Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 42 (1951)

Heft: 25

Artikel: Über winddruckbedingte Schwingungen von Freileitungsseilen aus Leichtmetall

Autor: Kohler, K.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1061044

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: 07.01.2026

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

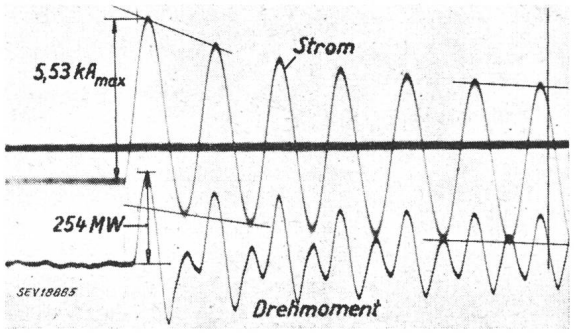

Fig. 4
Oszillogramm des Strom- und Drehmomentverlaufes bei plötzlichem Kurzschluss eines Grossgenerators

ment setzen, bei sattem Kurzschluss an den Klemmen, plötzlich ein.

Da während des Kurzschlusses die Welle von aussen weder einen Antrieb noch eine Belastung erfährt, kann der Winkelbeschleunigungsverlauf, mit einer andern Eichkonstanten, zugleich als Drehmoment (bzw. dessen Leistung) betrachtet werden. Dieses oszilliert wegen des Kurzschlusses merkwürdigerweise mit den Frequenzen 50 und 100 Hz. Die Bewegungsenergie wandelt sich nämlich in diesem Takte periodisch in magnetische um (Verzögerung), dann umgekehrt (Beschleunigung), usw. Das beschriebene Verfahren hat es ermöglicht, die Grösse dieser Wechselbeanspruchungen zu ermitteln (auch im Fundament); die Kenntnis dieser Kräfte ergibt neue Konstruktionsunterlagen, womit der Winkelbeschleunigungsmesser seinen Zweck sehr gut erfüllt hat.

Dieses Messgerät soll in einem späteren Aufsatz ausführlicher beschrieben werden.

Über winddruckbedingte Schwingungen von Freileitungsseilen aus Leichtmetall

Von *K. Kohler*, Karlsruhe

621.315.1.056.4

Durch energetische Betrachtungen werden drei bisher nicht angewandte Massnahmen zur Beherrschung schädlicher Seilschwingungen begründet.

Trois dispositions susceptibles d'éviter des oscillations dangereuses des conducteurs câblés, qui n'avaient pas été appliquées jusqu'ici, sont exposées en partant de considérations d'ordre énergétique.

Die Untersuchungen von *Karman* und *Rubach* über den Mechanismus des Winddruckes [1] [1]) haben für die Querschwingungen der als Freileitungen gespannten Seile eine natürliche Erklärung gegeben. Die in harmonischer Folge auftretenden Stösse der ablösenden Luftwirbel brauchen lediglich mit irgendeiner Eigenfrequenz des als Saite zu betrachtenden Leiters übereinzustimmen, um Schwingungen zu erzeugen. Dieser Vorgang blieb solange ohne technische Bedeutung, als Schwermetalle für die Leiter Verwendung fanden und erfahrungsgemäss Nachteile nicht auftraten. Mit der Einführung des Aluminiums, insbesondere in der mechanisch stark beanspruchbaren Legierung des Aldrey, zeigten sich aber zerstörende Wirkungen, die eine Beherrschung dieser Erscheinung erforderten, wenn eine weitere Verwendung dieser Baustoffe im Freileitungsbau zugelassen werden sollte. Neben dämpfenden Seilkonstruktionen wurden Geräte empfohlen, deren gemeinsames Merkmal die Ableitung der Schwingungsenergie über mechanische Stösse ist. Damit schien die Frage technisch gelöst. Trotz dieser Zuversicht blieb eine Ungewissheit, die sich darin äusserte, dass man eine mechanische Beanspruchung der Leiter bis an die sonst zulässigen Grenzen vermied. Damit verzichtete man aber auf die volle wirtschaftliche Ausnützung des Baustoffs, denn die Unterschreitung der höchstzulässigen Zugspannungen zeitigte grössere Durchhänge und damit Mehraufwand für die Tragkonstruktionen. Eine weitere Vorsichtsmassnahme ist die Beschränkung der Spannweiten, da die Erfahrung zeigte, dass die Neigung zum Schwingen mit der Feldlänge zunahm; auch dadurch wird eine kostensparende Ausnützung des Baustoffs über die wirtschaftliche Spannweite verhindert. Sofern man aber allein im Hinblick auf die Kosten den Leitungsmetallen geringsten Gewichts und grösster Zugfestigkeit — z. B. Elektron [2] — besondere Beachtung schenkt, gewinnt eine endgültige Lösung der Schwingungsfrage entscheidende Bedeutung.

