

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 35 (1944)
Heft: 7

Artikel: Ueber die Störungen des Rundspruchempfanges durch Trolleybusanlagen
Autor: Gerber, W. / Meyer de Stadelhofen, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061559>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.04.2025

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

BULLETIN

REDAKTION: Sekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins Zürich 8, Seefeldstrasse 301	ADMINISTRATION: Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telefon 5 17 42 Postcheck-Konto VIII 8481
Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet	
XXXV. Jahrgang	N ^o 7
Mittwoch, 5. April 1944	

Ueber die Störungen des Rundspruchempfanges durch Trolleybusanlagen

Von W. Gerber und J. Meyer de Stadelhofen, Bern

621.396.823

Die Trolleybusanlage wird vorerst hochfrequenzmässig analysiert. Dann werden ihre Störbeziehungen zu den benachbarten Empfangsanlagen und die mit den heutigen Mitteln in Frage kommenden Schutzmassnahmen behandelt.

L'installation de trolleybus est tout d'abord analysée du point de vue de la haute fréquence. Les auteurs examinent ensuite les relations perturbatrices avec les récepteurs du voisinage et indiquent quels sont les moyens de protection qui peuvent actuellement entrer en ligne de compte.

Mit der zunehmenden Verbreitung der Trolleybusanlagen kam allmählich das Bedürfnis nach einer grundsätzlichen Prüfung der Störschutzfrage. Die Telegraphen- und Telefonverwaltung hat daher einige statistische Untersuchungen auf Mittel- und Langwellen geführt, über deren Ergebnisse nun im folgenden zusammenfassend berichtet wird.

Darstellung der Trolleybusanlage als Hochfrequenzschaltung

Es handelt sich zunächst darum, zu zeigen, wie die massgebenden Störungsträger der Trolleybusanlage durch die verschiedenen hochfrequenten Urspannungen angeregt werden. Als Störungsträger kommen hierbei in Frage: das Fahrzeuggehäuse und das Fahrleitungssystem, und als Entstehungsorte der Urspannungen sind vorhanden, wenn man von den Speiseanlagen absieht: die Wanderkontakte der Stromabnehmer sowie Schalterkontakte und Kollektoren der elektrischen Wageninstallation. Das hochfrequente

ist, nicht aber bei älteren, wo z. B. grosse Widerstandskörper knapp über dem Erdboden offen installiert waren. Natürlich sind diese beiden Komponenten mehr oder weniger kohärent, wogegen

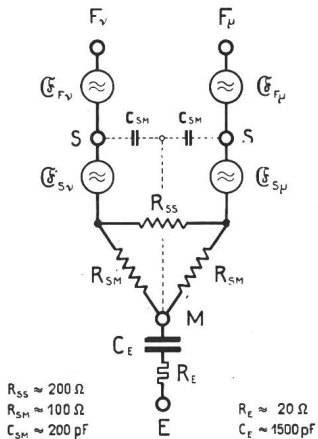


Fig. 1.
Ersatzschaltbild der Trolleybusse

$R_{SS} \approx 200 \Omega$
 $R_{SM} \approx 100 \Omega$
 $C_{SM} \approx 200 \text{ pF}$
 $R_E \approx 20 \Omega$
 $C_E \approx 1500 \text{ pF}$

\mathcal{E}_F \mathcal{E}_S sowie \mathcal{E}_{Fv} $\mathcal{E}_{F\mu}$ als inkohärent zu bezeichnen sind. In einem nächsten Schritt soll nun die Belastung dieses Störgenerators, d. h. die

Impedanz der Fahrleitung

betrachtet werden, und zwar ausgehend von den Teilwellenwiderständen der homogenen Leitung. Da die Phasengeschwindigkeiten annähernd Lichtgeschwindigkeit erreichen, kann für diese Teilwellenwiderstände

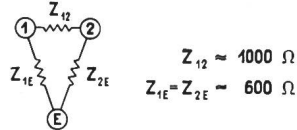
$$Z_T \approx \frac{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}{C_T}$$

gesetzt werden, wobei C_T die Teilkapazitätsbeläge der Fahrdrähte in Gegenwart der quasileitenden Erdoberfläche darstellt. Typische Anlagen, mit

- 6000 mm Fahrleitungshöhe,
- 12 mm Drahtdurchmesser,
- 600 mm Drahtabstand eines Paares,
- 3600 mm Abstand zweier Paarmitten

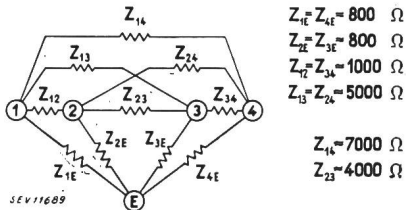
Ersatzschaltbild der Trolleybusse
 kann dann gemäss Fig. 1 als aktiver Sechspol aufgefasst werden, bestehend aus dem Erdpol E, der Wagenmasse M, den Stromabnehmerklemmen SS und den Kontaktstellen am Fahrdrahtpaar $F_v F_\mu$. Hierin sind R_{SS} und R_{SM} die Ersatzwiderstände der inneren Wageninstallation; C_E bedeutet die Erdkapazität des Fahrzeuges in Serie mit dem Erdwiderstand R_E , und mit C_{SM} sind noch die relativ grossen Dachkapazitäten der Stromabnehmer angedeutet. Weiter sind die Urspannungen \mathcal{E}_F der Stromabnehmer und \mathcal{E}_S der Wageninstallation da. Die Beschränkung auf zwei \mathcal{E}_S -Komponenten setzt dabei voraus, dass die innere Potentialverteilung nicht interessiert, was bei modernen Konstruktionen zutreffen dürfte, da die gesamte Installation durch das Wagengehäuse einigermassen abgeschirmt

ergeben dann die zur Fig. 2 mitgeteilten Werte. Die Fahrzeugbelastung würde also bei zwei parallel geschalteten Drahtrichtungen symmetrisch 275 Ω und asymmetrisch 159 Ω betragen; und wie der Widerstandsansatz implizite besagt, wären diese Werte von der Spurzahl unabhängig. Demgegenüber zeigt Fig. 3 das Verhalten der wirklichen,



