Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 39 (1948)

Heft: 14

Artikel: Welche Folgerungen ergeben sich für den Betrieb von Elektrizitätswerken aus dem Eisenbahnunglück von Wädenswil?

Autor: Kleiner, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057960

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: 22.08.2025

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

$$\sqrt{\gamma_1\gamma_2} = \frac{s}{\tau} \tag{81}$$

gilt. Die Eindringtiefe τ hat dabei den speziellen Wert (43).

Die Ausdrücke (73) bis (78) degenerieren im Sonderfall, in dem der Verschiebungsstrom gegenüber dem Leitungsstrom vernachlässigt werden kann, also für $\varphi \gg 1$ zu den Ausdrücken (54) bis (59) von Abschnitt 4 bzw. zu den Ausdrücken (60) bis (65) von Abschnitt 5, falls für ξ und η die den respektiven Feldstärkeverhältnissen Z_s entsprechenden Real- und Imaginärteile eingesetzt werden.

9. Dielektrische Schichten geringer Leitfähigkeit auf gut leitender Unterlage

Ist die Unterlage praktisch unendlich gut leitend, so kann $Z_s = 0$ gesetzt werden. Aus (73) entsteht dann

$$\frac{Z_0}{W} = \frac{1}{p^2+q^2} \cdot \frac{p\sinh 2\gamma_1 - q\sin 2\gamma_2 + j[q\sinh 2\gamma_1 + p\sin 2\gamma_2]}{\cosh 2\gamma_1 + \cos 2\gamma_2} \tag{82}$$

Für ein Dielektrikum von geringer Leitfähigkeit ist $\varphi \ll 1$. Bis auf Grössen 1. Ordnung in φ sind dann nach (12), (13), (79) und (80)

$$p = 1\,; \quad q = \frac{\varphi}{2}\,; \quad 2\gamma_1 = 4\pi\frac{s}{\lambda_0}\frac{\varphi}{2}\,; \quad 2\gamma_2 = 4\pi\frac{s}{\lambda_0}$$

Damit wird aus (82)

$$\frac{Z_0}{W} = \frac{\sinh\left(4\pi\frac{s}{\lambda_0}\frac{\varphi}{2}\right) - \frac{\varphi}{2}\sin\left(4\pi\frac{s}{\lambda_0}\right)}{\cosh\left(4\pi\frac{s}{\lambda_0}\frac{\varphi}{2}\right) + \cos\left(4\pi\frac{s}{\lambda_0}\right)} + j\,\frac{\left[\frac{\varphi}{2}\sinh\left(4\pi\frac{s}{\lambda_0}\frac{\varphi}{2}\right) + \sin\left(4\pi\frac{s}{\lambda_0}\right)\right]}{\cosh\left(4\pi\frac{s}{\lambda_0}\frac{\varphi}{2}\right) + \cos\left(4\pi\frac{s}{\lambda_0}\right)} \tag{83}$$

Da wegen $\varphi \ll 1$ der cosh im Nenner wenig grösser als 1 ist, nimmt $\frac{Z_0}{W}$ maximale Werte an für die Schichtdicken

$$s = \frac{\lambda_0}{4};\ 3\frac{\lambda_0}{4};\ 5\frac{\lambda_0}{4};\ \ldots \tag{84}$$

Für diese Werte ist ausserdem (83) reell und bis auf Grössen 1. Ordnung in φ

$$\frac{Z_0}{W} = \frac{1}{\pi\frac{s}{\lambda_0}\varphi}$$

Durch geeignete Wahl von φ kann offenbar erreicht werden, dass

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\Pi}{\Delta}}$$

wird, oder — was dasselbe bedeutet — dass eine auf die Schicht nach (84) auffallende ebene Welle reflexionsfrei absorbiert wird. Dazu muss

$$\varphi = \frac{\sqrt{\mu/\varepsilon}}{\pi s/\lambda_0} \text{ oder } \sigma = \frac{2}{s}\sqrt{\frac{\Delta}{\Pi}} \tag{85}$$

sein. Es handelt sich um dieselben Schichten, welche in der Optik die Anlauffarben der Metalle verursachen und welche seinerzeit in [7] von *W. Kleinsteuber* und dem Verfasser näher untersucht worden sind. Formel (85) stimmt mit (6) von [7] überein.

Literatur

[1] *Dwight, H. B.:* Skin Effect in Tubular and Flat Conductors. Proc". Amer. Inst. Electr. Engr". Bd. 37(1918), Nr. 8, S. 977...998.

