

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 50 (1972)

Heft: 1

Artikel: Geräuschbeeinflussung durch Lokomotiven mit Phasenanschnittsteuerung = Perturbations dues aux locomotives à redresseurs à thyristors à réglage par déplacement du point d'amorçage

Autor: Meister, Hans

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-874640>

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: 29.03.2025

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

Zusammenfassung. *Moderne Triebfahrzeuge von Wechselstrombahnen werden mit Gleichstrommotoren ausgerüstet, die über einen Gleichrichter mit Phasenanschnittsteuerung gespeist werden. Die entstehenden Oberwellen können den Betrieb benachbarter Fernmeldeanlagen stören. In der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, wie die Störungen entstehen, welche Auswirkungen auf die Fernmeldeanlagen zu erwarten sind und mit welchen Massnahmen sie verringert werden können.*

Résumé. *Les locomotives modernes des chemins de fer à courant alternatif sont équipées de moteurs à courant continu qui sont alimentés par l'entremise d'un redresseur à thyristors à réglage par déplacement du point d'amorçage. Les harmoniques engendrés peuvent perturber le service d'installations de télécommunication voisines. Le présent article montre comment les perturbations se produisent, quels effets sur les installations de télécommunication il y a lieu d'attendre et par quelles mesures ils peuvent être réduits.*

Influenze perturbatrici causate da locomotive regolate con tiristori

Riassunto. *I moderni locomotori di ferrovie a corrente alternata vengono equipaggiati con motori a corrente continua, alimentati per il tramite di tiristori. Le armoniche che ne derivano causano perturbazioni negli impianti di telecomunicazione limitrofi. Il presente lavoro spiega come queste perturbazioni vengono create, quale è l'influenza che ci si può attendere sugli impianti di telecomunicazione e con che provvedimenti questa influenza può essere ridotta.*

1. Einführung

Die Entwicklung der Halbleitertechnik ermöglicht, die Leistungssteuerung von Triebfahrzeugen nicht mehr durch Abgriffe an der Sekundärwicklung des Transformators vorzunehmen, sondern durch Zünden von Thyristoren bei einem bestimmten Phasenwinkel während jeder Halbperiode. Die Vorteile liegen in der stufenlosen Leistungssteuerung, in der Möglichkeit, die Leistung auf die beiden Drehgestelle entsprechend deren Belastung zu verteilen, und vor allem in den vorteilhaften Adhäsionsverhältnissen. Diese sind vorwiegend eine Folge der günstigen Drehzahl/Drehmomentcharakteristik des Gleichstrommotors (keine induktiven Spannungsabfälle), die noch durch die kleine Streuinduktivität des einfach aufgebauten Transformators unterstützt wird. Mit einer zweckmässig konstruierten Thyristorlokomotive erreicht man eine mindestens 30% höhere Anfahrzugkraft als mit einer Direktmotorlokomotive von gleichem Gewicht. Weitere Einsparungen ergeben sich, weil der teure Unterhalt des Stufenschalters wegfällt [1].

Leider ist die Phasenanschnittsteuerung mit einem sehr stark verzerrten Fahrdrahtstrom verbunden. Die Oberwellen von zum Teil hoher Ordnungszahl können den Betrieb benachbarter Fernmelde- und Eisenbahnsicherungsanlagen stören. Die neue Technik bringt aber derartige Vorteile, dass sich die Einführung der Phasenanschnittsteuerung trotz deren unangenehmen Nebenwirkungen nicht aufhalten lässt. Wir begrüßten daher die Initiative der *Berner Alpenbahn BLS*, die als erste schweizerische Bahngesellschaft eine Hochleistungslokomotive mit Phasenanschnittsteuerung beschaffte und uns in Zusammenarbeit mit der Lieferfirma *AG Brown, Boveri & Co.* Beeinflussungsversuche ermöglichte.

1. Introduction

Le développement de la technique des semi-conducteurs permet de régler la puissance d'automotrices non plus par des prises sur l'enroulement secondaire du transformateur, mais par l'amorçage de thyristors à un angle de phase déterminé de chaque demi-période. Les avantages du système résident dans la possibilité de régler la puissance de façon continue, de la répartir sur les bogies selon leur charge et surtout dans les conditions d'adhérence favorables. Ces dernières sont dues principalement au rapport avantageux nombre de tours/couple du moteur à courant continu (aucune chute de tension inductive). La faible inductance de fuite du transformateur, qui est de construction plus simple, est un facteur supplémentaire à l'appui de ce qui précède. Avec une locomotive à thyristors construite de façon convenable, la force de traction au démarrage est d'au moins 30% supérieure à celle d'une locomotive à moteurs directs de même poids. D'autres économies sont réalisées, du fait que l'entretien coûteux du combinateur est supprimé [1].

Malheureusement, le réglage de redresseurs par déplacement du point d'amorçage est lié à un courant de ligne de contact très fortement déformé. Les harmoniques, partiellement d'ordre élevé, peuvent perturber l'exploitation d'installations voisines de télécommunication et de sécurité des chemins de fer. La nouvelle technique offre cependant de tels avantages que l'introduction du réglage par déplacement du point d'amorçage, malgré ses effets secondaires désagréables, ne saurait être retardée. C'est pourquoi nous saluons l'initiative du *chemin de fer des Alpes bernoises BLS*, qui est la première compagnie suisse à avoir acquis une locomotive de grande puissance avec réglage par

2. Grundlagen

2.1 Prinzip der Phasenanschnittsteuerung

Figur 1 zeigt die Schaltung für einen Gleichrichter mit gesteuerten Dioden (Thyristoren). Man überblickt die Wirkungsweise dieser unsymmetrischen, halbgesteuerten Brücke am besten auf folgende Weise:

Die Siebinduktivität wird so gross gewählt, dass die Welligkeit des Gleichstromes stark reduziert wird. Wir gehen bei unserer Betrachtung von einer sehr guten Siebung aus und setzen somit einen fast reinen Gleichstrom im Verbraucher voraus. Die Spannung nach der Induktivität (am Verbraucher) ist annähernd konstant und entspricht dem arithmetischen Mittelwert der vor der Induktivität liegenden Spannung.

Sind die Thyristoren über die ganze Halbperiode durchlässig (Stromflusswinkel 180°), so arbeiten sie wie Dioden. Die Transformatorspannung wird dann als kommutierte

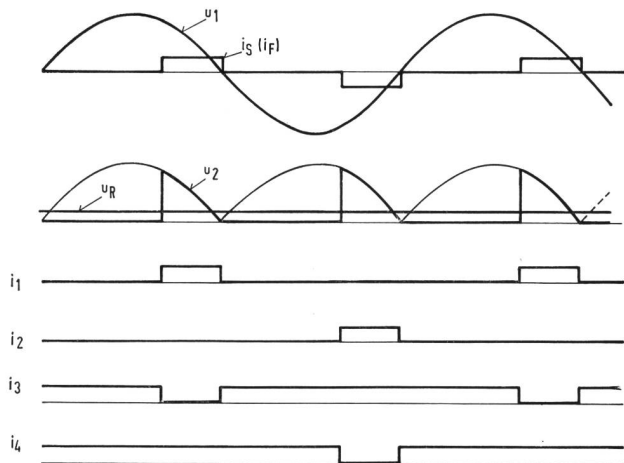
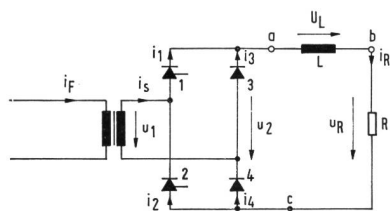


Fig. 1

Prinzip der Phasenanschnittsteuerung mit halbgesteuerter, unsymmetrischer Brücke. Die Spannungs- und Stromoszillogramme sind idealisiert (unendlich hohe Siebungsinduktivität, streuungsfreier Transformator)

Prinzip du réglage de redresseurs à thyristors par déplacement du point d'amorçage avec pont dissymétrique semi-contrôlé. Les oscillogrammes de la tension et du courant sont idéalisés (inductance de filtrage infiniment élevée, transformateur sans dispersion)

déplacement du point d'amorçage et nous a autorisés, de concert avec le fournisseur Brown Boveri & Co SA, à procéder à des essais d'influence.