$Z_{12} \approx 1000 \Omega$
 $Z_{1E} = Z_{2E} = 600 \Omega$

Fig. 2. Teilwellenwiderstände einer zwei-drahtigen und einer vierdrahtigen Fahrleitung



$Z_{1E}Z_{4E} = 800 \Omega$
 $Z_{2E}Z_{3E} = 800 \Omega$
 $Z_{1E}Z_{3E} = 1000 \Omega$
 $Z_{1E}Z_{4E} = 5000 \Omega$
 $Z_{1E} = 7000 \Omega$
 $Z_{2E} = 4000 \Omega$

inhomogenen Fahrleitung, und damit die Tatsache, wonach die gemessenen Zentralwerte der Betriebswiderstände von den Halbwerten der errechneten Wellenwiderstände nicht wesentlich verschieden sind — ein Resultat, welches prinzipiell auch schon für Strassenbahnfahrleitungen gefunden wurde¹⁾.

Im weiteren Sinne ist die Fahrdrahtimpedanz natürlich auch durch die auf der Strecke befindlichen Fahrzeuge beeinflusst, worauf gegebenenfalls Bedacht zu nehmen ist.

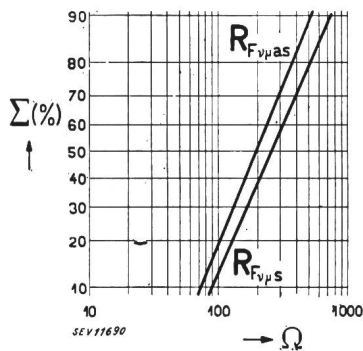


Fig. 3. Summen-Häufigkeit der symmetrischen und asymmetrischen Widerstandswerte des Fahrdrahtpaares $F_\nu F_\mu$

Anregung der Störungsträger

Nun können die elektrischen Störpotentiale ermittelt werden, welche die Wagenmasse M und das Fahrdrahtpaar $F_\nu F_\mu$ am Anregungsort gegen Erde führen. Dazu seien die vier Urspannungen des unbeschalteten Fahrzeuges in eine symmetrische Komponente $\mathcal{E}_{\nu\mu s}$ und eine asymmetrische Komponente $\mathcal{E}_{\nu\mu as}$ zusammengefasst, mit den Beziehungen

$$U_{F\nu\mu s} = \frac{\mathcal{E}_{\nu\mu s}}{1 + 2 \frac{R_{SS} R_{SM} (Z_{\nu\mu} + 2 Z_{\nu E})}{Z_{\nu\mu} Z_{\nu E} (R_{SS} + 2 R_{SM})}}$$

$$U_{F\nu\mu as} = \frac{Z_{\nu E}}{Z_{\nu E} + 2 R_{SM} + 4 \left(R_E + \frac{1}{j\omega C_E} \right)} \mathcal{E}_{\nu\mu as}$$

¹⁾ W. Gerber und H. Kölliker. Messungen der hochfrequenten Fahrdrahtimpedanz von Strassenbahnen. Bull. SEV 1937, Nr. 25, S. 655.

und

$$U_M = \frac{\mathcal{E}_{\nu\mu as}}{1 + \frac{1}{4} \frac{Z_{\nu E} + 2 R_{SM}}{R_E + \frac{1}{j\omega C_E}}}$$

mit $Z_{\nu\mu}$ und $Z_{\nu E}$ als Teilwellenwiderstände zwischen F_ν , F_μ und Erde. Mit dem Ansatz

$$E_{\nu\mu s} \approx 2 E_{\nu\mu as} \approx \frac{\text{konst.}}{\omega}$$

folgen hieraus für die typische Trolleybusanlage die in Fig. 4 gezeigten Kurven, die den beobachteten Tatsachen schon recht nahe kommen.

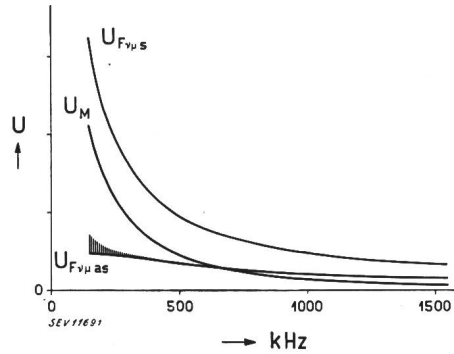


Fig. 4. Störkennlinien der Trolleybusanlage

Eine weitere Annäherung bringen die der Erdunsymmetrie des Fahrdrahtpaares $F_\nu F_\mu$ zugeordneten Spannungskomponenten zweiter Ordnung. Diese mit U^* bezeichneten Komponenten entstehen im vorliegenden Fall nach dem Schema

$$\begin{matrix} U_{F\nu\mu s} & | & U_{F\nu\mu as} \\ \downarrow & & \downarrow \\ U_{F\nu\mu s}^* & | & U_{F\nu\mu as}^* \end{matrix}$$