[2] *Fischer, J.:* Die allseitige Feldverteilung in zwei kreiszylindrischen, koaxial geschichteten Stoffen bei axialer Richtung des Wechselstromes. Hochfrequenztechn. u. Elektroakustik Bd. 40(1932), Nr. 6, S. 207...214.

[3] *Strutt, Max J. O.:* Skineffekt in einem geschichteten Kreiszylinder. Hochfrequenztechn. u. Elektroakustik Bd. 41(1933), Nr. 2, S. 62...63.

[4] *Fischer, J.*, u. *Max J. O. Strutt:* Skineffekt in einem geschichteten Kreiszylinder. Hochfrequenztechn. u. Elektroakustik Bd. 41(1933), Nr. 6, S. 219.

[5] *Ekelöf, Stig:* Über den Wechselstromwiderstand von geraden Drähten mit kreisförmigem Querschnitt, die aus mehreren konzentrischen Schichten bestehen. Elektr. Nachr.-Techn. Bd. 10(1933), Nr. 3, S. 115...122.

[6] *Kruse, H.* u. *O. Zinke:* Stromverdrängung in geschichteten zylindrischen Leitern. Hochfrequenztechn. u. Elektroakustik Bd. 44(1934), Nr. 6, S. 195...203.

[7] *Dällenbach, W.*, u. *W. Kleinsteuber:* Reflexion und Absorption von Dezimeterwellen an ebenen, dielektrischen Schichten. Hochfrequenztechn. u. Elektroakustik Bd. 51 (1938), Nr. 5, S. 152...156.

Adresse des Autors:
Dr.-Ing. *Walter Dällenbach*, Beustweg 3, Zürich 32.

Welche Folgerungen ergeben sich für den Betrieb von Elektrizitätswerken aus dem Eisenbahnunglück von Wädenswil?

Von *A. Kleiner*, Zürich

621.316.37.0046

Wie es sich herausstellt, ist das Eisenbahnunglück in Wädenswil mit seinen furchtbaren Folgen nicht auf technische Fehler, sondern auf ein menschlich bedingtes Versagen des Lokomotivführers zurückzuführen. Es stellt sich daher automatisch die Frage, wie ein solches Versagen und seine Folgen hätten vermieden werden können. Wir möchten ausdrücklich weder dem Mann einen Vorwurf machen, noch die Notwendigkeit äusserster Konzentration und Pflichterfüllung bagatellisieren, sondern nur die

Tatsache festhalten, dass bei den vielen tausend Manipulationen, die ein Bahnangestellter und ebenso ein im Betrieb eines Elektrizitätswerkes stehender Mann im Laufe der Zeit ausführen muss, es nicht vollkommen zu vermeiden ist, dass von Zeit zu Zeit ein menschliches Versagen eintritt. Für den Betrieb von Elektrizitätswerken sind diese Ueberlegungen von grosser Bedeutung, ist es doch eine bekannte Tatsache, dass verschiedene schwere und sehr schwere Unfälle der letzten Jahre gerade gut ausgewiesenen Angestellten, z. B. Chefmaschinisten, Schichtführern und anderen passiert und ebenfalls auf ein momentanes Versagen, entweder in den Überlegungen oder im Ablauf der vorgeschriebenen Handlungen, zurückzuführen sind.

