

Zeitschrift:	Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	73/74 (1919)
Heft:	4
Artikel:	Die jüngsten Fortschritte in der Beurteilung und Bekämpfung von Ueberspannungen in elektrischen Anlagen
Autor:	Kummer, W.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-35659

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: 19.02.2026

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

INHALT: Die jüngsten Fortschritte in der Beurteilung und Bekämpfung von Ueberspannungen in elektrischen Anlagen. — Ideen-Wettbewerb für die Erweiterung der kantonalen Kranken-Anstalt Aarau. — Architekt und Bauherr. — Die neue Entwässerungs-Anlage in Codigoro. — Verband Schweiz. Baugenossenschaften. — Miscellanea: Die Ueberliegung des Atlantischen Ozeans. Schweizer Verein von Dampfkessel-Besitzern. Eidgenössische Technische Hochschule. Der Ausbau der Isar-Wasserkräfte. Kraftwerk

Amsteg. — Nekrologie: Paul Choffat. Richard Kissling. — Konkurrenzen: Neubau der Thurgauischen Kantonbank in Frauenfeld. Preisaufrufe zur Schaffung von Mittelstandshäusern in Zürich. — Vereinsnachrichten: St. Gallischer Ingenieur- und Architekten-Verein. Gesellschaft ehemaliger Studierende der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich: Gemütliche Zusammenkunft der Maschineningenieur-Gruppe der G. e. P. Stellenvermittlung.

Band 74. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 4.

Die jüngsten Fortschritte in der Beurteilung und Bekämpfung von Ueberspannungen in elektrischen Anlagen.

Von Professor Dr. W. Kummer, Ingenieur, Zürich.

Vor sechs Jahren veröffentlichten wir in der „Schweizerischen Bauzeitung“ einen Aufsatz über „Auftreten und Bekämpfung von Ueberspannungen in elektrischen Anlagen“¹⁾, der uns wohl deswegen eine grosse Zahl zustimmender Auseinandersetzungen von Fachkollegen eintrug, weil wir uns auf die Behandlung derjenigen Probleme beschränkten, in Bezug auf welche damals eine gewisse Abklärung der Anschauungen tatsächlich schon erfolgt war. Seither hat sich eine namhafte Zahl von Gelehrten und von Praktikern mit dem weiteren Ausbau der Erkenntnis über Auftreten und Bekämpfung der Ueberspannungen verdient gemacht. Wir dürfen dabei nur auf zwei sehr untergeordnete Hilfsarbeiten hinweisen, mit denen wir selbst mitgewirkt haben; einerseits schien es uns wertvoll, auf die vollkommene Uebereinstimmung in der Berechnungsweise der ungedämpften hydraulischen und der elektromagnetischen Ausgleichsvorgänge in Leitungen²⁾ aufmerksam zu machen; anderseits wurde uns Gelegenheit geboten, an dem vom Schweiz. Elektrotechnischen Verein aufgestellten „Bericht über den Schutz elektrischer Anlagen gegen Ueberspannungen (Leitsätze)“³⁾ mitzuberaten. Diese und andere Einzelarbeiten treten unserer Ansicht nach als „Fortschritte“ vollkommen in den Hintergrund gegenüber der Erforschung der *Erdschluss-Störungen* einerseits und der fortschreitenden Klärung des Problems der *Schutzwirkung und Beanspruchung von Spulen* anderseits. Von diesen zwei wichtigsten Fortschritten seit 1913 soll deshalb im folgenden ausschliesslich die Rede sein.

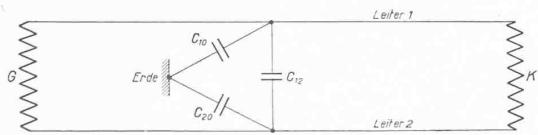


Abb. 1. Einphasen-Stromkreis ohne Erdung.

Erdschluss-Störungen und ihre Beseitigung.