Man wird bei der Darstellung des Gesamtvorganges davon ausgehen müssen, dass die Anregung zum Schwingen wegen des ursächlichen Zusammenhangs zwischen Winddruck und Wirbelablösung stets vorhanden, also nicht zu vermeiden ist. Besondere Aufmerksamkeit verdient daher die Untersuchung der Ursachen der Schwingneigung der Seile und des Austausches der Energien.

Die grössere Anfälligkeit längerer Spannfelder findet ihre Begründung durch eine Überlegung. Jeder ganzzahlige Teil der Feldlänge des Leiters, welchen man als schwingungsfähige Saite anzusehen hat, verkörpert eine Eigenfrequenz, also eine mögliche Schwingung. Je grösser die Spannweite ist, um so näher rücken sich diese Frequenzen, so dass für den theoretischen Grenzfall einer unendlich grossen Spannweite schliesslich ein kontinuierliches Spektrum entsteht. In dem verhältnismässig engen Bereich der möglichen Wirbelfrequenzen besteht demnach eine um so grössere Wahrscheinlichkeit einer Schwingungserregung, d. h. Übereinstimmung von Wirbelfrequenz und irgendeiner Eigenfrequenz der Saite, je länger das Feld ist. Lässt man noch die Möglichkeit zu, dass in verschiedenen Entfernungen längs des Leiters verschiedene Windgeschwindigkeiten herrschen, dann bieten ebenfalls grössere Feldlängen grössere Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten einer bestimmten Windgeschwindigkeit und der mit ihr verknüpften Wirbelfrequenz. Es ist daher anzunehmen, dass die Schwingungsanfälligkeit der Leiter mit einer höheren Potenz von der Spannweite abhängt.

Die Anwendung kurzer Mastabstände ist daher ein geeignetes Mittel, die Schwingungsneigung der Seile wesentlich einzuschränken. Zum selben Erfolg, aber viel einfacher, führt jedoch die Einfügung

[1]) siehe Literatur am Schluss der Arbeit.

von festen Knoten längs des Leiters, etwa durch Einbau von kurzen Seilversteifungen oder Anhängen von Gewichten. Dabei ist es zweckmässig, die Teilfeldlängen möglichst nicht gleich gross zu machen, um eine Übertragung von Schwingungsenergie in benachbarte Feldabschnitte wesentlich zu erschweren.

Die ablösenden Luftwirbel versetzen dem Seil Stösse, deren Kräfte längs der zunächst kleinsten Auslenkungen Arbeit und durch Änderung des Energiegehalts Gleichgewichtsstörungen des Leiters bedeuten. Bei Übereinstimmung der Wirbelfrequenz mit einer Eigenfrequenz des Leiters geht die im Schwingungsrhythmus übertragene Stossarbeit in Schwingungsenergie über, d.h. die insgesamt zugeführte Energie wechselt ständig zwischen kinetischer und potentieller Energie, wobei diese sich im wesentlichen durch aufgespeicherte elastische Deformationsarbeit infolge Änderung des Krümmungshalbmessers bzw. der mechanischen Spannungen äussert. Dämpfung dieser Schwingungen setzt eine möglichst rasche Überführung der am Vorgang beteiligten Energie in eine andere Form, am besten in Wärme voraus. Ohne besondere Veranlassung wirken die Luftreibung des schwingenden Seiles und halbplastische Verformungen der über die Elastizitätsgrenzen beanspruchten Seilbestandteile in dieser Richtung; dieser Vorgang führt bekanntlich zu den Ermüdungsbrüchen der Seiladern. Nicht die Schwingung als solche hat schädliche Folgen, sondern die Überschreitung der Elastizitätsgrenze, d. h. genauer der Spannungs- bzw. der Dehnungsgrenze, bei welcher der Spannungswechsel nicht mehr ohne Zeitaufschub vollelastisch von statten geht.