Die Technik der Einrichtungen für Elektrizitätsbetriebe (Kommandoräume) und Bahnen muss darauf ausgehen, ein Maximum an Sicherheit zu schaffen, von der man übrigens häufig annimmt, dass sie 100 Prozent beträgt, was natürlich nicht möglich ist. Der Konstrukteur hat die Aufgabe, diese Anforderungen mit der wirtschaftlich besten Ausführung zu kombinieren; er wird daher seine Massnahmen und Einrichtungen streng logisch aufbauen und immer wieder danach trachten, scheinbar unnötige Aufwendungen und Manipulationen zu vermeiden. Er stellt dabei ohne weiteres darauf ab, dass der Bedienende ebenso folgerichtig und zuverlässig handle. Er kann nur in den wenigsten Fällen die Tatsache berücksichtigen, dass der Bedienende in dieser Beziehung in einem bestimmten Augenblick versagen kann. Es stellt sich nun die Frage, und zwar nicht nur in den technischen Einzelheiten, sondern allgemein, wie sehr auch bei solchen Einrichtungen und Sicherheitsmassnahmen die psychologische Seite zu berücksichtigen ist, und wie weit gegen das Versagen des Bedienenden Massnahmen getroffen werden können. Dabei ist man sich zum vorneherein bewusst, dass diese Massnahmen nicht unbeschränkt möglich sind, ja sogar in den wenigsten Fällen ausführbar, da sonst die Anlagen noch komplizierter und dadurch wieder unsicherer würden; denn eine vermehrte Zahl von Apparaten, die aus technischen Gründen versagen können, müssen hintereinander geschaltet werden. Tatsächlich wird gerade in Schaltanlagen und Kommandoräumen der Fehler gemacht, dass allzuviele Sicherheitsvorrichtungen angebracht werden, die sich gegenseitig stören können. Auch ist nicht zu vergessen, dass das Bestreben, die menschliche Handlung und das Denken auszuschalten, zu einer gewissen Abstumpfung des Bedienenden führt. Aufgabe des Technikers, des Betriebsleiters sowohl, als auch des Konstrukteurs ist es also, eine weise gewählte Mittellinie zu verfolgen. Wiederholt sei aber, dass man mit dem Versagen der menschlichen Eigenschaften doch immer wieder rechnen und daher verhindern muss, dass eine solche zu unheilvollen Katastrophen führt. Dies ist nämlich gerade im Kraftwerkbetrieb durchaus möglich. Es sei an dieser Stelle daran erinnert, dass vor Jahren in einem grossen Kraftwerk durch eine falsche, d. h. in der unrichtigen Reihenfolge durchgeführte Schaltung ein Kurzschluss verursacht wurde, der die Maschine abschaltete, worauf durch das plötzliche Zuschlagen eines Rückschlagventils ein Schieber barst und das ganze Maschinenhaus unter Wasser setzte. Nur einem glücklichen Umstand ist es zuzuschreiben, dass der Vorfall keine Menschenopfer forderte. Dieses Beispiel, dem leicht andere beizufügen wären, zeigt, dass der Betriebsleiter oder der verantwortliche Leiter eines Kraftwerkes sich derartige Möglichkeiten und Unglücksfälle vor Augen halten muss.

Um auf den vorliegenden Fall zurückzukommen, so scheint es zunächst unverständlich, dass der Lokomotivführer vergass, den Wendeschalter von der Stellung «Fahrt» auf die Stellung «Bremsen» umzuschalten. Man muss sich aber vergegenwärtigen, dass der gleiche Grund, der ihn vergessen liess, den Hebel umzuschalten, ihn auch nicht daran denken liess, dass er es hätte vergessen können. Der eine kurze Augenblick, in dem er die Schaltung unterliess, hat alle übrigen Massnahmen gewissermassen kurzgeschlossen. Es ist eben im Falle eines Versagens menschlicher Eigenschaften nicht zu verlangen, dass man dieses Versagen bei sich entdeckt. Dies geht daraus hervor, dass, wie erwähnt, ganz unerklärliche Vorfälle sehr gut qualifizierten Angestellten der Elektrizitätswerke passieren können und auch passiert sind. Hätten die Betreffenden jeweils daran gedacht, dass ihre Überlegung falsch sein könnte, so hätten sie sie eben nicht gemacht, und der Unfall wäre vermieden worden. Für den Konstrukteur und Betriebsleiter stellt sich aber trotzdem die Aufgabe, solche Versager, wenn nicht zu verhindern, so doch derart augenfällig zu machen, dass sie dem Fehlbaren womöglich rechtzeitig auffallen müssen. So wäre beim Unglück in Wädenswil ein Ampèremeter, das beim Bremsen umgekehrt angezeigt hätte als beim Fahren, ein auffälliges Anzeichen dafür gewesen, dass ein Fehler vorlag. Dass der Konstrukteur der Maschine an diese Möglichkeit nicht dachte, ist darauf zurückzuführen, dass er das Problem nur technisch, nicht auch psychologisch behandelte.