Dass der zufällige Erdschluss isolierter, bzw. isoliert sein sollender Leitungen, der mit sehr häufig besonders heftigen Lichtbogenerscheinungen auftritt, als gefährliche Störung zu gelten hat, ist aus der Praxis der elektrischen Anlagen seit langem bekannt. Hingegen war man bis zu seiner vollständigen Erforschung geneigt, ihn grundsätzlich als Ueberspannungserreger nicht schwerer einzuschätzen als irgend einen ungünstig veranlagten Schaltvorgang.

Der weitere Ausbau der Erkenntnis über das Auftreten von Ueberspannungen hat jedoch gezeigt, dass die Erdschlusserscheinung in zweifacher Hinsicht zu andern Wirkungen führen kann, als sie lediglich auf Grund einer

¹⁾ Auf Seite 330 und 340 von Bd. LXI (21. und 28. Juni 1913); diese Arbeit ist auch als Sonderabdruck erschienen und heute noch erhältlich. Als moralischen Mangel empfinden wir an ihr nachträglich, dass versehentlich der Name von O. Heaviside, des verdienstvollen Lehrmeisters von K. W. Wagner, von uns nicht genannt wurde, was wir hiermit aber nachholen möchten.

²⁾ Ueber Wasserstoss und Ueberspannung; Bulletin des Schweiz. Elektr. Vereins, 1914, Seite 103.

³⁾ Bericht der Kommission für Ueberspannungsschutz des S. E. V. und des V. S. E., Bulletin des Schweiz. Elektr. Vereins, 1916, Seite 137; als Sonderabdruck erhältlich vom Generalsekretariat S. E. V.

Betrachtung, wie sie bei gewöhnlichen Schaltvorgängen am Platze sind, erwartet werden. Einerseits muss nämlich der *dauernde* Erdschluss grundsätzlich als Resonanzerscheinung bewertet werden, während anderseits der *intermittierende* Erdschluss durch Erzeugung von Gleichspannungs-ladungen zu besonders hohen Ueberspannungen führt.

Die Beurteilung der *Verhältnisse des dauernden Erd-schlusses* ist bei zufällig entstandenen und bei absichtlich, mittels Nullpunkt-Erdungen betriebsmäßig angeordneten Erdschlüssen qualitativ übereinstimmend. Für die letztgenannte Gruppe von Erdschlüssen hat M. Voigt¹⁾ wohl zuerst die massgebende Bedeutung des Resonanzphänomens, sowie auch die Abhilfe mittels Widerständen in der Erdungsverbindung dargelegt. Die Uebertragung und Weiterbildung dieser Erkenntnis auf zufällig entstandene dauernde Erdschlüsse ist alsdann von W. Petersen²⁾ durchgeführt worden. Die Häufigkeit der in Frage stehenden Resonanzerscheinung verdient es, dass wir uns im folgenden etwas näher mit ihr beschäftigen. Unsere Betrachtungen sollen auf Grund einfacher Einphasen-Stromkreise erfolgen; die Uebertragung dieser Betrachtungen auf Mehrphasen-Stromkreise, insbesondere Drehstrom-Anlagen, ist dem Fachmann ohne weiteres geläufig. In Abbildung 1 bringen wir das Schema des ungeerdeten Einphasen-Stromkreises mit der Generatorwicklung *G* und mit der „Konsum“-Wicklung *K*, wobei *G* und *K* natürlich auch die Hochspannungswicklungen eines Auftransformators und eines Abtransformators sein können, samt den Fernleitern 1 und 2 zur Darstellung. Die Leiter 1 und 2 sollen gegen Erde die Kapazitäten *C₁₀* und *C₂₀* und gegeneinander die Kapazität *C₁₂* aufweisen. Dieses Schema erscheint in Abbildung 2 dahin abgeändert, dass die Wicklungen *G* und *K* absichtlich symmetrisch geerdet sind. In Abb. 3 (S. 40) erscheint das ursprüngliche Schema durch Annahme eines

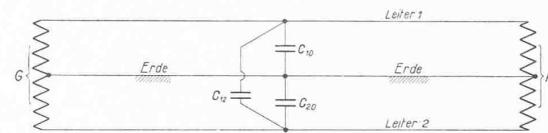


Abb. 2. Einphasen-Stromkreis mit absichtlicher symmetr. Erdung.