Man hat das höhere Eigengewicht der Schwermetalle dafür verantwortlich gemacht, dass die aus ihnen gefertigten Seile weniger zu Schwingungsbrüchen neigen, als Leichtmetalleiter. Zweifelsohne trifft dies auch zu, da ein bestimmtes Mass an kinetischer Energie wegen der beteiligten grösseren Masse im Schwingungsvorgang kleinere Geschwindigkeiten also auch kleinere Amplituden vorschreibt, als bei einem Seil aus Leichtmetall. Die kleinere Schwingungsweite setzt aber einen grösseren Elastizitätsmodul voraus, um die in Schwingung befindliche Energie in der Grenzlage potentiell über die mechanischen Spannungen aufzunehmen, eine Bedingung also, die bei den gebräuchlichen Schwermetallen erfüllt ist und seither unerkannt blieb. Grössere Schwingungsausschläge bedeuten bei gleichen Schwingungslängen grössere Seilkrümmungen und damit grössere Dehnungen der einzelnen Querschnittsschichten. Eine gegebene Energiemenge bedingt eine ganz bestimmte Verteilung der Zusatzwechselspannungen innerhalb der Querschnitte und damit eine um so kleinere Amplitude der Seilschwingung, je grösser der Elastizitätsmodul des Leiterbaustoffs ist, da die aufgespeicherte Spannungsenergie proportional dem Quadrat der Spannung mal elastischer Dehnzahl, also auch proportional dem Produkt aus Elastizitätsmodul und Quadrat der Dehnung ist. Bei vollem Querschnitt ist die Biegespannung linear abhängig von der Entfernung der jeweiligen Querschnittsschicht von der Nullinie; die inneren Querschnittsteile tragen daher verhältnismässig wenig zur Aufspeicherung der Spannungsenergie im Schwingungsvorgang bei. Hohlseile müssen infolgedessen unter sonst gleichen Voraussetzungen geringere Schwingungsausschläge, also auch kleinere Höchstwerte der Zusatzwechselspannungen aufweisen, als Vollseile, da sich durch die Form eine bessere Beteiligung aller Querschnittteile bei der Energiespeicherung einstellt; die Beobachtung an bestehenden Anlagen bestätigt diese Folgerung [3].

Im Sinne von Zweimetall-Verbundkonstruktionen lassen sich daher zum Schutze vor schädlichen Amplituden auf den Oberflächen der Leichtmetallseile Mantelschichten von Schwermetallen hoher Festigkeit und grossen Elastizitätsmoduls anbringen, die gleichzeitig als Trägerteile wirksam sein können. Die Vertauschung der Stellung des Aluminiums und Stahls als Mantel bzw. Kern beim Stahlaluminiumseil würde z. B. dieser vorgeschlagenen Anordnung entsprechen und den Aluminiumkern dann auch auf unschädliche Schwingungen beschränken. Die ferromagnetischen Eigenschaften des Stahls werden jedoch im allgemeinen diesen veränderten Seilaufbau nicht zulassen. Dagegen ist es denkbar, Aluminiumseile durch Kupfermäntel und Aldrey- bzw. Elektronseile durch Bronzemäntel zu schützen. Durch besondere ineinandergreifende Profilierung der Querschnittsteile des Schutzmantels liesse sich gleichzeitig für den Kern eine Vorkehrung gegen Korrosion erreichen.

