Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 14 (1923)
Heft: 3

Artikel: Das ohmsche Gesetz als Sonderfall der Kraftflusshypothese
Autor: Kummer, W.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057575

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: 13.08.2025

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

durch 1 Sekunde. Die Uebertemperatur wird nicht vorgeschrieben. Bei den kurzen Zeiten darf man eine Endtemperatur (einschliesslich der Grundtemperatur) von 200° Celsius zulassen, also Uebertemperaturen von etwa 150° Celsius. Aus der Tafel lässt sich ermitteln, dass für 60fachen Ueberstrom dafür noch eine Querschnittsbelastung von 2,5 Ampere/mm² zulässig ist.

Die mechanische Beanspruchung der Stromwandler bei Ueberstrom äussert sich darin, dass durch die elektrodynamische Wirkung parallele Leiter ungleichen Stromsinnes auseinandergebogen werden, z. B. werden die Einführungen in die gewöhnlichen Stromwandler mit aufgebautem Porzellanisolator zuweilen so stark auseinandergetrieben, dass der Isolator der Länge nach zersprengt wird. Aus diesem Grunde verwendet man neuerdings vielfach die mechanisch unbedingt kurzschlussicheren Einleiterstromwandler, bei denen ein gerades Leiterstück in einem allseitig bewickelten Ringkern liegt. Da diese Wandler nur für Stromstärken über 200 Ampere mit einiger Genauigkeit ausführbar sind, erst bei 500 Ampere als Feinmesswandler, ist es nicht zu umgehen, auch Mehrleiterwandler zu verwenden, die der Bauweise nach nicht absolut kurzschlussicher sind. Die mechanische Beanspruchung erfolgt allein durch den Stosskurzschlusstrom, der nur in der ersten Halbwelle der Kurzschlussdauer auftritt, also thermisch kaum zur Wirkung kommt. Er kann (im Scheitel der Welle gemessen) den 300- bis 500fachen Betrag des Nennstromes erreichen. Die deutschen Regeln schreiben hinsichtlich der mechanischen Kurzschlussicherheit vor, dass der Wandler eine erste Stromamplitude vom 75- bezw. 150fachen Betrag des Nennstromes ohne mechanischen Schaden aushalten muss. Diese Bedingungen sind nicht allzu scharf; bei Versuchen, die an Stromwandlern der Siemens & Halske A.-G. gemacht wurden, kamen Stromamplituden bis zum 540fachen Betrag des Nennstromes (27 000 Ampere bei 50 Ampere Nennstrom und 112 000 Ampere bei 300 Ampere Nennstrom) zur Anwendung, wobei an der Isolation sich nach der Ueberlastung kein Fehler zeigte. Es werden deshalb wohl die deutschen Regeln bei einer Revision in dieser Hinsicht verschärft werden können.

Bestimmungen dieser Art sind in den anderen Ländern nicht getroffen, es sind lediglich in England und Frankreich, wie auch ausserdem in Deutschland Vorschriften über den zulässigen Erwärmungsgrad bei Dauerbelastung und einem Ueberstrom von 20 bezw. 25 % des Nennstromes gegeben. In dieser Hinsicht werden die Messwandler durchweg in gleicher Weise behandelt wie elektrische Maschinen und Grosstransformatoren.

Selbstverständlich enthalten die Regeln der Länder noch verschiedene Festlegungen, die nicht die gleichen sind, es würde aber zu weit führen, sie alle zu besprechen. Zu genaueren Studien sei auf die Originale der Veröffentlichungen verwiesen, die obenstehenden Ausführungen sollten nur die wesentlichsten Bestimmungen vergleichen und so vielleicht auch zur Aufstellung einheitlicher Vorschriften in den verschiedenen Ländern im Interesse von Herstellern und Verbrauchern anregen.

Das ohmsche Gesetz als Sonderfall der Kraftflusshypothese.

Elementar dargestellt von Prof. Dr. *W. Kummer*, Ingenieur, Zürich.

Wie Prof. A. Imhof gezeigt hat, weist die von Prof. J. Fischer-Hinnen angewandte Darstellungsweise des ohmschen Gesetzes aus der allgemeinen Kraftflusshypothese ein Versehen auf. Der Verfasser dieses Aufsatzes, Prof. Dr. W. Kummer, erinnert an den Ursprung der Kraftflusshypothese, die auf J. B. Fourier zurückgeht, und an die grundsätzliche Berechtigung der von Fischer-Hinnen versuchten Darstellungsweise.