zufälligen Erdschlusses im Leiter 2 verändert. In den Leitern 1 und 2 treten nun an den Klemmen der Wicklung *G* bei Annahme sinusförmigen Wechselstroms von ν Perioden, entsprechend einer effektiven Spannung *E* an den Klemmen der Wicklung *G*, Effektivwerte von Ladeströmen *I₀* auf, die für die drei Fälle die folgenden Beträge annehmen; es gilt gemäss Abbildung 1:

$$I_0' = 2 \pi \nu \cdot E \cdot \left(\frac{C_{10} \cdot C_{20}}{C_{10} + C_{20}} + C_{12} \right)$$

gemäss Abbildung 2:

$$I_0'' = 2 \pi \nu \cdot E \cdot \left(\frac{C_{10} + C_{12}}{C_2} \right)$$

und gemäss Abbildung 3:

$$I_0''' = 2 \pi \nu \cdot E \cdot (C_{10} + C_{12}).$$

Für praktische Verhältnisse ist im allgemeinen:

$$C_{10} = \sim C_{20};$$

$$C_{12} < C_{10};$$

$$C_{12} < C_{20}.$$

¹⁾ Die Erdung des neutralen Punktes in Drehstrom-Anlagen, Bulletin des Schweiz. Elektr. Vereins 1915, Seite 49.

²⁾ Der Einfluss der Kapazität gegen Erde, E. T. Z. 1916, Seite 129, 493, 512.

Deshalb darf man im Falle der Abbildung 1 schreiben:

$$I_0' = \sim 2 \pi v \cdot E \cdot \left(\frac{C_{10}}{2} + C_{12} \right)$$

und es folgt für den Vergleich der drei Fälle:

$$I_0''' > I_0' > I_0''.$$

Im Falle der Abbildung 3, der nicht nur den überhaupt grössten Ladestrom, sondern namentlich auch den grössten an Erde gehenden Ladestrom aufweist, fliesst über den auf dem Leiter 2 angenommenen Erdschlusspunkt ein kapazitiver Erdschluss-Strom I_c von der Grösse:

$$I_c = 2 \pi v \cdot E \cdot C_{10}.$$

Berücksichtigt man, dass im Stromkreise des Erdchluss-Stroms auch eine Induktivität L und ein Ohm'scher Widerstand R liegen müssen, und dass dann, wenn E die Spannung am Kondensator C_{10} bedeutet, eine geänderte Klemmenspannung E' in Betracht fällt, so kann im Falle der sogen. „Stromresonanz“ ein Erdchluss-Ueberstrom I_{max} auftreten, der durch die Bedingung:

$$2 \pi v \cdot C_0 = \frac{I}{2 \pi v \cdot L}$$

$$\text{bezw.: } E' = \sqrt{E^2 + (R \cdot I_c)^2}$$

sich zu:

$$I_{max} = \frac{E'}{R} = I_c \sqrt{1 + \left(\frac{1}{2 \pi v \cdot C_{10} \cdot R} \right)^2} = I_c \sqrt{1 + \left(\frac{2 \pi v L}{R} \right)^2}$$

berechnen lässt. Bei einer geringfügigen Verschiebung der Konstanten, entsprechend der Bedingung:

$$2 \pi v \cdot C_{10} = \frac{I}{2 \pi v \cdot L - 2 \pi v \cdot C_{10} \cdot R^2}$$

tritt die sogen. „Spannungsresonanz“ mit der maximalen Ueberspannung E_{max} auf, die sich zu:

$$E_{max} = E' \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{1}{2 \pi v \cdot C_{10} \cdot R} \right)^2}$$