Die bisher vorgeschlagenen besonderen Dämpfungseinrichtungen (Stockbridge, Schwinghebel, Stossgewichtsdämpfer) entziehen dem schwingenden Seil u. a. durch Herbeiführung mechanischer Stösse Energie, indem die durch die Schläge bedingten Deformationen u. a. Wärme erzeugen. Diese zur Dämpfung notwendige Überführung kinetischer Energie in Wärme lässt sich durch Wirbelstromdämpfer viel wirksamer erreichen, bei welchem etwa ein fest mit dem Seil verbundener Magnet durch die Schwingungen so in kurzgeschlossenen Windungen bewegt wird, dass in denselben Ströme mit Stromwärmeverlusten entstehen. Magnetsystem und Wicklungskörper wären hierbei so über eine elastische Federung aufeinander abzustimmen, dass die vorhandene Schwingungsenergie schnellstens in den angekoppelten Dämpfer übergeht.

Zusammenfassung

Eine Überlegung begründet die Erfahrungstatsache, dass die Schwingungsanfälligkeit der Seile mit der Länge der Spannfelder wächst. Zur Begrenzung der Schwingungshäufigkeit wird daher der Einbau fester Knoten innerhalb der Felder durch steife Beilagen oder angehängte Gewichte empfohlen, wobei möglichst ungleich lange Teilfeldlängen anzustreben sind. Ferner wird aus einer Betrachtung der Energievorgänge gefolgert, dass Schwermetallseile nicht nur wegen des höheren Eigenge-

wichts, sondern auch wegen des höheren Elastizitätsmoduls weniger zu Schwingungsbrüchen neigen als Leichtmetallseile, und dass Mehrmetall-Verbundkonstruktionen mit einem Mantel aus Schwermetall hoher Zugfestigkeit und grossen Elastizitätsmoduls einen Leichtmetallkern vor schädlichen Schwingungen und allfällig vor Korrosion schützen. Als zusätzliche Dämpfungseinrichtungen werden ausserdem, wegen deren rascheren Wirksamkeit, Wirbelstromdämpfer bei günstigster Ankopplung empfohlen.

Literatur

[1] *Karman Th. v.* und *H. Rubach:* Über den Mechanismus des Flüssigkeits- und Luftwiderstandes. Phys. Z. 1912. S. 49.

[2] *Kohler K.:* Das allgemeine Verbundseil für Freileitungen. Metallkunde, Bd. 42(1951), Heft 7.

[3] *Girkmann K.* und *E. Königshofer:* Die Hochspannungsfreileitungen. J. Springer Wien 1938. S. 470.

Adresse des Autors:

Dr. *K. Kohler,* Putlitzstrasse 8, Karlsruhe/Baden.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Personenwagen für die Indischen Staatsbahnen

625.23(54)

Im grossen Aufbauprogramm des selbständigen Indiens nimmt die Reorganisation der Bahnen einen hervorragenden Platz ein. Die Vertreter der «Indian Railways» bereisten den ganzen Kontinent und die USA, um die ihnen bestgeeignete Bahnwagenkonstruktion zu finden, und einigten sich zuletzt über die in der Schweiz gut bekannten «Leichtstahlwagen». Die Verhandlungen mit der Schweizerischen Wagons- und Aufzügefabrik A.-G., Schlieren, brachten dieser Firma eine Bestellung von 100 Personenwagen. Davon werden 50 Wagen ohne Innenausbau geliefert; diesen will die Indian Railways in den einzurichtenden eigenen Werkstätten anfertigen lassen. Obwohl die «Leichtstahl»-Bauweise bei uns schon eine gewisse Reife erfahren hat, weicht die Konstruktion der indischen Wagen von den schweizerischen in vielem stark ab. Andere Spurweite (1676 mm), Eigenheiten des Betriebes, besondere klimatische Verhältnisse, besondere Sitten und Gebräuche Indiens mussten weitgehend berücksichtigt werden.

Kürzlich ermöglichte die Wagonsfabrik den Vertretern der Presse die Besichtigung der ersten zwei Prototypen dieses neuen Rollmaterials.