2. Bases

2.1 Principe du réglage par déplacement du point d'amorçage

La figure 1 montre le montage d'un redresseur à diodes contrôlées (thyristors). Le fonctionnement de ce pont asymétrique semi-contrôlé peut s'expliquer le plus simplement de la façon suivante: L'inductance de filtrage est choisie suffisamment grande pour que l'ondulation du courant continu soit fortement réduite. Dans notre appréciation, nous nous fondons sur un très bon filtrage et supposons ainsi un courant continu presque parfaitement lissé dans le consommateur. La tension au consommateur (après l'inductance) est pratiquement constante et correspond à la moyenne arithmétique de la tension appliquée après l'inductance de filtrage.

Si les thyristors sont conducteurs durant toute la demi-période (angle de 180°), ils fonctionnent comme des diodes. La tension du transformateur est alors appliquée comme tension sinusoïdale commutée au montage en série de l'inductance de filtrage et de la charge (bornes a-c). Si la valeur instantanée de cette tension est supérieure à la tension continue appliquée à la charge (a positif par rapport à b), le courant croît légèrement

$$u_L = L \, di/dt$$

et il se forme un champ magnétique. Lorsque la valeur instantanée de la tension est inférieure à la tension appliquée au consommateur, le courant diminue. Son gradient négatif dans le temps a le même effet qu'une chute de tension dans le sens négatif aux bornes de l'inductance (b positif par rapport à a). Cette dernière délivre donc, de par l'énergie emmagasinée dans le champ, la tension complémentaire à la tension du secteur pour produire un courant à peu près constant. Etant donnée la constante de temps L/R élevée, ce courant est fourni par le secteur sous forme carrée pratiquement pure.

Si les thyristors ne sont pas amorcés au moment où la tension alternative passe à zéro, c'est-à-dire si l'angle de passage du courant est inférieur à 180° , un courant continu à peu près pur s'écoule dans le consommateur lorsque l'inductance est suffisamment grande. Durant la période comprise entre le passage à zéro de la tension et l'amorçage du thyristor, la liaison avec le secteur est coupée. Le courant dans l'inductance commence à diminuer et engendre une tension induite négative (b positif par rapport à a). Pendant ce temps, c'est le champ magnétique de l'inductance qui fournit l'énergie pour faire passer le courant à travers le consommateur et les deux diodes en série (diodes à roue

Sinusspannung an die Serieschaltung von Siebinduktivität und Last (Klemmen a-c) gelegt. Ist der Momentanwert dieser Spannung höher als die Gleichspannung an der Last (a positiv gegen b), so steigt der Strom leicht an

$$u_L = L di/dt$$

und es wird ein magnetisches Feld aufgebaut. Wenn aber der Momentanwert der Spannung kleiner ist als die Spannung am Verbraucher, so sinkt der Strom. Sein negativer zeitlicher Gradient entspricht einem negativ gerichteten Spannungsabfall an der Induktivität (b positiv gegen a). Diese liefert also aus der im Feld gespeicherten Energie die Zusatzspannung zur Netzspannung, um im Verbraucher einen annähernd konstanten Strom zu erzeugen. Dieser wird bei hoher Zeitkonstante L/R als praktisch reiner Rechteckstrom vom Netz geliefert.

Werden nun die Thyristoren nicht beim Nulldurchgang der Spannung gezündet, ist also der Stromflusswinkel kleiner als 180° , so fließt bei ausreichend grosser Induktivität trotzdem ein annähernd reiner Gleichstrom im Verbraucher. In der Zeit zwischen Nulldurchgang der Spannung und Zünden des Thyristors ist die Verbindung zum Netz getrennt. Der Strom in der Induktivität beginnt zu fallen und erzeugt eine negative Induktionsspannung (b positiv gegen a). Während dieser Zeit liefert das Magnetfeld der Induktivität die Energie, um den Strom durch den Verbraucher und die beiden in Serie liegenden Dioden zu treiben (Freilaufdioden). Der Speisestrom besteht dann in einem annähernd rechteckförmigen Impuls in jeder Halbperiode, dessen Breite sich mit dem Steuerwinkel ändert. Der Strom weicht also stark von der Sinusform ab und hat besonders bei kleiner Aussteuerung einen hohen Oberwellenanteil [2], [3].

Die begrenzte Siebinduktivität bewirkt allerdings, dass der Gleichstrom in der Last eine mehr oder weniger grosse Welligkeit zeigt, daher weicht auch der Strom auf der Wechselstromseite von der theoretischen Form der Rechteckimpulse ab. Die Flanken werden zudem durch die Streuinduktivität des Transformators und die Speisequelle (Unterwerk und Fahrleitung) beeinflusst. Das Spektrum des Stromes hängt deshalb in einem gewissen Mass auch vom Abstand des Triebfahrzeuges vom Unterwerk und von den übrigen elektrischen Daten der Fahrleitungsanlage ab.

2.2 Daten der Versuchslocomotive BLS 161

Der aus einer Diodenlocomotive umgebaute vierachsige Versuchstyp mit 80 t Gewicht ist für 15 kV 16 $\frac{2}{3}$ Hz gebaut und nimmt einen maximalen Fahrdrahtstrom von 600 A auf. Die mechanische Spitzenleistung erreicht etwa 8,5 MW, die Stundenleistung 6,5 MW. Die maximale Anfahrzugkraft kann bei günstigen Adhäsionsverhältnissen 32 t überschreiten. Unabhängige Gleichrichter speisen die beiden

freie). Le courant d'alimentation consiste en une impulsion de forme à peu près carrée à chaque demi-période, dont la largeur change avec l'angle de passage. Le courant s'écarte ainsi fortement de la forme sinusoïdale et a, en particulier pour de faibles courants de porte, une part d'harmoniques élevée [2], [3].

Il est vrai que l'inductance de filtrage limitée a pour effet que le courant continu dans la charge présente une ondulation plus ou moins grande et c'est pourquoi, sur le côté courant alternatif, le courant s'écarte de la forme théorique des impulsions rectangulaires. En outre, la forme des flancs est influencée par l'inductance de fuite du transformateur et la source de courant (sous-station et ligne de contact). Par conséquent, le spectre du courant dépend dans une certaine mesure aussi de la distance de la locomotive à la sous-station et des autres caractéristiques électriques de l'installation de ligne de contact.

2.2 Caractéristiques de la locomotive d'essai BLS 161

Le modèle d'essai à quatre essieux, d'un poids de 80 tonnes, est une locomotive à diodes transformée; il est construit pour 15 kV 16 $\frac{2}{3}$ Hz et consomme un courant de ligne de contact maximal de 600 A. La puissance mécanique de pointe atteint environ 8,5 MW et la puissance horaire 6,5 MW. Dans des conditions d'adhérence favorables, la force de traction maximale au démarrage peut excéder 32 tonnes. Des redresseurs indépendants alimentent les deux bogies, dont la puissance peut ainsi être adaptée de façon optimale à la charge, par une correction appropriée de l'angle de commande (voir paragraphe 1). Chaque bogie est équipé de deux circuits en pont à thyristors semi-contrôlés, connectés en série. Jusqu'à la moitié de la puissance de pleine charge, seuls les thyristors d'un pont sont commandés, les diodes du deuxième travaillent comme des diodes à roue libre, tandis que, dans la zone de charge 50...100%, les thyristors du premier pont travaillent avec un angle de passage de 180° et ceux du deuxième pont avec un réglage par déplacement du point d'amorçage (commande échelonnée à deux étages).