ergibt. Da die Zahlenwerte der Konstanten C_{10} , R und L vornehmlich durch die Abmessungen, Anordnungen und Längen der Leiter 1 und 2 bestimmt sind, so lassen sich für bestimmte Leitertypen diejenigen kritischen Längen der Leiter bestimmen, für die die Maximalwerte der Ueberströme I_{max} und der Ueberspannungen E_{max} zu erwarten sind, und können dabei auch die zu erwartenden Zahlenwerte $\frac{I_{max}}{I_c}$, sowie $\frac{E_{max}}{E'}$ angegeben werden; solche Rechnungen hat W. Petersen¹⁾ in der bereits erwähnten Arbeit bekannt gegeben. Die besondere Gefahr dieser Resonanz-Erscheinungen beruht darauf, dass sie auch bei der Betriebsfrequenz v leicht eintreten können, während sonst die Resonanzerscheinungen erst bei höhern Frequenzen, z. B. denen der höhern Harmonischen von nicht sinusförmigen Wechselstromwellen zu erwarten sind.

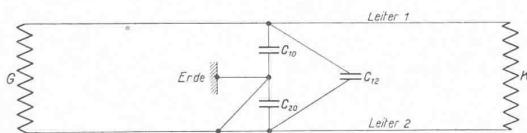


Abb. 3. Einphasen-Stromkreis mit zufälliger Erdung im Leiter 2.

Die Beurteilung der *Verhältnisse des intermittierenden Erdschlusses* können wir in Anlehnung an die, ebenfalls durch W. Petersen²⁾ entwickelten Anschauungen, wiederum auf Grund unserer Abbildung 3, also auf Grund eines einphasigen Schemas, vornehmen. Im Erdchluss des Leiters 2 weist der Leiter 1 für den Zeitpunkt der Nullstelle der Erdchluss-Stromwelle den Scheitelwert $E \cdot \sqrt{2}$ der Spannung auf, wobei die elektrische Ladungsmenge:

$Q = (C_{10} + C_{12}) \cdot \sqrt{2} \cdot E = \sim C_{10} \cdot \sqrt{2} \cdot E$
auf dem Leiter 1 als Gleichspannungsladung liegen bleibt, wenn der Erdchlusslichtbogen selbsttätig verlischt. Falls dieser sich wiederentzündet und dann wieder verlischt und dies in regelmässiger Folge je Halbperiode für Halbperiode

¹⁾ E. T. Z., 1916, Seite 131.

²⁾ Der aussetzende Erdchluss, E. T. Z. 1917, Seite 553, 564.

wiederholt, entsteht der regelrechte *intermittierende* (aussetzende) Erdchluss. An der Wiederentzündung (Rückzündung) sind die beim vorausgehenden Erlöschen des Lichtbogens auf dem nicht geerdeten Leiter liegen gebliebenen Gleichspannungsladungen in hohem Masse beteiligt, da sie, zusammen mit den von der Stromquelle in regelmässiger Frequenz aufgedrückten Spannungs-Scheitelwerten, eine zur Wiederentzündung genügend hohe Ueberspannung bilden können. Nach jedem Löschen verteilt sich die Gleichspannungsladung Q gleichmässig auf das Netz, bzw. auf die Leiter 1 und 2, deren Spannung gegen Erde, im Sinne von Abbildung 1, dann den Wert:

$$\frac{Q}{C_{10} + C_{20}} = \sim \frac{Q}{2 \cdot C_{10}} = \frac{\sqrt{2} \cdot E}{2}$$

annimmt. Zu dieser Spannung addieren sich bald wieder genügend hohe Momentanwerte der regelmässigen Spannungswelle, im Maximum also die Scheitelwerte, wobei im Zeitpunkte der Rückzündung das Schema nach Abb. 1 sprungweise in das der Abbildung 3 übergeht und eine freie Spannungsschwingung von der approximativen Frequenz

$$\nu' = \frac{1}{2 \pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{L \cdot C_{10}}}$$

auftritt; das nächste Erlöschen des Erdchlusslichtbogens führt sprungweise wieder auf das Schema nach Abbildung 1, wobei eine freie Spannungsschwingung mit der approximativen Frequenz:

