vorbild trefflich gelungen, wie namentlich das obere Bild auf Tafel 67 zeigt. Grundriss wie innerer Ausbau dagegen sind modern entworfen; Einteilung und reichliche Ausstattung verdeut-

[1]) Dargestellt auf Seite 311 und Tafel 64 lfd. Bd.