Definiert man die Leitungsunsymmetrie

$$u_{F\nu\mu} = \frac{|\Re_{\nu E} - \Re_{\mu E}|}{\frac{\Re_{\nu E} + \Re_{\mu E}}{2}}$$

mit $\Re_{\nu E}$ bzw. $\Re_{\mu E}$ als Teilwiderstände zwischen F_ν , bzw. F_μ und Erde, so gelten hierbei, mit dem aus Fig. 5 entnommenen Zentralwert, die Beziehungen

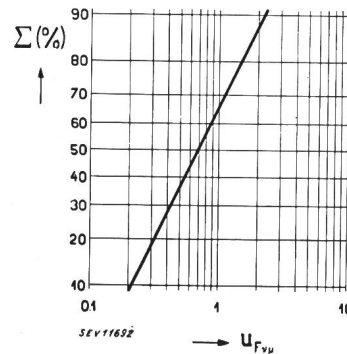


Fig. 5. Summen-Häufigkeit der Unsymmetriewerte des Fahrdrahtpaares $F_\nu F_\mu$

$$|U_{F\nu\mu s}^*| \approx |u_{F\nu\mu} U_{F\nu\mu s}| = \left| \frac{2}{3} U_{F\nu\mu as} \right|$$

$$|U_M^*| \approx |U_{F\nu\mu as}^*| \approx \left| \frac{u_{F\nu\mu}}{4} U_{F\nu\mu s} \right| = \left| \frac{1}{6} U_{F\nu\mu s} \right|$$

wobei das \approx Zeichen den Langwellen und das $<$ Zeichen den Mittelwellen zukommt, und es folgt daraus die in Fig. 4 schraffiert aufgetragene statistische Korrektur.

Im Fall der homogenen vierdräftigen Fahrleitung würde dann das benachbarte Drahtpaar einfach das örtliche Feldpotential des angeregten Paares annehmen, d. h. es würde die Querspannung zwischen den beiden Drahtpaaren, verglichen mit der Längsspannung der beiden Paare

$$\frac{U_{F_{12,34^s}}}{U_{F_{12,34^{as}}}} \approx 1,2$$

Vom Anregungsort ausgehend interessieren jetzt noch einige Angaben über die leitungsgerechte Ausbreitung der Störwellen, d. h. über die

Dämpfung der Fahrleitung

Diese beträgt für nicht allzu grosse Entfernungen vom Anregungsort und unter üblichen Anregungsbedingungen für die asymmetrische Störkomponente durchschnittlich 2...5 db/km auf Langwellen und 6...15 db/km auf Mittelwellen. Und endlich interessiert noch — z. B. zur Berechnung der Spannungsüberhöhung zwischen zwei niederohmig beschalteten Fahrzeugen — die Dämpfung der symmetrischen Welle auf dem homogenen Drahtpaar $F_{\nu} F_{\mu}$

$$\beta \approx 0,1 \sqrt{f_{[MHz]}} \text{ [db/km]}$$

Störbeziehungen

Es soll nunmehr die Beeinflussung der kritisch gelegenen Empfangsanlagen, das sind diejenigen der Fahrbahnanswohner, näher betrachtet werden. Verglichen mit der Wellenlänge ist da der massgebende Abstand zwischen den interferierenden Anlagen klein, und da vorwiegend relativ kurze offene Antennen verwendet werden, ist in erster Linie das elektrische

Nahfeld der Störungsträger

von Bedeutung. Dieses sei gekennzeichnet durch das Störpotential φ im Punkt P , mit den Abständen r bzw. r' vom Störungsträger bzw. dessen Erdspiegelbild. Für die typische zweidrähtige Fahrleitung wird dann

$$\varphi_{Ps} = 0,11 \ln \frac{r'_1 r_2}{r_1 r'_2} \cdot U_{F_{12^s}}$$

$$\varphi_{Pas} = 0,09 \ln \frac{r'_1 r'_2}{r_1 r_2} \cdot U_{F_{12^{as}}}$$

Und da nach statistischen Messungen an unbeschalteten Anlagen

$$\frac{U_{F_{12^s}}}{U_{F_{12^{as}}}} = \begin{cases} 3,3 \text{ für } 150 \text{ kHz} \\ 2,0 \text{ für } 1500 \text{ kHz} \end{cases}$$

so folgt aus Fig. 6, dass lediglich φ_{Pas} interessiert. Analog wird für die typische vierdräftige Fahrleitung

$$\varphi_{Pas} \approx 0,06 \ln \frac{r'_1 r'_2 r_3 r_4}{r_1 r_2 r_3 r_4} \cdot U_{F_{12,34^{as}}}$$

$$\varphi_{Pas} \approx 0,08 \ln \frac{r'_1 r'_2 r'_3 r'_4}{r_1 r_2 r_3 r_4} \cdot U_{F_{12,34^{as}}}$$

Hier ist im Anwohnerbereich

$$\frac{\varphi_{Pas}}{U_{F_{12,34^{as}}}} \bigg/ \frac{\varphi_{Ps}}{U_{F_{12,34^s}}} \approx 10$$

und da nach statistischen Messungen

$$\frac{U_{F_{12,34^s}}}{U_{F_{12,34^{as}}}} = \begin{cases} 1,5 \text{ für } 150 \text{ kHz} \\ 1,4 \text{ für } 1500 \text{ kHz} \end{cases}$$

so ist also wiederum die asymmetrische Komponente massgebend, die von nun an kurz mit U_F bezeichnet sei.