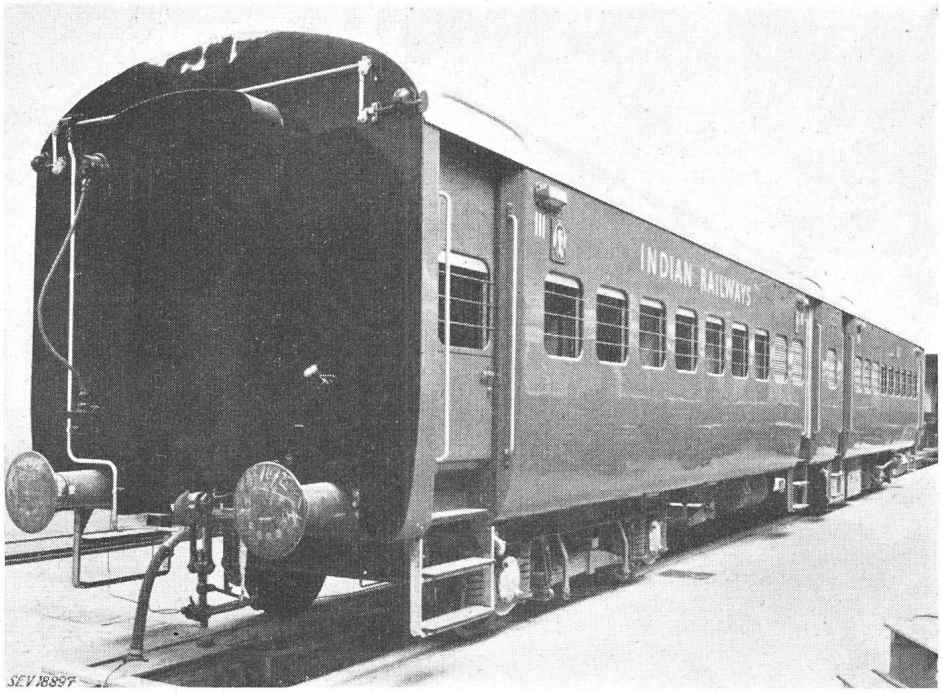

Fig. 1
Der neue 3.-Klasse-Wagen der Indian Railways
Im Vordergrund das Frauenabteil

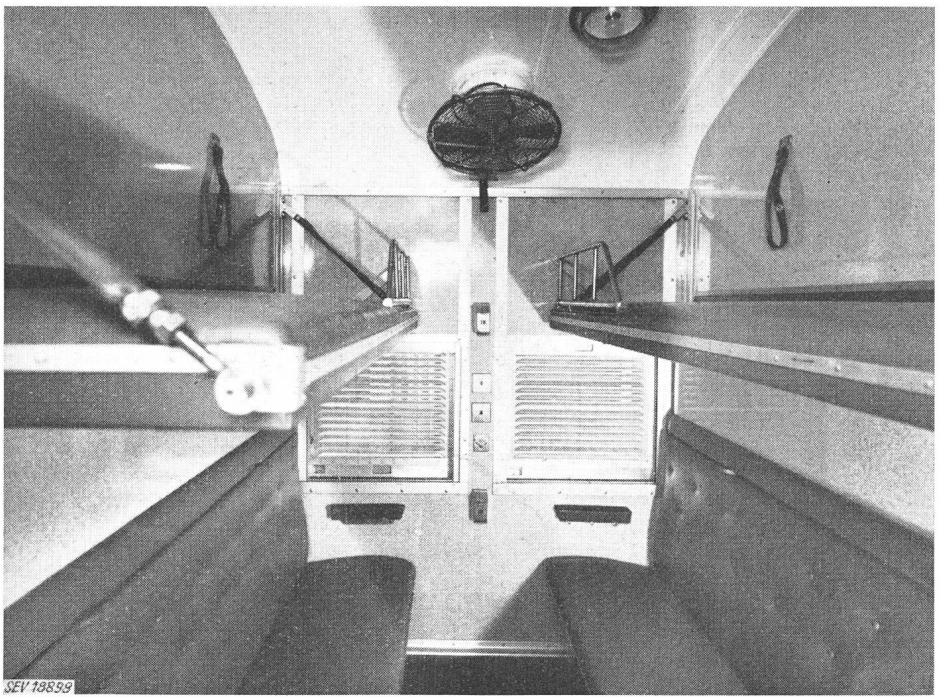

Fig. 2
Das Innere eines 2.-Klasse-Abteils mit abgeklappten Liegebänken