$$\nu'' = \frac{1}{2 \pi} \cdot \sqrt{\frac{2}{L \cdot C_{10}}}$$

auftraten muss. Bei diesem, sich alle Viertelperioden einstellenden Zünden, bzw. Löschen überlagern sich die jeweils ausgelösten Ueberspannungen zu einer nach kurzer Dauer stationär werdenden resultierenden Ueberspannungswelle, deren Scheitelwerte, verglichen mit dem Scheitelwerte $E \cdot \sqrt{2}$, die Ueberspannungsgefahr des intermittierenden Erdschlusses ziffernmässig zum Ausdruck bringen. Auf Grund der Lehre von den Schwingungen lässt sich ersehen, dass, bei Vernachlässigung jeder Art von Dämpfung, auf dem Leiter 1 ein höchster Spannungs-Scheitelwert von:

$$2 \cdot \left[\sqrt{2} \cdot E + \frac{\sqrt{2} \cdot E}{2} \right] = 3 \cdot (\sqrt{2} \cdot E)$$

auf dem Leiter 2 ein solcher von:

$$2 \cdot (\sqrt{2} \cdot E)$$

möglich ist, d. h. es sind Ueberspannungen von höchstens dreifacher Höhe auf dem Leiter 1 und solche von höchstens zweifacher Höhe auf dem Leiter 2 zu erwarten. Unter Berücksichtigung der Kapazitäten C_{10} , C_{20} , C_{12} und eines Dämpfungsverhältnisses d von der allgemeinen Form:

$$d = 1 - e^{-\frac{a \cdot \pi}{2 \pi v}}$$

(mit $e = 2,72$) hat W. Petersen¹⁾ den höchsten Spannungs-Scheitelwert auf dem Leiter 1 zu:

$$(\sqrt{2} \cdot E) \cdot \frac{3 \cdot C_{10} + C_{12} - d \cdot C_{10}}{C_{10} + 2 \cdot C_{12} + d \cdot C_{10}}$$

und auf dem Leiter 2 zu:

$$(\sqrt{2} \cdot E) \cdot \frac{2 \cdot (C_{10} + C_{12})}{C_{10} + 2 \cdot C_{12} + d \cdot C_{10}}$$

berechnet. Auf Grund der von uns schon angegebenen Beziehungen über die relative Grösse der einzelnen Kapazitäten ist:

$$3 > \frac{3 \cdot C_{10} + C_{12} - d \cdot C_{10}}{C_{10} + 2 \cdot C_{12} + d \cdot C_{10}} > 2$$

sowie:

$$2 > \frac{2 \cdot (C_{10} + C_{12})}{C_{10} + 2 \cdot C_{12} + d \cdot C_{10}} > 1$$

womit die Grössenordnung der Ueberspannungen des intermittierenden Erdschlusses von Einphasen-Stromkreisen etwas genauer dargestellt wird.

Wenn nun zur Beurteilung der Ueberspannungen infolge dauernder, sowie infolge intermittierender Erdschlüsse an Stelle von Einphasen-Stromkreisen *verkettete*

²⁾ E. T. Z. 1917, Seite 565.

Mehrphasen-, insbesondere Dreiphasen-Stromkreise herangezogen werden, so ergeben sich auf einem ursprünglich nirgends geerdeten solchen Stromkreise bei eintretendem Erdschluss auf einer der Phasenleitungen, also grundsätzlich bei einem dem Schema nach Abbildung 3 gleichwertigen Mehrphasenschema, noch höhere Ueberspannungen als beim entsprechenden Einphasenstromkreis; dabei ist die Erhöhung der Ueberspannung vornehmlich durch die beim Erdschluss an einer der Phasen platzgreifende beträchtlichere Spannungshebung gegen Erde auf den andern Phasen zurückzuführen.