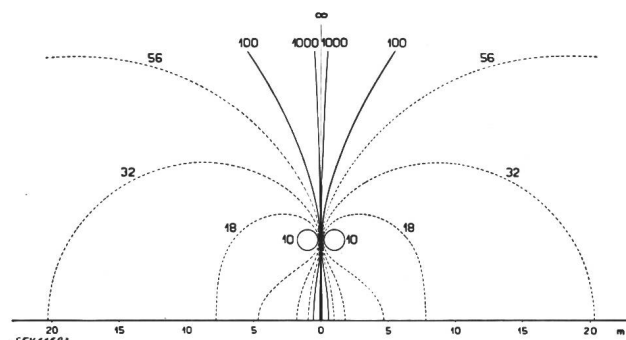


Fig. 6. Verhältnis der relativen Potentialbeiträge in der Nahzone der zweidrähtigen Fahrleitung

$$\frac{\varphi_{Pas}}{U_{F_{12^{as}}}} \bigg/ \frac{\varphi_{Ps}}{U_{F_{12^s}}}$$

Sie bildet daher auch die Grundlage der messtechnischen Beurteilung des Störvermögens, wozu eine Anordnung nach Fig. 7 verwendet wird. Damit wird U_F über Schutzkondensatoren abgetastet

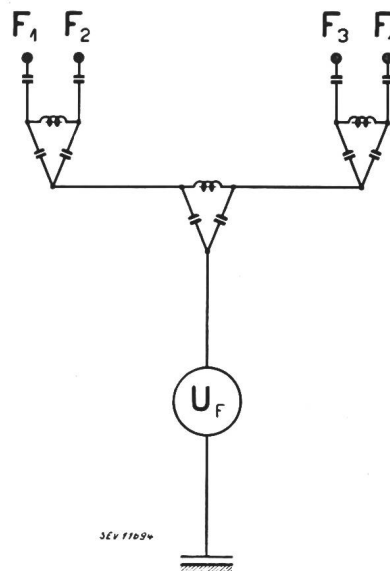


Fig. 7. Messung der mittleren Erdspannung der vierdräftigen Fahrleitung

und dann über drei Resonanzkreise, mit relativ gross gewählter Kapazität, einem hochohmigen CISPR-Störspannungsmesser zugeführt. Als «Erde» genügt hierbei das Fahrgestell des Messautos.

Wesentlich komplizierter werden die Funktionen, sobald noch das Fahrzeug als Störungsträger anwesend ist. Die räumliche Verteilung des Störpotentials wurde deshalb durch Messungen am

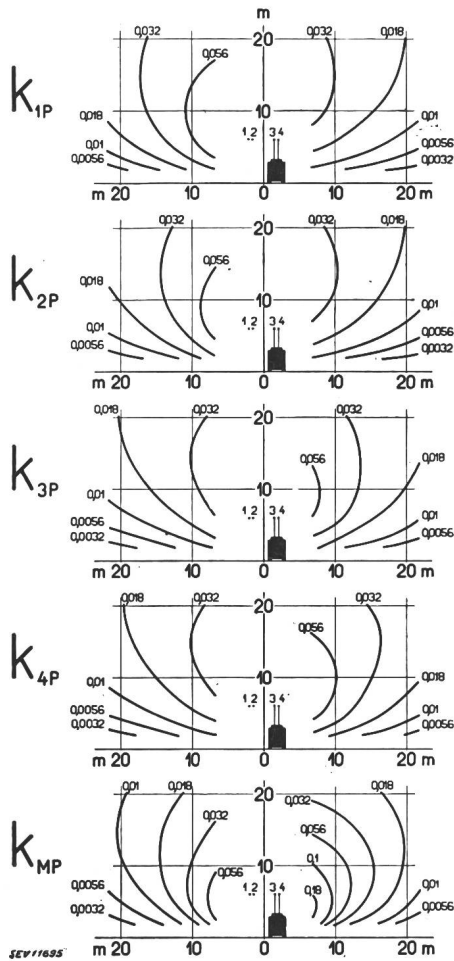


Fig. 8.

Potentialbeiträge in der Querschnittsebene durch eine zweispurige Anlage mit Fahrzeug

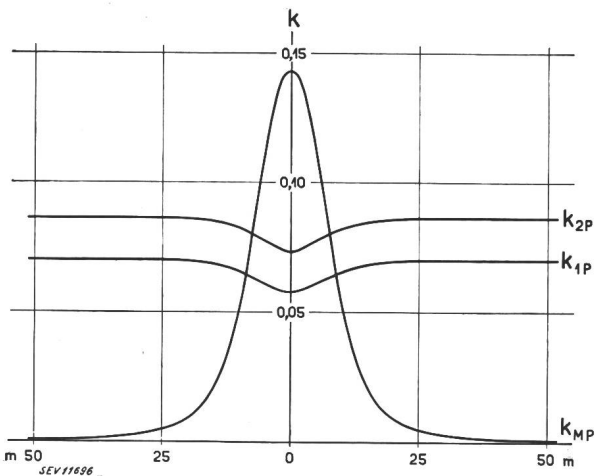


Fig. 9.