Par la suite, la locomotive a été transformée par des moyens de fortune pour une commande à 4 et 8 étages, seule la demi-puissance ayant pu être atteinte, ce qui n'a d'ailleurs aucune importance pour des essais comparatifs. L'augmentation du nombre d'étages de commande améliore considérablement le facteur de puissance dans la zone de charge partielle et, en outre, permet de réduire sensiblement la teneur en harmoniques du courant de traction. On a renoncé sciemment à un réglage automatique du courant lors de l'accélération, étant donné que les conditions d'adhérence variables peuvent être mieux appréciées par le conducteur de la locomotive que par un dispositif automatique.

Drehgestelle, deren Leistung somit durch eine entsprechende Korrektur des Steuerwinkels optimal der Belastung angepasst werden kann (s. Abschnitt 1).

Jedes Drehgestell ist mit zwei in Serie geschalteten halbgesteuerten Thyristor-Brückenschaltungen ausgerüstet. Bis zur halben Vollastleistung werden nur die Thyristoren einer Brücke gesteuert, die Dioden der zweiten arbeiten als Freilaufdioden, während im Lastbereich von 50...100% die Thyristoren der ersten Brücke mit einem Stromflusswinkel von 180° und die der zweiten mit An-schnittsteuerung arbeiten (zweistufige Schaltung).

Die Lokomotive wurde später behelfsmässig auf eine 4- und 8stufige Schaltung umgebaut, wobei allerdings nur die halbe Leistung erreicht werden konnte, was aber für Vergleichsversuche ohne Bedeutung ist. Die Erhöhung der Stufenzahl bringt eine namhafte Verbesserung des Leistungsfaktors im Teillastbereich, ausserdem erlaubt sie eine wesentliche Reduktion des Oberwellengehaltes des Traktionsstromes. Auf eine automatische Stromregelung bei der Beschleunigung wurde bewusst verzichtet, da die wechselnden Adhäsionsverhältnisse durch den Lokomotivführer besser berücksichtigt werden können als durch eine Automatik.

2.3 Frequenzspektrum des Stromes

Das Spektrum hängt sehr stark vom Steuerwinkel ab. Eine kleine Änderung kann einzelne Harmonische vom Maximum auf einen kaum messbaren Minimalwert sinken lassen. Messungen des Spektrums sind daher nicht repräsentativ für andere Belastungszustände. Aus zahlreichen Messungen lässt sich allerdings ein Mittelwert gewinnen, der die Störquelle recht gut charakterisiert. Für gewisse Anwendungen interessiert die Amplitude einer bestimmten Oberwelle, meistens ist aber die Störwirkung des Spektrums in einem verhältnismässig breiten Frequenzband massgebend. Man kann dann Näherungsrechnungen, zum Beispiel für die induktive Beeinflussung einer Fernmeldeanlage, durchführen, indem man anstelle des Spektrums eine Ersatzgrösse in die Rechnung einführt: den «Störstrom». Er wird mit dem Geräuschspannungsmesser (Psophometer) gemessen, der das Spektrum mit einem international festgelegten Filter bewertet. Der Störstrom hat definitionsgemäss die gleiche Störwirkung auf Telefonverbindungen wie ein sinusförmiger Strom von 800 Hz mit dem gleichen Effektivwert [4].

2.4 Einfluss der Kabeleigenschaften

Die Störspannung tritt in einem Kabel primär als Längsspannung, das heisst bei Kabeln mit Metallumhüllung als Spannungsabfall am Mantel auf. Sie ist proportional dem Reduktionsfaktor des Kabels, dessen Frequenzgang man allerdings unter Umständen berücksichtigen muss, so bei

2.3 Spectre de fréquences du courant

Le spectre de fréquences du courant dépend dans une très large mesure de l'angle de commande et une minime modification peut faire tomber certains harmoniques du maximum à une valeur minimale à peine mesurable. C'est pourquoi les mesures du spectre ne sont pas représentatives d'autres états de charge. Il est vrai que de nombreuses mesures permettent d'obtenir une moyenne qui caractérise parfaitement bien la source perturbatrice. Pour certaines applications, l'amplitude d'un harmonique déterminé présente un intérêt, mais l'effet perturbateur du spectre est généralement déterminant dans une bande de fréquences relativement large. On peut alors faire des calculs d'approximation, par exemple pour l'effet par induction sur une installation de télécommunication, en introduisant, en lieu et place du spectre, une grandeur équivalente dans le calcul: «le courant perturbateur». Ce dernier est mesuré à l'aide du psophomètre, qui évalue le spectre à l'aide d'un filtre dont les caractéristiques sont fixées sur le plan international. Par définition, le courant perturbateur a sur les communications téléphoniques le même effet perturbateur qu'un courant sinusoïdal de 800 Hz de même valeur effective [4].

2.4 Influence des propriétés des câbles

La tension perturbatrice apparaît dans un câble, premièrement en tant que tension longitudinale. Pour les câbles à enveloppe métallique, elle se présente comme une chute de tension le long de la gaine qui est proportionnelle au facteur de réduction du câble. Selon les conditions, il faut tenir compte du comportement en fonction de la fréquence de ce facteur. L'effet de blindage pour les câbles avec armure combinée de feuillard et de fils méplats augmente de façon plus que proportionnelle avec la fréquence. Ce phénomène est encore plus marqué pour les canaux en fer munis de connecteurs de joints courts.

Du fait de l'asymétrie du câble par rapport à la terre, la tension longitudinale se transforme en une tension transversale à l'intérieur de ce dernier. Pour en apprécier l'effet perturbateur subjectif, on la mesure avec un psophomètre. Cette tension, évaluée avec le filtre, est désignée par «tension psophométrique».

Dans un câble, dont tous les conducteurs sont pourvus de translateurs, les conducteurs intérieurs sont blindés par les conducteurs extérieurs. Si tous les conducteurs ont la même longueur, il ne faut compter qu'avec de faibles tensions psophométriques dans les couches intérieures, même dans des installations fortement influencées.

Les conditions sont plus défavorables dans la couche extérieure ou dans des câbles comportant des conducteurs qui sont mis à la terre directement par le biais de résistances ou de relais. Ces dispositifs peuvent provoquer des dissymétries complémentaires. Mais, en Suisse, il existe depuis

Kabeln mit kombinierter Band- und Flachdrahtarmierung, deren Schirmwirkung sich mit zunehmender Frequenz mehr als proportional verbessert. Noch ausgeprägter ist diese Eigenschaft bei Eisenkanälen mit kurzen Stossverbindern.

Die Längsspannung setzt sich im Kabel über dessen Erdunsymmetrie in eine Querspannung um. Zur Beurteilung der subjektiven Störwirkung misst man die Querspannung mit einem Geräuschspannungsmesser. Diese mit dem Filter bewertete Spannung wird mit «Geräuschspannung» bezeichnet. Bei einem Kabel, dessen Adern alle mit Übertragern ausgerüstet sind, werden die innern Adern durch die äussern geschirmt. Führen alle Adern über die gleiche Länge, ist dann in den innern Lagen auch in stark beeinflussten Anlagen nur mit kleinen Geräuschspannungen zu rechnen.