M. le prof. A. Imhof a démontré que la manière de présenter la loi d'ohm comme un cas particulier de l'hypothèse d'un flux de force, ainsi que l'a fait M. J. Fischer-Hinnen dans son livre était entachée d'une d'erreur. M. le prof. W. Kummer, l'auteur du présent article, fait l'historique de l'hypothese d'un flux de force, qui remonte à J. B. Fourier, et fait ressortir le bien fondé de l'idée, dont J. Fischer-Hinnen s'était inspiré.

In seinem 1922 erschienenen „Lehrbuch für Elektrotechniker"[1]) hat † Prof. *J. Fischer-Hinnen* versucht, das ohmsche Gesetz aus der Kraftflussbeziehung der Elektrostatik zu entwickeln, wobei ihm ein Versehen unterlaufen ist, das Prof. *A. Imhof*, Winterthur, im „Bulletin" bekannt gab.[2])

Die elektrostatische Kraftflussbeziehung:

$$Q = \frac{V}{R} \tag{1}$$

in der Q den elektrostatischen „Induktionsfluss", V die Potentialdifferenz und R den „dielektrischen" Widerstand bezeichnen, und wobei Q mit der „ladenden" Elektrizitätsmenge q, und der dielektrische Widerstand R mit dem reziproken Werte der Kapazität übereinstimmen, wird von Fischer mit $V = q \cdot R$ wiedergegeben[3]), und beim Uebergang auf „fliessende" Elektrizität bei Einführung der Zeit t in der Form: $\frac{V}{t} = \frac{q}{t} \cdot R$ geschrieben. Indem er dann mit: $\frac{q}{t} = I$ die „Stromstärke" und mit: $\frac{V}{t} = E$ die „Elektromotorische Kraft" einführt, begeht Fischer[4]) den, wie erwähnt, von Imhof nachgewiesenen Fehler, die Identität der Dimension von V und E zu übersehen.

Formell würde Fischer mit dem Ansatz:

$$V = \left(\frac{q}{t}\right) \cdot (R \cdot t) = I \cdot r = E$$

sofort das Richtige getroffen haben, wenn er eben nicht, an jenem Versehen vorübergehend, gestrauchelt wäre. Wesentlich ist hier auch die Erkenntnis, dass in der Dimension des ins ohmsche Gesetz eingehenden elektrischen, d. h. galvanischen Widerstandes r die Zeit in einer um $+1$ höhern Potenz enthalten sein muss, als in der Dimension des dielektrischen Widerstandes R. Mit dieser Berichtigung scheint uns die Darstellung Fischers *formell* bereinigt. Neben der Beziehung (1) und neben dem ohmschen Gesetz:

$$I = \frac{V}{r} \tag{2}$$

kennt die Elektrotechnik bekanntlich weiter noch das magnetische Kraftflussgesetz:

$$\Phi = \frac{\mathfrak{M}}{\mathfrak{R}} \tag{3}$$

wobei Φ den magnetischen Kraftfluss, $\mathfrak{M}$ die magnetomotorische Kraft und $\mathfrak{R}$ den magnetischen Widerstand bezeichnen.

Es sei nun darauf hingewiesen, dass im Grunde genommen alle Kraftflussbeziehungen der Elektrotechnik auf die Lehre von der Wärmeleitung, bezw. auf *J. B. Fourier*[5]) zurückgehen, der vor 100 Jahren das Gesetz der Wärmeleitung in der Form:

$$\varphi = -k \cdot f \cdot \frac{du}{dx}$$

erkannte; dabei bedeutet φ den in der Zeiteinheit durch einen gestreckten Leiter der Wärme vom Querschnitt f und von der Leitfähigkeit k in der Längsrichtung x bei der Temperatur u hindurchströmenden Wärmefluss. Man braucht nur allgemein φ als Intensität eines wirklich, d. h. zeitlich, strömenden oder auch eines erstarrt vorgestellten „Kraftflusses", u als die zugeordnete skalare „Ortsfunktion" und k als

[1]) Seite 207 des „Bulletin des S. E. V." von 1922.
[2]) Seite 321 des „Bulletin des S. E. V." von 1922.
[3]) Seite 13 seines Buches.
[4]) Seite 15 seines Buches.
[5]) Théorie analytique de la chaleur, Paris 1822, Seite 61.

zugehörige Konstante der „Leitfähigkeit" des den Kraftfluss führenden Materials aufzufassen, so lassen sich ohne weiteres die den Formeln (1), (2), (3) entsprechenden elektrotechnischen Kraftflussbeziehungen als Sonderfälle der verallgemeinerten Formel von Fourier hinstellen; jeder dieser Sonderfälle enthält natürlich auch noch seinen *besondern* Erfahrungsinhalt, der in den benutzten Begriffen und in der besondern Art der bezüglichen Leitfähigkeits-Materialkonstanten zum Ausdruck kommt. So ist auch das ohmsche Gesetz unmittelbar aus der Formel von Fourier durch *G. Kirchhoff*[6]) und durch dessen Schüler *H. F. Weber* regelmässig in deren Vorlesungen dargestellt worden.