Potentialbeiträge in einem Fixpunkt P auf Fahrdrathhöhe bei ca. 6 m Abstand, in Funktion des Fahrzeugstandortes auf einer einspurigen Anlage

Modell bestimmt. Davon zeigen Fig. 8 und 9 einige Ergebnisse in parametrischer Darstellung. Der Parameter k ist dabei definiert als

$$\varphi_P(k_{1P} U_{F1}, k_{2P} U_{F2}, \dots k_{MP} U_M)$$

so dass also für quasikohärente Potentialbeiträge der einzelnen Störungsträger

$$\varphi_P = k_{1P} U_{F1} + k_{2P} U_{F2} + \dots k_{MP} U_M$$

Störanfälligkeit der Empfangsanlagen

Nun kommen noch die Gegebenheiten der Empfangsseite hinzu. Die Beziehungen zu der meist interessierenden Trolleybusgrösse U_F folgen da direkt aus früheren Messungen an Trambahnen²⁾, wenn man berücksichtigt, dass die Beiträge der Trolleybusfahrdrähte wegen der paarigen Anordnung um ca. 40% höher liegen. Dabei wählt man — wie das heute so üblich ist — das kritische Verhältnis von Störspannung zu Nutzspannung am Empfänger zu 1% und bekommt so schliesslich die in Fig. 10

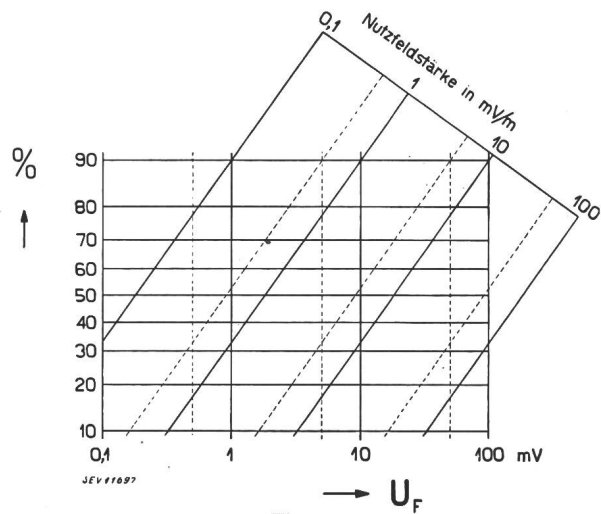


Fig. 10.

Prozentsatz der unzulässig gestörten Anwohneranlagen

gezeigten Beziehungen. Eine Fahrdrathspannung von beispielsweise 10 mV würde also den Empfang der grundsätzlich geschützten Mindestfeldstärke von 1 mV/m bei 90% aller Anwohneranlagen unzulässig stören. In Wirklichkeit liegen die

Störwerte unbeschalteter Trolleybusanlagen

etwas höher. Man kann jedoch sagen, sie sind durchschnittlich auf die 10-mV-Grössenordnung begrenzt, sofern Stromabnehmer mit Kohleschleifstücken verwendet werden. Die Kontaktgebung am Fahrdrath und die Wageninstallation sind dann ungefähr gleich störend, wobei streckenweise die eine oder andere Komponente in den Vordergrund treten kann.

Schutzmassnahmen

Es ist heute bald eine Erfahrungstatsache, dass überall da, wo hochfrequente Abfallenergien auftreten, ein technisch unvollkommener Zustand vorliegt. Die planmässige Störbekämpfung erstrebt daher, als erstes und vornehmstes Ziel ihrer Aufgabe, die

²⁾ W. Gerber und H. Kölliker. Störanfälligkeit der Rundspruch-Empfangsanlagen im Nahbereich von Trambahnen. Bull. SEV 1938, Nr. 17, S. 454.

Reduktion der hochfrequenten Urspannungen

In diesem Sinne bedeutet das vor einigen Jahren als Wanderkontakt der Stromabnehmer eingeführte Kohleschleifstück einen grundlegenden Fortschritt. Damit wird nämlich ein nahezu idealer Kontakt erreicht, wenn man im wesentlichen dafür sorgt, dass die Schwankungen des Kontaktdruckes vernachlässigbar klein bleiben. Die Fahrleitung soll also möglichst frei von Schlagstellen, d. h. durchgehend homogen, und vollelastisch aufgebaut werden. Besonders schlimm sind die zwischen Gleitschuh und Fahrdrabt hauptsächlich als Folge von Fahrdrabt-vibrationen auftretenden Flatterkontakte. Zudem dürfte der Stromabnehmerkopf noch etwas schneller werden, wobei der Dämpfung im Hinblick auf die einer Gleitfrequenz entsprechenden Stossfolgen der Flatterkontakte besondere Beachtung zukommt. Dafür sprechen übrigens auch die zahlreichen Rissbildungen, die an den Kohleschleifstücken im Betrieb auftreten. Wie die Verhältnisse bei den heutigen Stromabnehmern etwa liegen, zeigt Fig. 11. Es ist darin der in bezug auf Abheben kritische Vertikalhub aufgetragen, gemessen bei zeitlich sinusförmiger Anregung des Stromabnehmerkopfes. Neben dem allgemeinen Beschleunigungsvermögen kommen so die einzelnen Resonanzlagen deutlich zum Ausdruck, wobei die Minima mit den geraden und die Maxima mit den ungera-

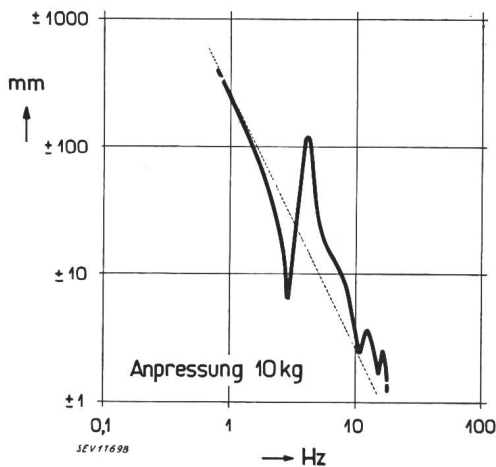


Fig. 11. Frequenzgang eines üblichen Stromabnehmers

den Viertelwellenzahlen korrespondieren. Damit vergleicht die gestrichelte Linie das Verhalten des starren Stromabnehmers gleicher Massenverteilung, dessen kritischer Vertikalhub

$$\pm \frac{F \cos^2 \alpha}{M_{red} \omega^2}$$

mit

- F mittlerer statischer Anpressungsdruck,
- α Elevationswinkel des Stromabnehmers,
- M_{red} reduzierte Masse, bezogen auf den Stromabnehmerkopf,
- ω Kreisfrequenz der sinusförmigen Anregung.