Zur Verhütung, bzw. Beseitigung der durch den dauernden oder den intermittierenden Erdschluss entstehenden *Störungen*, bzw. zur Bekämpfung der auf Erdschlüsse zurückführbaren Ueberspannungen stehen uns mehrere wirksame Hilfsmittel zur Verfügung, von denen sich die folgenden grundsätzlichen Wirkungsbeziehungen an Hand unserer Schemata nach den Abbildungen 1, 2 und 3 feststellen lassen. Im Grunde genommen laufen nämlich alle diese Hilfsmittel darauf hinaus, die ungewollte Erdung durch eine gewollte und technisch richtig durchgebildete Erdung zu ersetzen. In einem derartigen Bestreben ist ja auch die in Abbildung 2 veranschaulichte Nullpunkt-Erdung zur Anwendung gebracht worden; indessen ist sie in dieser einfachsten Ausführungsform noch recht mangelhaft.

Wie *M. Voigt*¹⁾ gezeigt hat, kann durch den Einbau von Erdungswiderständen an den Erdungspunkten, bzw. an den Nullpunkten der Wicklungen *G* und *K* nach Abbildung 2 diese Nullpunkt-Erdung wesentlich verbessert werden; solche Widerstände kann man als *Nullwiderstände* bezeichnen. Die technische Anwendung solcher Nullwiderstände verlangt die Kenntnis ihres Zahlenwertes *R₀* in Ohm. Gemäß *R₀* wird bei eintretender Unsymmetrie in der Schaltung nach Abbildung 2, also insbesondere bei einem Erdschluss auf einem der Leiter 1 oder 2 ein maximaler Wattstrom *J_w* an Erde gehen, der sich mit dem kapazitiven, also wattlosen Strom *J₀* zum resultierenden Erdstrom *J_e* zusammensetzt; für den letztern kann die Beziehung:

$$J_e = \sqrt{J_w^2 + J_0^2}$$

benutzt werden. Herrscht gegen Erde die Spannung *E*, so ist angenähert:

$$J_w = \frac{E}{R_0}; J_0 = 2\pi\nu \cdot E \cdot C_{10}$$

Für:

$$R_0 = \frac{1}{2\pi\nu \cdot C_{10}}$$

werden die Stromkomponenten *J_w* und *J₀* einander gleich und hat der resultierende Erdschluss-Strom *J_e* gegen *E* eine Phasenverschiebung von 45°, dank der er ebenso leicht verlischt, wie der rein wattlos voreilende Erdschluss-Strom *J₀*. Den weitaus grössten Schutz gewährt *R₀* gegenüber dem intermittierenden Erdschluss, indem die mit Hilfe von *R₀* gebildete Ableitung an Erde die entstehenden Gleichspannungsladungen wesentlich herabsetzt. Nach Untersuchungen von *W. Petersen*²⁾ wird der günstigste Wert von *R₀* durch die Beziehung:

$$R_0 = (2,5 \text{ bis } 1) \cdot \frac{1}{2\pi\nu \cdot C_{10}}$$

innerhalb gewisser Grenzen gegeben.

Anstatt der dauernden Erdung eines Einphasen- oder Mehrphasen-Stromkreises über Nullwiderstände kann auch die dauernde Erdung der Verbindungsleitungen 1 und 2 zwischen den Wicklungen *G* und *K* durch Ohmsche *Einzelwiderstände* *R_e* angeordnet werden. Im Schema unserer Abbildung 1 würden demgemäß sowohl *C₁₀* als auch *C₂₀* je durch einen Parallelwiderstand *R_e* überbrückt; verglichen mit der Erdung durch einen einzigen Widerstand *R₀* sind die verschiedenen Einzelwiderstände *R_e* zu dimensionieren gemäß:

$$R_0 = \frac{1}{Y\left(\frac{1}{R_e}\right)}.$$

¹⁾ Bulletin des Schweiz. Elektr. Vereins, 1915, Seite 49.

²⁾ E. T. Z., 1918, Seite 341.

Anstatt Einzelwiderstände *R_e* zur dauernden Erdung der Leiter 1 und 2 zu verwenden, können auch *Funkenableiter* mit gleichem Ersatzwiderstand der gleichzeitig angesprochenen Funkenstrecken benutzt werden.