Ungünstiger sind die Verhältnisse in der äussersten Lage oder in Kabeln mit Adern, die direkt, über Widerstände oder Relais geerdet sind. Derartige Ausrüstungen können zusätzliche Unsymmetrien verursachen. In der Schweiz bestehen allerdings seit über 25 Jahren Vorschriften über die Schaltungsunsymmetrie, so dass wir in dieser Beziehung besser dastehen als die meisten anderen Länder.

2.5 Eigenschaften der Fahrleitung

Bei der Betriebsfrequenz von $16\frac{2}{3}$ Hz hat die Fahrleitung mit ihrer Rückleitung über Schienen und Erde den Charakter einer verlustbehafteten Induktivität. Mit zunehmender Frequenz macht sich auch die Kapazität der Fahrleitung gegen Erde bemerkbar, wozu besonders ausgedehnte Stationsanlagen beitragen. Die Leitung darf dann nicht mehr als «elektrisch kurz» betrachtet werden. Erreicht die Phasendrehung zwischen Leitungsanfang und Leitungsende 90° oder ein ungeradzahliges Vielfaches davon, so ist die Impedanz einer unbelasteten Leitung bei dieser Frequenz höchstens einige 10Ω . Diese Impedanzminima liegen bei Bahnnetzen normaler Ausdehnung mitten im Tonfrequenzbereich. Es fliesst daher von der Störquelle, also vom Triebfahrzeug, auch ein Störstrom gegen das unbelastete Ende der Fahrleitung, also in die dem Unterwerk entgegengesetzte Richtung. Diesem Strom fehlen meistens die tieferen Harmonischen, er kann aber trotzdem in benachbarten Fernmeldekabeln beträchtliche Störlängsspannungen induzieren. Die unübersichtlichen Ausbreitungsbedingungen sind der Grund dafür, dass die Geräuschspannung in einem Fernmeldekabel nicht proportional zur beeinflussten Länge zunimmt.

2.6 Vorausberechnung

Das Spektrum des Störstromes lässt sich grundsätzlich aus den gegebenen Daten des Triebfahrzeuges für verschiedene Steuerwinkel mit befriedigender Genauigkeit berechnen. Man wird sich aber im allgemeinen auf Mes-

plus de 25 ans des prescriptions sur la dissymétrie des installations, de sorte que, sous ce rapport, nous nous trouvons dans une situation meilleure que la plupart des autres pays.

2.5 Propriétés de la ligne de contact

A la fréquence d'exploitation de $16\frac{2}{3}$ Hz, la ligne de contact, avec son retour par les rails et la terre, a le caractère d'une inductance comportant des pertes. Pour les fréquences supérieures, la capacité de la ligne de contact contre terre se fait sentir, les installations de station particulièrement étendues y contribuant encore. La ligne ne peut alors plus être considérée comme «électriquement courte». La rotation de phase entre le début et la fin de la ligne atteint-elle 90° ou un multiple impair de cette valeur, l'impédance d'une ligne non chargée est tout au plus de quelques 10Ω à cette fréquence. Dans les réseaux de chemins de fer d'extension normale, ces minimums d'impédance se situent au milieu de la gamme des fréquences audibles. C'est pourquoi il s'écoule de la source perturbatrice, donc de la locomotive, un courant perturbateur vers l'extrémité non chargée de la ligne de contact, soit dans la direction opposée à la sous-station. Les harmoniques d'ordre inférieur font généralement défaut à ce courant, qui peut néanmoins induire des tensions longitudinales perturbatrices importantes dans des câbles de télécommunication voisins. Les conditions de propagation souvent inattendues font que la tension psophométrique dans un câble de télécommunication n'augmente pas proportionnellement à la longueur influencée.

2.6 Calcul préalable

D'après les caractéristiques données de la locomotive, le spectre du courant perturbateur se calcule, en principe, avec une exactitude satisfaisante pour différents angles de commande. Mais on se fondera généralement sur des mesures du courant perturbateur qui est une grandeur assez représentative de l'effet perturbateur d'une locomotive sur des installations de télécommunication.

A l'aide du courant perturbateur, il est possible de calculer la tension longitudinale induite dans une ligne en tenant compte des distances, de la conductibilité du sol et des facteurs de réduction des rails et des câbles [4]. Le facteur de réduction du câble peut être mesuré en laboratoire en fonction de la fréquence, sur de courts échantillons. L'influence de câbles voisins peut être de grande importance, s'il s'agit de câbles ayant une petite inductance de retour, c'est-à-dire de câbles non armés ou armés de fils méplats; en revanche l'influence d'un câble armé de feuillard sur les câbles voisins est pratiquement négligeable.

La tension longitudinale ainsi calculée augmenterait proportionnellement à la longueur influencée. En réalité, ce n'est pas le cas, étant donné que, selon le paragraphe 2.5,

sungen des Störstromes stützen, der ein ziemlich zuverlässiges Mass für die Störwirkung eines Triebfahrzeuges auf Fernmeldeanlagen ist.

Mit dem Störstrom kann unter Berücksichtigung der Abstände, der Bodenleitfähigkeit und der Reduktionsfaktoren von Schienen und Kabeln die in einer Leitung induzierte Längsspannung berechnet werden [4]. Der Reduktionsfaktor des Kabels kann an kurzen Mustern im Laboratorium in Abhängigkeit der Frequenz gemessen werden. Von grosser Bedeutung kann der Einfluss benachbarter Kabel sein, wenn es sich dabei um Kabel mit einer kleinen Rückleitungsinduktivität, also um nichtarmierte oder um flachdrahtarmierte Kabel handelt, hingegen ist der Einfluss eines bandarmierten Kabels auf die benachbarten Kabel praktisch vernachlässigbar.

Die so berechnete Längsspannung würde nun proportional mit der beeinflussten Länge zunehmen. Das ist aber in Wirklichkeit nicht der Fall, da nach Abschnitt 2.5 in der Fahrleitung auch ein Störstrom ausserhalb der Strecke Unterwerk-Triebfahrzeug fliesst, der das Kabel beeinflusst. Ausserdem ändert sich das Spektrum des Störstromes längs der Leitung; zudem treten bei höhern Harmonischen auf eine verhältnismässig kurze Länge beträchtliche Phasendrehungen auf, so dass sich die Teilspannungen längs des Kabels nicht mehr algebraisch addieren.

Noch problematischer ist es, von der bewerteten Längsspannung auf die Geräuschspannung in einem Paar (bewertete Querspannung) zu schliessen, da die Erdunsymmetrie einer Kabelanlage im allgemeinen nicht bekannt ist.

Man kann durch die Berechnung höchstens die zu erwartenden Störungen in einem kurzen Kabel oder in einer Freileitung ermitteln; bei Freileitungen in der Nähe der Fahrleitung muss im allgemeinen noch die kapazitive Beeinflussung berücksichtigt werden [5].

3. Messresultate

Die bisher gewonnenen Messergebnisse erlauben, obwohl sie noch sehr lückenhaft sind, doch schon eine recht gute Beurteilung der Störwirkung von Lokomotiven mit Phasenanschnittsteuerung auf Fernmeldeanlagen. Wir beschränken uns hier auf die Angabe einiger charakteristischer Werte.

3.1 Spektrum des Stromes

Das Spektrum hängt natürlich stark vom Steuerwinkel ab, *Figur 2* zeigt das Streuband einer grösseren Zahl von Messungen an zweistufigen Lokomotiven. *Figur 3* enthält das Spektrum des Störstromes dreier verschiedener Lokomotivtypen und das Spektrum eines Ersatzgenerators für die Simulation von Längsspannungen in Fernmeldeanlagen. Dessen endgültige Eigenschaften sind allerdings noch nicht festgelegt.

un courant perturbateur qui influence le câble s'écoule aussi dans la ligne de contact en dehors du tronçon sous-station-locomotive. En outre, le spectre du courant perturbateur se modifie le long de la ligne; de plus, aux harmoniques élevés, des rotations de phases importantes se produisent sur une longueur relativement courte, de sorte que les tensions partielles le long du câble ne s'additionnent plus algébriquement.