Nach dem Gesagten besteht also heute das Ziel, den Frequenzgang, besonders im Bereich höherer Frequenzen, noch etwas anzuheben und auszugleichen. Der Stromabnehmer würde dann im Prinzip

eine Aehnlichkeit mit dem für Schallplatten verwendeten Tonabnehmer erhalten, welcher bekanntlich in ein relativ schnelles Aufnahmeorgan und in ein langsames Organ zur Ausführung der grossen Bewegungen gegliedert ist. Eine Versuchsausführung der A.-G. Brown, Boveri & Cie. zeigt Fig. 12. Natürlich wird der Stromabnehmer in Wirk-

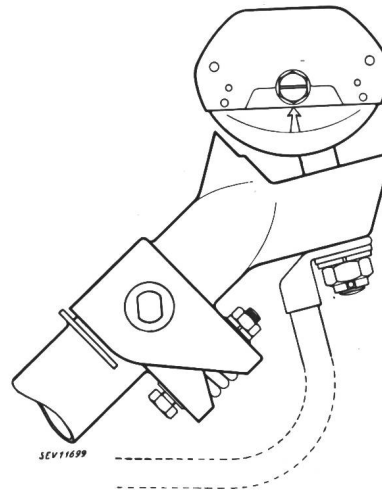


Fig. 12. Federnder Gleitschuhträger

lichkeit nicht nur von der Fahrdrabtseite aus ange-regt. Beinahe ebenso wichtig ist die vom Fahrzeug ausgehende Basisanregung und somit auch der Fahr-bahnzustand. Man wird da, neben möglichst guten Fahreigenschaften, vor allem auf die gegenseitigen Beziehungen zwischen den Fahrzeug- und Strom-abnehmerresonanzen achten müssen.

Zu diesen vorwiegend dynamischen Problemen, von denen man sagen darf, dass sie für die Kon-taktgebung von ausschlaggebender Bedeutung sind, gesellen sich noch einige andere Gesichtspunkte. So sollte die einmal erreichte Fahrdrabtpolitur vor Frostschäden einigermaßen geschützt werden. Seitliche metallische Berührungen zwischen Gleitschuh und Fahrdrabt, die gelegentlich in Kurven beobachtet werden, sind unerwünscht. Ferner sollte min-destens im Bereich der einzelnen Trolleybusan-lagen ein einheitliches Kontaktprofil durchgehend respektiert werden. Vermehrte Aufmerksamkeit ge-bührt auch der Kohlenhalterung im Gleitschuh, und nicht zuletzt bedarf das dortige Lager inklusi-ve dem Kontaktdocht einiger Wartung, damit es nicht nennenswert stört.

Das wären also Mittel und Wege, um die Ueber-spannungen \mathcal{E}_F auf ein erträgliches Mass zu redu-zieren. Wie bereits angedeutet, sind daran der Trol-leybusbetrieb und die Störbekämpfung gleicher-massen interessiert. Dazu kommt nun aber noch die Tatsache, dass es heute mit rein hochfrequenten Schutzmitteln praktisch unmöglich ist, den Urspannungen \mathcal{E}_F durchgehend auf Mittel- und Langwellen wirksam zu begegnen. Eine konsequente Beschaltung der Fahrleitung dürfte doch kaum in Frage kommen, und was die Erhöhung des Fahr-zeugwiderstandes in bezug auf die Fahrleitung an-belngt, so sind ihr praktisch ziemlich enge Gren-zen gezogen, wenn man von den rein selektiven Schutzmitteln absieht.

Anders liegen die Verhältnisse bei den der Wageninstallation zugeordneten Störkomponenten. Obschon auch hier im Lauf der Jahre gewisse Fortschritte erreicht worden sind — so z. B. im Aufbau der Schalter —, sind die praktischen Möglichkeiten zur weiteren Herabsetzung dieser Urspannungen beim heutigen Stand der Technik ungenügend. Dagegen ist eine wirksame

Beschaltung der Fahrzeuge

grundsätzlich möglich. Sie begrenzt die von der Wageninstallation erzeugten HF-Schwingungen auf das Wageninnere und beruhigt so die eigentlichen Störungsträger. Mit Rücksicht auf restliche \mathcal{G}_F -Komponenten soll sie gleichzeitig aber auch die Fahrzeugimpedanzen in bezug auf die Fahrleitung möglichst erhöhen und symmetrieren. Ferner sind mit der Beschaltung des Fahrzeuges noch zu beachten: Sicherheit, Gleichstromverluste, Gewicht, Installationsmöglichkeiten und Kostenaufwand.