Bei der Anwendung irgend eines der behandelten Erdungshilfsmittel ist auf das Vorhandensein von Induktivitäten *L* im Stromkreis des Erdschlusses zu achten und im Falle eines solchen Vorhandenseins der um die übrigen Leitungswiderstände vermehrte Erdungswiderstand auch noch im Hinblick auf aperiodische Entladung nach der Formel:

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

zu kontrollieren, wobei *C* von Fall zu Fall aus den Teilkapazitäten *C₁₀*, *C₂₀*, *C₁₂* unserer Schemata zu bilden ist.

Bei der Anwendung von sehr hohen Spannungen der Leiter 1 und 2 gegen Erde bildet die Beschaffung und Instandhaltung wirklich betriebstüchtiger Ohm'scher Widerstände zur Dauererdung erhebliche Schwierigkeiten. In diesem Falle kann dann die vor kurzem von *W. Petersen*¹⁾ empfohlene sogen. *Erdschluss-Spule* mit Nutzen verwendet werden, die im Schema der Abbildung 2 an den Erdungspunkten, bzw. an den Nullpunkten der Wicklungen *G* und *K* an Stelle eines Nullwiderstandes *R₀* zum Einbau kommt. Im Falle eines zufälligen Erdschlusses auf dem Leiter 2 wird die Erdschluss-Spule *L₀* nach unserer Abbildung 4 von einem Ausgleich-Strom *J_a* durchflossen, der durch die Beziehung:

$$J_a = \frac{E}{2\pi\nu \cdot L_0}$$

gegeben ist; anderseits fliesst vom Leiter 1 der kapazitive Erdschluss-Strom:

$$J_0 = \sim 2\pi\nu \cdot (2 \cdot E) \cdot C_{10}$$

nach dem Erdschlusspunkte hin. Falls:

$$2\pi\nu \cdot L_0 = \sim \frac{1}{2\pi\nu \cdot 2 \cdot C_{10}}$$

gemacht wird, sind die zwei Ströme *J_a* und *J₀* gleich gross; da sie auch entgegengesetzt gerichtet sind (da *J_a* ein nachelender, *J₀* aber ein voreilender wattloser Strom ist), so heben sie sich auf dem Leiter 2 gegenseitig auf und bleibt

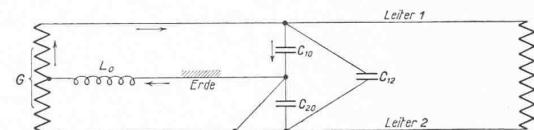


Abb. 4. Einphasen-Stromkreis mit Erdschluss-Spule *L₀* und mit zufälliger Erdung im Leiter 2.

im Schema der Abbildung 4 nur der durch die Pfeile angedeutete Erdschluss-Stromverlauf übrig. Damit verschwindet aber auch im wesentlichen die durch den Erdschluss allfällig erzeugbare Ueberspannungsgefahr, da der Gefahrpunkt, an dem die Lichtbogenbildung zu befürchten ist, vom kapazitiven Erdschluss-Strom in der Hauptsache befreit ist. Ueber die Erdschluss-Spule verläuft bei plötzlicher Unterbrechung des Erdschlusses eine Entladung von der Frequenz *v₀*, die gemäß:

$$v_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{L_0 \cdot (C_{10} + C_{12})}} = \sim \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot v^2 \cdot 2 \cdot C_{10}}{2 \cdot C_{10}}} = v$$

mit der Betriebsfrequenz *v* übereinstimmt und nach Massgabe der natürlichen Dämpfung rasch abklingt. Die bislang erzielten praktischen Resultate mit der Anwendung solcher Erdschluss-Spulen scheinen die an sie gestellten Erwartungen vollauf zu bestätigen und dürfte das neue Schutzmittel einer wichtigen Entwicklung fähig sein.

Auf alle Fälle erscheint heute das Problem der Erdschluss-Störungen und die Wirkung der gegen solche anwendbaren Hilfsmittel bereits hinreichend abgeklärt zu sein. (Schluss folgt.)

¹⁾ Die Begrenzung des Erdschluss-Stroms und die Unterdrückung des Erdschlusslichtbogens durch die Erdschluss-Spule, E. T. Z. 1919, S. 5, 17.