Il est encore plus problématique de conclure de la tension longitudinale pondérée à la tension psophométrique dans une paire (tension transversale pondérée), la dissymétrie de terre d'une installation de câbles n'étant généralement

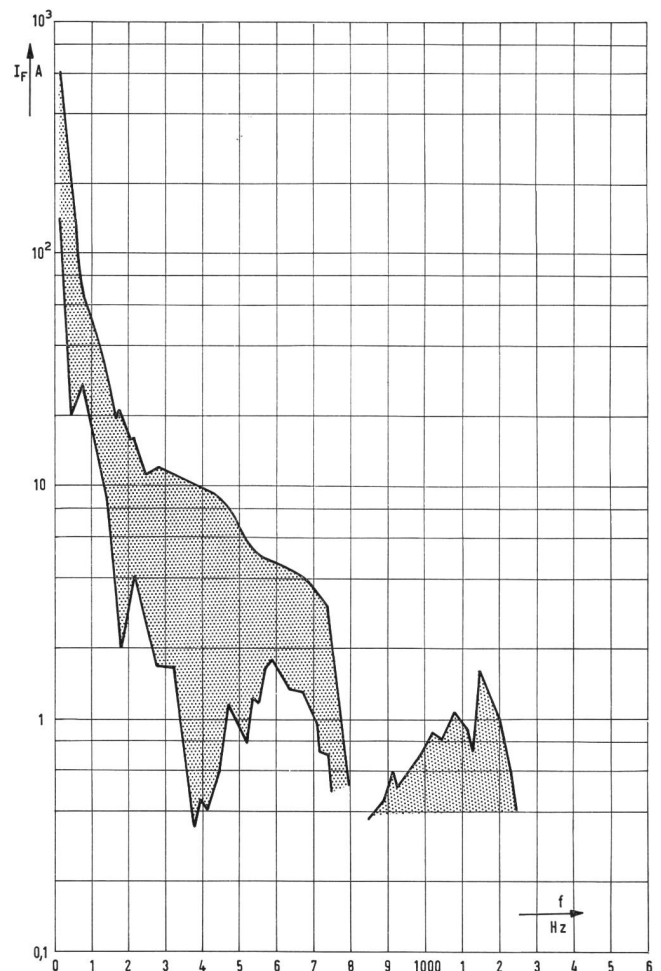


Fig. 2

Spektrum des Fahrleitungsstromes einer Thyristorlokomotive mit zweistufiger Stromrichterschaltung. Das Streuband umfasst 7 verschiedene Fahrzustände mit Fahrleitungsströmen bis 640 A. Es treten praktisch nur ungeradzahlige Harmonische auf

Spectre du courant de la ligne de contact d'une locomotive à thyristors avec circuit de convertisseur de courant à 2 étages de commande. La bande de dispersion comprend 7 états de marche différents avec des courants de ligne de contact jusqu'à 640 A. Il ne se produit pratiquement que des harmoniques impairs

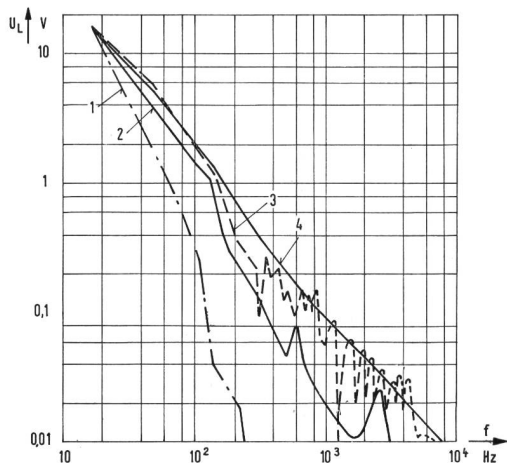


Fig. 3

Typisches Spektrum der von verschiedenen Lokomotiven in einem bandarmierten Fernmeldekabel von 2,2 km Länge induzierten Längsspannung (70 km/h, 360 A Fahrleitungsstrom)

Spectre typique de la tension longitudinale induite par différentes locomotives dans un câble de télécommunication à armure de fer feuillard d'une longueur de 2,2 km (70 km/h, courant de ligne de contact de 360 A)

- 1 Wechselstrommotor-Lokomotive Ae 6/8 – Locomotive à moteur à courant alternatif Ae 6/8
- 2 Dioden-Lokomotive Ae 4/4 – Locomotive à diodes Ae 4/4
- 3 Thyristor-Lokomotive Re 4/4 (zweistufiger Stromrichter) – Locomotive à thyristors Re 4/4 (convertisseur de courant à deux étages de commande)
- 4 Spektrums eines Ersatzgenerators für Messungen an Fernmeldeanlagen – Spectre d'une génératrice équivalente pour mesures dans les installations de télécommunication

Die Spektren entsprechen ziemlich genau dem Fahrleitungsstrom des betreffenden Triebfahrzeuges. Es treten praktisch nur ungeradzahlige Harmonische von 16 2/3 Hz auf, die in der Abbildung durch einen Kurvenzug verbunden sind

Les spectres correspondent assez exactement au courant de la ligne de contact de la locomotive considérée. Il ne se produit pratiquement que des harmoniques impaires de 16 2/3 Hz qui sont reliés sur la figure par une courbe

Das Spektrum enthält grundsätzlich nur die ungeradzahligen Harmonischen, die geradzahligen sind bei gut arbeitender Steuerelektronik bis zu einer Frequenz von mehreren kHz kleiner als die ungeradzahligen; unterhalb 1 kHz sind sie vernachlässigbar.

Die grosse Abhängigkeit der Spannung einer bestimmten Oberwelle vom Steuerwinkel ist aus Figur 4 ersichtlich, die 7. Harmonische in der Längsspannung eines Kabels (116 2/3 Hz) ist dort für eine Anfahrt einer zweistufigen Thyristorlokomotive im Vergleich mit einer Diodenlokomotive und einem Triebfahrzeug mit Wechselstrommotoren dargestellt. Beim Spektrum 4- oder 8stufiger Lokomotiven sind vor allem die Oberwellen im Bereich oberhalb einiger 100 Hz gegenüber zweistufigen Triebfahrzeugen merkbar schwächer.

3.2 Höhe des Störstromes

Die Höhe des Störstromes hängt sehr stark von der Konstruktion des Triebfahrzeuges ab, wie folgende Zusammenstellung der Messwerte an einer Lokomotive mit einer Spitzenleistung von etwa 4 MW zeigt:

Steuerung 2stufig: Mittelwert 3,60 A, Maximum 4,80 A

Steuerung 4stufig: Mittelwert 1,65 A, Maximum 2,90 A

Steuerung 8stufig: Mittelwert 0,95 A, Maximum 1,60 A

Der maximale Störstrom einer Diodenlokomotive ist noch etwa 25% kleiner als der einer 8stufigen Lokomotive, der einer Lokomotive mit Wechselstrommotor überschreitet kaum 0,2 A. Triebfahrzeuge mit grösseren Leistungen stören entsprechend mehr, ausserdem wird der Störstrom auch etwas durch die oft sehr unterschiedlichen Fahrleitungsimpedanzen beeinflusst, so dass die angegebenen Zahlen nur als Richtwerte aufzufassen sind.

pas connue. Par le calcul, on peut tout au plus déterminer les perturbations à attendre dans un câble court ou sur une ligne aérienne; cependant, pour les lignes aériennes au voisinage de la ligne de contact, il est généralement nécessaire de tenir encore compte de l'influence capacitive [5].