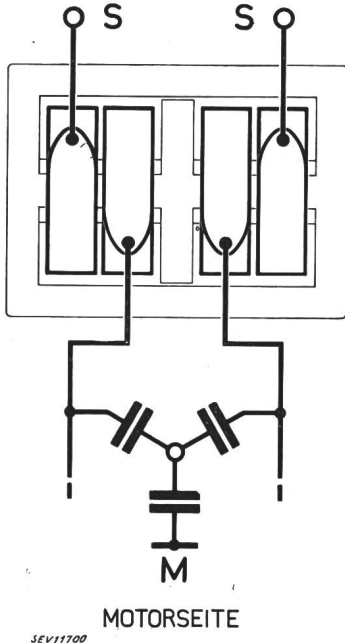


Fig. 13.
Stör Schutzfilter

Auf Grund solcher Gesichtspunkte ist in Zusammenarbeit mit der A.-G. Brown, Boveri & Cie. ein Filter nach Fig. 13 entstanden. Es wird auf dem Wagendach am Fusspunkt der Stromabnehmer zwischengeschaltet und es ist folgendermassen ausgeführt: 4 Aluminium-Bandspiralen von insgesamt $2 \cdot 0,0025 \Omega$ Gleichstromwiderstand bilden zusammen eine Doppeldrosselspule in Längsschaltung — die magnetischen Gleichstromflüsse sind also in der gemeinsamen Spulenachse gegensinnig geschaltet. Mit diesen Wicklungen wird ein Eisen-Blechkörper verwendet, dem zunächst die Aufgabe zukommt, den asymmetrischen Wirkwiderstand der Drosselspule möglichst anzuheben. Wegen der in Serie liegenden Erdkapazität des Fahrzeuges muss nämlich in erster Linie die Wirkkomponente hochgezüchtet werden. Zudem soll die Doppeldrosselspule im Langwellenbereich, mit Rücksicht auf die Erdunsymmetrie der Fahrleitung, einen möglichst

hohen Querwiderstand aufweisen. Dazu dient ein magnetischer Shunt mit einem Luftspalt in Serie, wobei der Luftspalt so dimensioniert ist, dass die Gleichstromvormagnetisierung im Bereich der kritischen Kontaktstromstärken — d. h. bis etwa 50 A — keine nennenswerten Sättigungserscheinungen hervorbringt. Während so das Drosselspulenpaar hauptsächlich dazu da ist, die Fahrzeugimpedanz

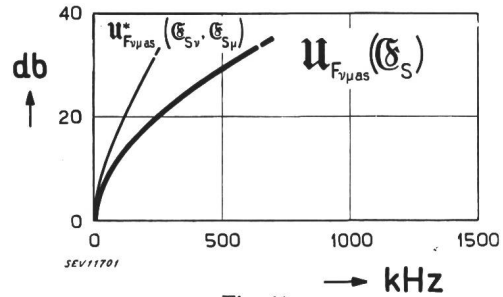


Fig. 14.
Einfügungsverlust des Filters

in bezug auf die Fahrleitung möglichst hoch zu halten, soll andererseits das selbstinduktionsarm gebaute Kondensatorglied einen HF-Kurzschluss zwischen den Wagenklemmen und dem Wagengehäuse schaffen. Hierbei ist zu beachten, dass die Berührungskapazität des Fahrzeuges, die im unbeschalteten Zustand etwa $0,04 \mu F$ erreicht, nicht unbegrenzt erhöht werden kann. Ebenso wenig darf ein allfälliger Kondensatordefekt das Fahrzeuggehäuse unter Spannung setzen. Von solchen Erwägungen ausgehend und gestützt auf bereits vorliegende Erfahrungen, hat deshalb die Bahngruppe der Radiostör schutzkommission des SEV und VSE letzthin

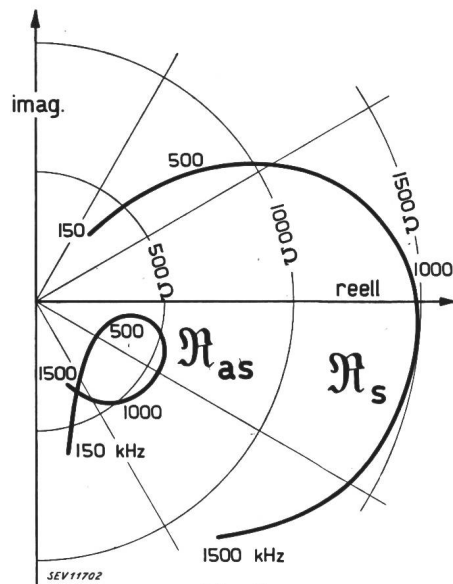


Fig. 15.
Widerstand des beschalteten Fahrzeuges, von der Fahrleitung aus gesehen

die folgende Regelung empfohlen: Das Kondensatorglied soll aus 3 getrennten Einzelwickeln zu je $0,2 \mu F$ in Sternschaltung aufgebaut werden, wobei der Sternpunkt als Prüfklemme dient; zudem wird verlangt, dass die Kondensatorelemente schüttelfest

und feuchtigkeitsdicht sind, und einer Gleichstrom-Prüfspannung von 7 kV während 1 min genügen³⁾. Andererseits ist anzunehmen, dass das Filter die Fahrzeuginstallation gegenüber Wanderwellen schützen kann.

Die mit dem beschriebenen Filter erzielten Ergebnisse sind aus Fig. 14 und 15 ersichtlich; sein Gesamtgewicht beträgt ca. 20 kg. Würde unter ungünstigen Umständen, z. B. in den eigentlichen Gebirgszonen, ein noch weitergehender Schutz er-

³⁾ Vgl. auch: British Standard Specification for radio-interference suppression for trolley-buses and tramways. Nr. 827, 1939.

wünscht, so ist es dann zweckmässig, die Schutzwirkung auf einen bestimmten Sender zu konzentrieren. Hierzu wird die Doppeldrosselspule durch zwei einzelne Luftdrosselspulen ersetzt, die mitsamt dem Stromabnehmerpaar längs und quer auf den bevorzugten Sender abgestimmt werden. Zudem bestehen nach wie vor und ganz allgemein die bekannten empfangsseitigen Schutzmöglichkeiten.