Einen zweiten prinzipiellen Nachteil der vorhandenen Einrichtungen, der auf ähnliche rein konstruktive Überlegungen zurückzuführen ist, bildet die Tatsache, dass der Bedienende für zwei entgegengesetzte Wirkungen, nämlich für das «Fahren» und das «Bremsen» durch den Motor, die gleiche Bewegung ausführen musste. Das sollte unter allen Umständen, und zwar aus psychologischen Gründen, vermieden werden. Eine in ihrer Wirkung entgegengesetzte Handlung muss auch durch irgendeine entgegengesetzte Bewegung eingeleitet werden. Wie dies im vorliegenden Falle auszuführen gewesen wäre, ist offenbar ein technisches Detail. Wir möchten aber gerade auf dieses Argument den Hauptwert legen und betonen, dass es ausserordentlich wichtig ist, für Bedienungsmanipulationen einen bestimmten Sinn festzulegen, dass also z. B. für Vorwärts- oder Rückwärtsfahren, für den Betrieb des Motors als Motor oder als Generator, für Senken oder Heben der Spannung (wo dies ja selbstverständlich ist) immer entgegengesetzte Bewegun-

gen ausgeführt werden müssen; es genügt nicht, durch Umschalten eines Hebels die gleiche Bewegung im entgegengesetzten Sinne wirken zu lassen.

Wenn wir auf diese Tatsache hinweisen, so möchten wir wiederholen, dass es sich nicht darum handelt, jemandem einen Vorwurf oder gar jemanden für das Unglück verantwortlich zu machen. Aber es lag uns daran, die Betriebsleiter und Konstrukteure auf die psychologische Wirkung ihrer Massnahmen und Überlegungen aufmerksam zu machen. Denn gerade wir Techniker erliegen gerne der Versuchung, Konstruktionen und Überlegungen nur rein technisch und logisch aufzubauen. Wir müssen uns auch daran gewöhnen, die menschliche und psychologische Seite nicht ausser acht zu lassen; so ist die Hoffnung berechtigt, dass die Sicherheit unserer Einrichtungen, die zwar ein erstaunlich hohes Mass erreicht hat, aber immer wieder beanstandet und durch Bände von Vorschriften verbessert werden will, gehoben werden kann.

Ein dritter Punkt, auf den wir hinweisen müssen, weil er gerade für Elektrizitätswerke, Kommandopulte und dergleichen wichtig ist, betrifft die Anordnung der verschiedenen Bedienungshebel und -griffe. Fast immer wird man bestrebt sein, diese so auf der Pultplatte zu verteilen, dass der Platz möglichst vollständig ausgenützt wird und ein ästhetisch befriedigendes symmetrisches Bild entsteht. Dabei ist aber die Versuchung gross, dass Bedienungsgriffe, deren Betätigung Unwesentliches bewirkt, räumlich an ebenso auffallender Stelle und in gleicher Ausführung angeordnet werden, wie solche, deren falsche Manipulation schwerwiegende, ja katastrophale Folgen hat. So wäre es z. B. ein Fehler, den Schalter für die automatische Spannungsregulierung gleich auszubilden und an symmetrischer Stelle einzubauen, wie denjenigen, der für die Abschaltung der Maschine bei Gefahr zu betätigen ist; psychologisch unrichtig ist es also auch, wenn auf dem Bedienungstableau eines Fahrzeuges der Umschalter von «Fahrt» auf «Bremsen» gleich aussieht wie der Heizungs- oder Belüftungsschalter, und wenn überhaupt das Bedienungstableau so viele ähnliche Betätigungsgriffe enthält, dass die *wichtigen* gerade dann nicht mehr auffallen, wenn sie falsch gestellt sind.

Adresse des Autors:
A. Kleiner, Delegierter der Verwaltungskommission des SEV und VSE, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Drehzahlregulierung beim polumschaltbaren Schleifringmotor

621.313.045.57

Als regulierbare Drehstrommotoren werden zur Zeit hauptsächlich folgende Motorenarten verwendet:

1. der polumschaltbare Motor mit Kurzschlussläufer,
2. der Schleifringmotor mit dem zugehörigen Läuferregulierwiderstand,
3. der Kommutatormotor.

Jeder dieser Motoren hat seine Vor- und Nachteile. So ist der *polumschaltbare Motor mit Kurzschlussläufer* sehr einfach und robust in seinem Aufbau und die Regulierung ist wirtschaftlich, d. h. mit keinen Regelverlusten verbunden. Leider ist jedoch die Zahl der Drehzahlstufen beschränkt.

Der *Schleifringmotor* gestattet dagegen beliebig viele Stufen; es tritt jedoch ein Regulierverlust auf, der einen wesentlichen Wert erreichen kann, so dass für dauernde Regulierung mit grossen Drehzahländerungen bald eine Verwendungsgrenze erreicht wird. Auch ist die lastabhängige Drehzahlcharakteristik bei niedrigen Drehzahlen und Belastungen oft unerwünscht.