3. Résultats des mesures

Bien qu'ils soient encore très incomplets, les résultats des mesures obtenus jusqu'ici permettent d'apprécier de façon déjà assez bonne l'effet perturbateur de locomotives à réglage par déplacement du point d'amorçage sur les installations de télécommunication. Nous nous bornons à indiquer quelques valeurs caractéristiques.

3.1 Spectre du courant

Le spectre du courant dépend naturellement beaucoup de l'angle de commande et la figure 2 montre la bande de dispersion d'un grand nombre de mesures sur des locomotives à deux étages de commande. La figure 3 contient le spectre du courant perturbateur de trois types différents de locomotives et celui d'une génératrice équivalente pour la simulation de tensions longitudinales dans des installations de télécommunication. Ses propriétés définitives ne sont pas encore fixées.

Le spectre ne comprend en principe que les harmoniques impairs; les harmoniques pairs sont, lorsque le dispositif électronique de commande fonctionne bien, plus petits que les impairs jusqu'à une fréquence de plusieurs kHz; au-dessous de 1 kHz, ils sont négligeables.

Il ressort de la figure 4 que la tension d'un harmonique déterminé dépend étroitement de l'angle de commande; le septième harmonique dans la tension longitudinale d'un câble (116 2/3 Hz) y est représenté pour le démarrage d'une

3.3 Längsspannung in Kabeln

In einem Kabel mit Metallmantel, das entweder unarmiert oder mit einer Band-, Flachdraht- oder Runddrahtarmierung versehen ist, verbessert sich der Reduktionsfaktor oberhalb einiger 100 Hz ungefähr proportional zur Frequenz. Dadurch wird der frequenzproportionale Anstieg der induktiven Kopplung kompensiert, so dass das Spektrum der Längsspannung in diesem Fall praktisch identisch ist mit dem des Störstromes, was sich bei den Messungen denn auch bestätigte.

Die Höhe der Längsspannung entspricht bei der Messung an Kabelabschnitten bis höchstens einige Kilometer Länge recht gut den berechneten Werten. Da sowohl die Kabelkonstruktion, die Verlegungsart sowie weitere, als Kompensationsleiter wirkende Kabel einen sehr grossen Einfluss auf die Längsspannung haben, können die in einem

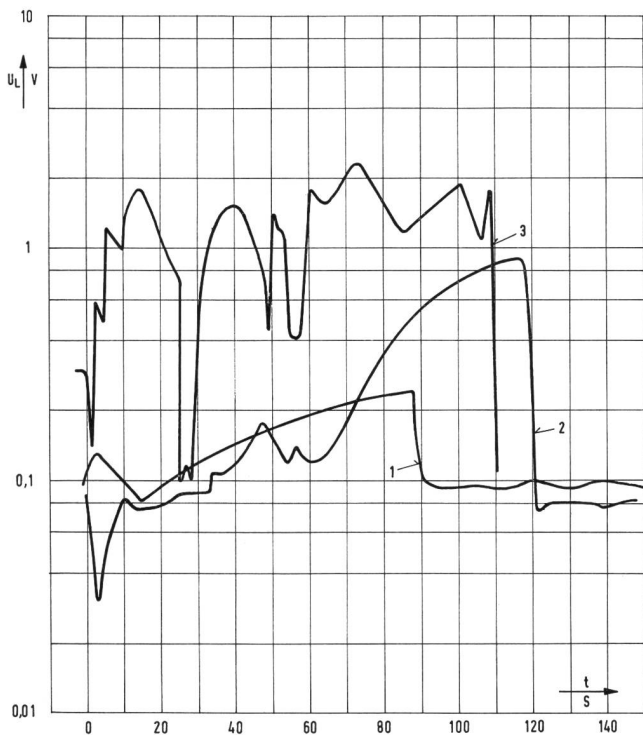


Fig. 4

Höhe der Längsspannungskomponente 1162/3Hz (7. Harmonische) in einem Fernmeldekabel von 2,2 km Länge während der Anfahrt dreier verschiedener Lokomotivtypen

Valeur de la composante de la tension longitudinale 1162/3 Hz (7^e harmonique) dans un câble de télécommunication d'une longueur de 2,2 km pendant le démarrage de trois types de locomotives différents

- 1 Wechselstrom-Lokomotive Ae 6/8 – Locomotive à courant alternatif Ae 6/8
- 2 Dioden-Lokomotive Ae 4/4 – Locomotive à diodes Ae 4/4
- 3 Thyristor-Lokomotive Re 4/4 (zweistufiger Stromrichter) – Locomotive à thyristors Re 4/4 (convertisseur de courant à deux étages de commande)

locomotive à thyristors à deux étages de commande à titre de comparaison avec une locomotive à diodes et une locomotive à moteurs à courant alternatif. Pour le spectre de locomotives à 4 ou 8 étages de commande, ce sont avant tout les harmoniques dans la gamme s'étendant au-dessus de quelques 100 Hz qui sont nettement plus faibles que ceux des machines à deux étages de commande.

3.2 Intensité du courant perturbateur

L'intensité du courant perturbateur dépend énormément de la construction de la locomotive, ainsi que le montre la récapitulation ci-dessous des valeurs de mesure obtenues sur une locomotive ayant une puissance de pointe d'environ 4 MW:

- Commande à 2 étages: valeur moyenne 3,60 A, max. 4,80 A
- Commande à 4 étages: valeur moyenne 1,65 A, max. 2,90 A
- Commande à 8 étages: valeur moyenne 0,95 A, max. 1,60 A

Le courant perturbateur maximal d'une locomotive à diodes est d'environ 25% inférieur à celui d'une locomotive à 8 étages, celui d'une locomotive à moteur à courant alternatif excède à peine 0,2 A. Les locomotives de plus grande puissance perturbent proportionnellement davantage; en outre, le courant perturbateur est aussi influencé quelque peu par les impédances souvent très différentes de la ligne de contact, de sorte que les chiffres indiqués ne doivent être considérés que comme des valeurs indicatives.

3.3 Tension longitudinale dans les câbles

Dans un câble à gaine métallique, qu'il soit non armé ou muni d'une armure de fer feuillard, de fils méplats ou ronds, le facteur de réduction s'améliore au-dessus de quelque 100 Hz à peu près proportionnellement avec la fréquence. Il s'ensuit que l'accroissement du couplage inductif proportionnel à la fréquence est compensé, de sorte que le spectre de la tension longitudinale est, dans ce cas, pratiquement identique à celui du courant perturbateur, ce qui est aussi confirmé par les mesures.

Pour la mesure sur des tronçons de câbles ayant une longueur maximale de quelques kilomètres, la tension longitudinale correspond assez bien aux valeurs calculées. Etant donné que la construction des câbles, le genre de pose et d'autres câbles agissant comme conducteurs de compensation ont une très grande influence sur la tension longitudinale, les tensions calculées dans un cas déterminé peuvent être difficilement reprises pour d'autres conditions. Les valeurs mesurées suivantes peuvent servir d'éléments d'appréciation:

Câble sous plomb, armure combinée de fer feuillard et de fils méplats: 10...20 mV/Akm

Câble sous plomb, armure de fer feuillard posé à côté d'un câble armé de fils méplats: 20...30 mV/Akm

Câble sous plomb, armure de fils méplats: 50...60 mV/Akm

bestimmten Fall ermittelten Spannungen kaum auf andere Verhältnisse übertragen werden. Als Anhaltspunkt können folgende Messwerte dienen:

Bleikabel, kombinierte Band-/Flachdrahtarmierung:
10...20 mV/Akm

Bleikabel, bandarmiert neben flachdrahtarmierten:
20...30 mV/Akm

Bleikabel, flachdrahtarmiert: 50...60 mV/Akm

Die psophometrische Längsspannung tendiert jedoch bei einer Kabellänge von etwa 20 km asymptotisch auf einen Grenzwert zu (s. Abschnitt 2.6), so dass Berechnungen problematisch sind. In der Schweiz liegen noch nicht genügend Messungen vor, um diese Probleme ausreichend beurteilen zu können.