Zum Schluss möchten die Verfasser noch besonders der *Trolleybusbetriebe* in *Bern*, *Winterthur* und *Zürich* gedenken, deren zukünftige Mitarbeit an den vorliegenden Ergebnissen wesentlich beteiligt ist.

Eine neue automatische Parallelschalteneinrichtung: Der Ultrarapid-Synchronisator

Von A. Gantenbein und J. Jäckle, Zürich-Oerlikon

621.316.729

Die Autoren untersuchen, welchen Bedingungen ein rasches Parallelschalten von zwei Netzen unterworfen ist, und zeigen, dass es gelingt, mit einer relativ grossen Frequenzdifferenz zu schalten. Dies ist nur möglich, wenn der Einschaltbefehl früh genug und mit einer solchen Präzision gegeben wird, dass die Schaltung innert der sehr kurzen Zeit der Phasenübereinstimmung erfolgt. Es wird dann die von den Autoren neu entwickelte automatische Parallelschalteneinrichtung beschrieben, die durch Einfachheit und weitgehende Anpassung an die Forderungen des Betriebes gekennzeichnet ist. Oszillogramme, die bei verschiedenen Betriebsbedingungen aufgenommen wurden, zeugen von der ausserordentlichen Genauigkeit dieser Apparatur.

Les auteurs étudient d'abord les conditions qu'impliquent la synchronisation et la mise en parallèle rapides de deux réseaux, et concluent qu'il est possible d'effectuer le couplage avec une différence de fréquence relativement grande, à condition que l'ordre d'enclenchement soit donné avec une avance et une précision telles, que la fermeture du disjoncteur s'effectue exactement dans le très court instant de la concordance des phases. Les auteurs décrivent ensuite le nouvel appareil automatique qu'ils ont créé, et dont la simplicité et les possibilités d'adaptation aux exigences de l'exploitation sont remarquables. Les oscillogrammes relevés dans des conditions les plus variables témoignent de l'extrême précision de ce dispositif.

I. Allgemeines

Das Bestreben eines jeden Betriebsleiters geht wohl dahin, Fehlbedienungen oder Fehlschaltungen in elektrischen Anlagen nach Möglichkeit auszuschalten. Er ist daher besonders darauf bedacht, Schalthandlungen, bei denen Fehler eine besondere Gefahr bedeuten, so zu verriegeln und so zu überwachen oder sie automatisch, zwangsläufig so vornehmen zu lassen, dass die Möglichkeit einer Fehlbedienung vermieden wird. Nun ist gerade das Parallelschalten ein Vorgang, der bei groben Fehlschaltungen zu recht ernsten Folgen führen kann und die Maschine wesentlich stärker gefährdet als sogar ein direkter Kurzschluss an den Generatorklemmen. Auch für den Kupplungsschalter können unzulässige Beanspruchungen entstehen.

Die Beobachtungen in den Betrieben zeigen, dass die meisten Parallelschaltungen vom Schaltwärter von Hand ausgeführt werden. Allgemein herrscht die Meinung vor, dass der geübte Schaltwärter die Parallelschaltung rascher und besser macht als eine automatische Parallelschalteneinrichtung. Auch lässt eine solche bei Störung eine rasche Schaltung gar nicht in der nötig kurzen Zeit zu. Es muss also den alten selbsttätigen Einrichtungen ein prinzipieller Fehler anhaften, der bei Parallelschaltung von Hand vom Schaltwärter vermieden werden kann. Wohl ist bekannt, dass der Einschaltbefehl um die Eigenzeit des Schalters vor der Phasenübereinstimmung der Spannungsvektoren gegeben werden muss, um ein Schliessen der Kontakte

des Kupplungsschalters bei Phasenübereinstimmung zu erhalten. Diese Vorgabe ist aber je nach der Frequenzdifferenz der beiden Netze oder Maschinen, als Winkel zwischen den beiden Spannungsvektoren ausgedrückt, verschieden gross. Der geübte Schaltwärter hat nun je nach der Drehgeschwindigkeit des Synchronoskopes diesen Vorgabewinkel vergrössert oder verkleinert und daher gegenüber den bisher gebräuchlichen Parallelschalteneinrichtungen oft rascher mit Erfolg parallelgeschaltet.

Das Wesentliche bei dem neu entwickelten Parallelschaltapparat besteht nun gerade darin, dass dieser Vorgabewinkel durch eine einfache, robuste Einrichtung entsprechend der Frequenzdifferenz und der Eigenzeit des Schalters streng richtig erfasst und der Schaltbefehl so gegeben wird, dass die Schliessung der Kontakte stets bei Phasenübereinstimmung erfolgt. Es werden dadurch Parallelschaltungen bei Frequenzdifferenzen möglich, die selbst der geübteste Schaltwärter für ausgeschlossen hält. Für das Zuschalten von Maschinen sind Schaltungen mit einer Frequenzdifferenz bis 2%, d. h. mit Schwebungsdauern bis 1 Sekunde noch ohne weiteres zulässig. Man kann sich am besten ein Bild über die Grösse einer Frequenzdifferenz von 2% machen, wenn man bedenkt, dass der Zeiger des Synchronoskopes dann eine Umdrehung in 1 Sekunde ausführt. Bei Störungen, d. h. dann, wenn ein Zeitverlust auf alle Fälle vermieden werden soll, kommt der grosse Wert der neuen Paral-