Die *Kommutatormotoren* haben die eben erwähnten Nachteile nicht. Ihre Drehzahlen lassen sich in weiten Grenzen verlustlos und stufenlos regeln unter Beibehaltung der gewünschten Drehzahlcharakteristik. Leider ist aber der Preis dieser Motoren sehr hoch. Der komplizierte Aufbau und der erforderliche Kommutator werden in der Praxis meist als Nachteile betrachtet. Aus diesen Gründen haben die Kommutatormotoren keine allgemeine Verbreitung gefunden und wurden bis jetzt nur in den Fällen verwendet, wo besonders hohe Anforderungen an die Regulierung gestellt werden.

Alle Bedingungen, die an einen Antrieb mit grossen Drehzahländerungen zu stellen sind, werden ziemlich gut durch einen *polumschaltbaren Schleifringmotor* erfüllt. Durch Einführung mehrerer synchroner Drehzahlen wird der Regulierverlust wesentlich vermindert und die Drehzahlcharakteristik weniger lastabhängig. Der mechanische Aufbau und die Schaltung dieses Motors sind einfach, was sich auf den Preis günstig auswirkt. Gewiss stellt dieser Motor keinen vollkommenen Ersatz des Kommutatormotors in bezug auf Verluste dar, doch ist der Unterschied nicht wesentlich, wenn man den relativ schlechten Wirkungsgrad des Kommutatormotors selbst berücksichtigt. Die polumschaltbaren Schleifringmotoren haben bis jetzt nur geringe Verwendung gefunden, da die Notwendigkeit mehrerer Schleifringe die Verwendung von normalen reihenmässig hergestellten Teilen erschwerte. Eine wesentliche Vereinfachung und Verbilligung des Motors kann man erreichen, wenn beide Läuferwicklungen an dieselben Schleifringe angeschlossen werden, so dass die Gesamtzahl der Schleifringe drei nicht übersteigt. Damit keine zusätzliche Verluste, negative Drehmomente oder Geräusche entstehen, darf in der jeweils ausser Betrieb stehenden Wicklung kein Strom fliessen. Die beiden, oder im allgemeinen Fall die verschiedenen im Läufer untergebrachten Wicklungen verschiedener Polzahl dürfen sich gegenseitig nicht beeinflussen. Diese Forderung ist grundlegend für die Konstruktion eines neuen polumschaltbaren Motors mit zwei (oder mehreren) an denselben Schleifringen angeschlossenen Läuferwicklungen.

Ein solcher Motor wurde bereits im Jahre 1924 in einem amerikanischen Patent erwähnt. Er war für einen Personenaufzug gedacht, befriedigte jedoch nicht, da dem gegeneitigen Einfluss der Wicklungen verschiedener Polzahl keine Aufmerksamkeit geschenkt wurde.

Erst nach grundlegenden Untersuchungen über die gegenseitige Beeinflussung der Wicklungen verschiedener Polzahlen [1]), wurden die Grundlagen für einen polumschaltbaren Schleifringmotor mit gemeinsamen Schleifringen geschaffen. Um die Zusatzverluste und parasitären Drehmomente zu beseitigen, muss das Polzahlverhältnis der an dieselben Schleifringe angeschlossenen Wicklungen bestimmte Werte haben. Der Motor ist also nicht für beliebige Polzahlverhältnisse ausführbar. Es zeigt sich jedoch, dass die in der Praxis am häufigsten verlangten Polzahlverhältnisse, darunter 2 : 1 und 1½ : 1, ausführbar sind.

Die Schaltung des Motors ist in Fig. 1 gezeigt. Der Motor besitzt im Ständer und im Läufer je zwei getrennte Wicklungen. Die Ständerwicklungen sind an getrennte Klemmen, die Läuferwicklungen an dieselben Schleifringe angeschlossen. Schliesst man nun die Spannung an die Ständerwicklung S_1 und die Schleifringe kurz (oder über einen Widerstand), so läuft der Motor entsprechend der Polzahl der

[1]) *Schmitz, T.:* Die Wechselwirkung zwischen Wicklungen verschiedener Polzahl. Elektrotechn. Z. Bd. 55(1934), Nr. 42, S. 1024...1026.