3.4 Querspannungen

Die Erdsymmetrie der einzelnen Aderpaare eines Kabels ist derart unterschiedlich, dass gelegentliche Querspannungsmessungen oder Geräuschspannungsmessungen (Messung der psophometrisch bewerteten Querspannung) nur Zufallswerte ergeben, die sehr stark streuen können. Es wurden Extremwerte von einigen mV Geräuschspannung auf Streckenkabeln einer Bahn gemessen. Die Querspannungen lassen sich durch einen Erdkapazitätsabgleich innerhalb des Vierers um etwa 10 dB senken.

4. Auswirkungen auf die Fernmeldenetze

Die Traktionsströme sind heute so hoch (und weisen zudem steigende Tendenz auf), dass Streckenkabel und PTT-Kabel im Bereich von Wechselstrombahnen mit Reduktionsfaktoren von etwa 0,1 bei 100 V/km und 16 $\frac{2}{3}$ Hz ausgeführt werden müssen. Dadurch wird auch die Schirmwirkung für die Oberwellen so günstig, dass die Gefahr von Geräuschstörungen sehr stark verringert wird. Trotzdem ist es wenigstens bei Streckenkabeln ratsam, vorerst noch einen Erdkapazitätsausgleich vorzunehmen [11].

Bei bestehenden Kabeln im Bahnkörper wird man oft nicht auf einen Abgleich verzichten können, um die Geräuschspannungen auf einen zulässigen Wert zu begrenzen. Liegen die Kabel aber in einer durchschnittlichen Entfernung von wenigstens etwa 100 m von der Bahn, so ist die Kopplungsinduktivität für die Oberwellen (im Gegensatz zu 16 $\frac{2}{3}$ Hz) bereits merklich reduziert. Es fehlen aber in der Schweiz genügend Erfahrungen über die zu erwartende Erdsymmetrie, um schon jetzt sagen zu können, in welchem Mass die PTT-Netze gestört werden, wenn die Phasenanschnittsteuerung im Bahnbetrieb allgemein eingeführt wird. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Zahl der Störungsfälle nicht allzugross sein wird.

Hohe Geräuschspannungen sind aber zu erwarten in Freileitungen und in Kabeln, die nicht mit einem gut leitenden,

Pour une longueur de câble d'environ 20 km, la tension longitudinale psophométrique tend asymptotiquement vers une valeur limite (voir paragraphe 2.6), de sorte que les calculs sont incertains. En Suisse, nous ne disposons pas encore d'un nombre suffisant de mesures pour pouvoir juger ces problèmes de manière satisfaisante.

3.4 Tensions transversales

La symétrie par rapport à la terre des diverses paires de conducteurs d'un câble est si différente que les mesures occasionnelles de la tension transversale ou de la tension psophométrique (mesure de la tension transversale pondérée psophométriquement) ne donnent que des valeurs aléatoires qui peuvent être très fortement dispersées. Des valeurs extrêmes de quelques mV de tension psophométrique ont été mesurées sur des câbles de ligne d'un chemin de fer. Les tensions transversales peuvent être réduites d'environ 10 dB par un équilibrage de la capacité par rapport à la terre à l'intérieur de la quarte.

4. Effets sur les réseaux de télécommunication

Les courants de traction sont actuellement si élevés (et ont, en outre, tendance à augmenter) que les câbles de ligne et les câbles des PTT à proximité des lignes de chemins de fer à courant alternatif doivent être installés avec des facteurs de réduction d'environ 0,1 à 100 V/km et 16 $\frac{2}{3}$ Hz. De ce fait, l'effet d'écran pour les harmoniques est si favorable que le danger de perturbations est très fortement réduit. Il est néanmoins préférable, tout au moins pour les câbles de ligne, de procéder auparavant encore à un équilibrage de la capacité par rapport à la terre [11].

Pour les câbles posés le long de la voie de chemin de fer, on ne pourra souvent pas renoncer à un équilibrage pour limiter les tensions psophométriques à une valeur admissible. Mais si les câbles se trouvent à une distance moyenne d'au moins 100 m environ de la voie de chemin de fer, l'inductance de couplage pour les harmoniques de rang supérieur est déjà sensiblement réduite (contrairement à 16 $\frac{2}{3}$ Hz). En Suisse, nous manquons d'expériences suffisantes quant à la dissymétrie de terre à attendre, pour pouvoir dire dès maintenant dans quelle mesure le réseau des PTT sera perturbé, si la commande des locomotives par déplacement du point d'amorçage est introduite d'une manière générale dans l'exploitation des chemins de fer. On peut toutefois admettre que le nombre des cas de perturbations ne sera pas trop élevé.

Cependant, il y a lieu d'attendre des tensions psophométriques élevées sur les lignes aériennes et dans les câbles non munis d'un écran bon conducteur mis à la terre. En pareil cas, le couplage inductif proportionnel à la fréquence n'est pas compensé ou ne l'est que faiblement par

geerdeten Metallmantel versehen sind. Hier wird der frequenzproportionale Charakter der induktiven Kopplung nicht oder nur schwach durch den Frequenzgang des Reduktionsfaktors ausgeglichen. Bei der vermehrten Verwendung von Thermoplastkabeln, deren Aluminiumschirm einen wesentlich höheren Widerstand hat als ein Bleimantel, wird man unter Umständen die Geräuschbeeinflussung auch bei Kabeln von weniger als 1 km Länge beachten müssen.

5. Schutzmassnahmen

5.1 An den Bahnanlagen

Am wirksamsten ist es, die Höhe der mit Thyristoren gesteuerten Leistung zu reduzieren. Diese, bei 4- und 8stufigen Lokomotiven verwirklichte Lösung hat zugleich den Vorteil eines wesentlich höheren mittleren Leistungsfaktors des Triebfahrzeuges. Der Einbau von Oberwellenfiltern ist äusserst problematisch: für eine Verbesserung von einigen dB ist bei einer Lokomotive ein Filter von mehreren Tonnen Gewicht nötig. Ausserdem werden durch ein Filter die für gewisse Signalisierungssysteme kritischen Harmonischen im Bereich unterhalb etwa 200...300 Hz verstärkt. Damit sind die Möglichkeiten am Triebfahrzeug praktisch erschöpft, denn mit besondern Steuerwinkelkombinationen lassen sich wohl gewisse Harmonische reduzieren, der Störstrom wird dabei aber im allgemeinen eher höher.

Durch den Einbau von «Saugtransformatoren» kann die Gegeninduktivität zwischen Fahrleitung und Schiene und damit der Schienenstrom erhöht werden, womit der durch Erde zurückfliessende Strom reduziert wird. Diese Transformatoren sind aber verhältnismässig teuer und erhöhen zudem den Spannungsabfall in der Fahrleitung, sie sind daher bei den Bahnen ziemlich unpopulär.

5.2 Massnahmen an den Fernmeldeanlagen

Die Möglichkeiten können in zwei Gruppen unterteilt werden, wobei die eine die Reduktion der Längsspannung, die andere die Verbesserung der Erdunsymmetrie umfasst.

Die Längsspannung lässt sich mit einem geeigneten Kabelaufbau (zum Beispiel Aluminiummantel, Spezialarmierungen) [6], [7], [8] oder durch den Einbau von Reduktionstransformatoren [9], [10] verkleinern. Durch diese werden die Spannungen zwischen Aderbündel und Mantel verringert, sie wirken wie eine punktförmig angebrachte Bandarmierung. Ob ihr Einbau aber eine wirtschaftliche Lösung darstellt, muss in jedem einzelnen Fall untersucht werden.