Die von *J. Fischer-Hinnen* beabsichtigt gewesene Darlegung eines besonders engen Zusammenhanges zwischen den Beziehungen (1) und (2) der Elektrotechnik scheint uns am elegantesten am Beispiel der Spannungsverteilung im Dielektrikum eines Plattenkondensators, bei den zwei extremen Zuständen seines, aus einem organischen Stoffe bestehenden Dielektrikums, auf folgende Weise möglich: Bei genügend tiefer Temperatur hat der unter genügend niedriger Spannung als Dielektrikum benutzte organische Stoff[7]) nur eine dielektrische, dagegen keine nennenswerte galvanische Leitfähigkeit; in der Schreibweise nach Fourier gilt nun für den alsdann bestehenden elektrostatischen Induktionsfluss:

$$Q = \frac{\varepsilon}{4\pi} \cdot f \cdot \frac{dV}{dx}, \qquad \text{(I)}$$

wobei ε die sog. Dielektrizitätskonstante ist. Bei genügend hoher Temperatur ist derselbe organische Stoff karbonisiert, wobei er nur noch galvanische, aber nicht mehr nennenswerte dielektrische Leitfähigkeit aufweist; in der Schreibweise nach Fourier gilt nun für die alsdann herrschende „galvanische" Stromstärke:

$$J = g \cdot f \cdot \frac{dV}{dx}, \qquad \text{(II)}$$

wobei g als die Konstante der galvanischen Leitfähigkeit erscheint.

In (I) und in (II) ist in gleicher Weise der Kraftfluss mit dem Potentialgefälle $\frac{dV}{dx}$, das man auch als Mass der elektrischen „Festigkeit" eines Dielektrikums benutzt, fest verknüpft.

[6]) Vorlesungen über Elektrizität und Magnetismus, Leipzig 1891, Seite 111.

[7]) Damit sei vorwiegend ein Isolierpapier, oder eine ähnliche Substanz bezeichnet, deren innere Lagen einem Verkohlungsprozess unterliegen, wenn die Substanz genügend lange hohen Temperaturen ausgesetzt wird.

Technische Mitteilungen. – Communications de nature technique.

Hängeisolatoren. Die grosse Bedeutung, die in neuerer Zeit dem Hängeisolator als einem der wichtigsten Bestandteile von Höchstspannungsfernleitungen beigemessen wird, veranlasste die Porzellanfabriken zur Konstruktion der verschiedensten Isolatorformen.

In der Schweiz ist bekanntlich die Porzellanfabrik Langenthal das einzige Unternehmen, das seit einigen Jahren Hochspannungsporzellan für die verschiedensten Verwendungszwecke herstellt. Es ist nun naheliegend, dass dieses Werk bei der grossen Nachfrage nach Hängeisolatoren sein Augenmerk auch ganz besonders auf die Fabrikation dieses Isolatortyps richtete. Nach eingehenden Versuchen ist es nun gelungen, einen Kappenisolator herzustellen, der den ausländischen Erzeugnissen mindestens ebenbürtig ist.

Die Beobachtungen, die an den seit einigen Jahren mit Kappenisolatoren ausgerüsteten Freileitungen gemacht werden konnten, zeigten, dass das Zusammenkitten von Porzellan und Metallarmatur mit Zement gewisse Gefahren in sich birgt. Da die Ausdehnungskoeffizienten des Porzellans, des Metalles sowie des Zementes verschiedene sind, tritt leicht der Fall ein, dass das Porzellan bei plötzlichen Temperaturschwankungen gesprengt wird. Eine wesentliche Rolle spielt hierbei auch das Treiben des Zementes, das auch dem besten Zement, wenn auch in geringem Masse, eigen ist. In Würdigung der in dieser Hinsicht gesammelten Beobachtungen und Erfahrungen konstruierte die Porzellanfabrik Langenthal einen Kappenisolator, dessen Kopf die Form einer Kugel aufweist, wie nachstehende Figur zeigt. Ebenso