Man kann die Längsspannung aber auch am Kabelende kompensieren. Dazu wird ein Reduktionstransformator in Verbindung mit einem Verstärker benutzt, der von einer Spannung gesteuert wird, die mit einer Ader auf dem Kabel-

la charakteristische de fréquence du facteur de réduction. L'emploi de manière accrue des câbles à gaine thermoplastique, dont l'écran d'aluminium a une résistance nettement plus élevée qu'un câble à gaine de plomb, nous contraindra éventuellement à tenir compte de l'influence des perturbations même sur des distances inférieures à 1 kilomètre.

5. Mesures de protection

5.1 Dans les installations de chemins de fer

La mesure la plus efficace consiste à réduire la puissance réglée par des thyristors. Cette solution, réalisée sur des locomotives à 4 et 8 étages de commande, a simultanément l'avantage d'améliorer très nettement le facteur de puissance moyen de la locomotive. Le montage de filtres d'harmoniques est extrêmement hasardeux: pour une amélioration de quelques dB, il est nécessaire d'installer sur une locomotive un filtre d'un poids de plusieurs tonnes. En outre, les harmoniques critiques pour certains systèmes de signalisation dans la bande au-dessous de 200...300 Hz environ sont renforcés par un filtre. Ainsi, les possibilités à la locomotive sont pratiquement épuisées, car des combinaisons particulières d'angles de commande permettent bien de réduire certains harmoniques, mais le courant perturbateur est alors en général un peu plus élevé.

Le montage de «transformateurs suceurs» peut élever l'inductance mutuelle entre la ligne de contact et les rails et, partant, le courant de rail, ce qui réduit le courant de retour par la terre. Mais ces transformateurs sont d'un prix relativement élevé et augmentent en outre la chute de tension dans la ligne de contact, ce qui les rend assez impopulaires dans les chemins de fer.

5.2 Dans les installations de télécommunication

Les possibilités peuvent être réparties en deux groupes: le premier porte sur la réduction de la tension longitudinale et le second sur l'amélioration de la dissymétrie de terre. La tension longitudinale peut être réduite par une construction appropriée des câbles (par exemple gaine d'aluminium, armures spéciales) [6], [7], [8] ou par l'intercalation de transformateurs de neutralisation [9], [10]. Ces derniers diminuent les tensions entre les faisceaux de conducteurs et l'enveloppe, ils agissent comme une armure de fer feuillard appliquée sous forme ponctuelle. Cependant, il convient d'examiner séparément dans chaque cas si leur insertion représente une solution économique.

On peut aussi compenser la tension longitudinale à l'extrémité du câble. Pour ce faire, on utilise un transformateur de neutralisation relié à un amplificateur, commandé par la tension longitudinale prise à la gaine de câble par l'entremise d'un conducteur. Mais cette «protection par

mantel abgegriffen wird. Dieser «aktive Reduktionsschutz» verkleinert aber nur die Wirkung der Erdunsymmetrie der Ausrüstung am Kabelende; die durch die Kabelunsymmetrie verursachten Geräuschspannungen werden nicht beeinflusst.

Die auf einem Aderpaar entstehende Geräuschspannung hängt direkt von der Erdunsymmetrie des Kabels und den daran angeschlossenen Ausrüstungen ab. Für die Schaltungsunsymmetrie der Ausrüstungen bestehen schon verhältnismässig strenge Vorschriften; die Erdunsymmetrie der Kabel hingegen ist nur für einzelne Fabrikationslängen vorgeschrieben, beim Bau der Anlagen wird aber bis jetzt kein Ausgleich vorgenommen. Bei Kabeln, die keine mit Erde in Verbindung stehenden Adern aufweisen, kann die Erdunsymmetrie des Kabels unter Umständen auch durch einen Schirm zwischen Aderbündel und Mantel verbessert werden. Als Schirm wirkt bei Kabeln mit vollständig von Erde isolierten Leitern auch die äusserste Lage: an den im Innern liegenden Paaren treten viel kleinere Geräuschspannungen auf. Diese Möglichkeiten können aber aus betrieblichen Gründen nicht sehr oft ausgenützt werden, so dass im allgemeinen nicht auf ein Fernmeldekabel mit gutem Reduktionsfaktor verzichtet werden kann.

réduction active» ne diminue que l'effet de la dissymétrie de terre de l'équipement à l'extrémité du câble, alors que les tensions psophométriques provoquées par la dissymétrie du câble ne sont pas influencées.

La tension psophométrique engendrée sur une paire de conducteurs dépend directement de la dissymétrie contre terre du câble et des équipements qui y sont raccordés. Il existe déjà des prescriptions assez sévères pour la dissymétrie des équipements; en revanche, la dissymétrie des câbles contre terre n'est prescrite que pour certaines longueurs de fabrication, mais, jusqu'ici, aucun équilibrage n'a été fait lors du montage des installations. S'agissant des câbles qui n'ont pas de conducteurs reliés à la terre, la dissymétrie contre terre peut éventuellement aussi être améliorée par un écran entre les faisceaux de conducteurs et la gaine. Dans les câbles à conducteurs complètement isolés de la terre, la couche extérieure fait aussi fonction d'écran: les tensions psophométriques affectant les paires situées à l'intérieur sont notablement plus faibles. Mais, pour des motifs d'exploitation, ces possibilités ne peuvent pas être utilisées très souvent, de sorte qu'en général on ne peut pas renoncer à un bon facteur de réduction sur les câbles de télécommunication.

Bibliographie

- [1] *Grossmann W.* Thyristorlokomotiven. Techn. Rundschau 63 (1971) Nr. 15, S. 17...23.
- [2] *Bossi H. J., Löcker H. und Winkler K.* Schaltungstechnik der gesteuerten Traktionsstromrichter am Wechsel- und Gleichspannungsfahrdraht. Bull. SEV 62 (1971) Nr. 1, S. 6...17.
- [3] *Zwicky R.* Theoretische Grundlagen der Beeinflussung von Schwachstromkreisen durch thyristorgespeiste Triebfahrzeuge. Bull. SEV 62 (1971) Nr. 1, S. 55...62.
- [4] Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les actions nuisibles des lignes électriques (1963). Union Internationale des Télécommunications.
- [5] *Buckel R.* Rückwirkung der Thyristorsteuerung für Gleich- und Wechselstrombahnen auf Fernmelde- und Signalanlagen. Bull. SEV 62 (1971) Nr. 1, S. 66...75.
- [6] *Schnürlein F.* Fernmeldekabel mit geringer Störbeeinflussung. Telefunken-Zeitung 31 (1958) H. 119, S. 43...49.
- [7] *Harbort H.* Fernmeldekabel mit kleinem Reduktionsfaktor. SEL-Nachrichten 15 (1967) H. 1., S. 4...11.
- [8] *Simon P.* Reduktion der Starkstrom-Einwirkung auf Nachrichten-kabel mit verschiedenartigen Mänteln. Frequenz 9 (1955) H. 10.
- [9] *Dageförde H.G.* Reduktionstransformatoren. ETZ-B 16 (1964) H. 16, S. 470...474.
- [10] *Kunz R.* Der Reduktionstransformator zum Schutz gegen Starkstrombeeinflussung NTZ 17 (1964) H. 9, S. 483...487.
- [11] *Widl E.* Geräuschmessung an Fernmeldekabeln mit künstlicher Nachbildung der Störbeeinflussung durch Stromrichterlokomotiven. Frequenz 21 (1967) H. 8, S. 235...242.