

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 37 (1946)
Heft: 14

Artikel: Note récapitulative sur l'état actuel des vibrations de conducteurs et des moyens pour en éliminer les méfaits
Autor: Preiswerk, M. / Dassetto, G.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061113>

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: 15.05.2025

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

Massnahmen zur Bekämpfung der Lichtschwankungen

Der Umstand, dass bei den relativ wenigen Personen, bei denen das Unbehagen nachhaltig ist, dieses nicht als physiologischer, sondern als psychischer Natur erkannt wurde, will nicht heissen, dass es für die Betroffenen nicht unangenehm sei. Es muss unsere vornehmste Aufgabe sein, Massnahmen zur Beseitigung der Lichtschwankungen zu nennen und für die Anwendung dieser Massnahmen zu werben. Es sind dies für 50-Hz-Netze die folgenden:

a) 50-Hz-Flimmern an den Enden der Fluoreszenzlampen: Schutz gegen direkte Sicht. Im zurückgeworfenen Licht stört das 50-Hz-Flimmern nie.

b) 100-Hz-Flimmern: In Drehstromnetzen können drei gleiche Quellen welligen Lichtes an die drei Phasen angeschlossen werden; in Einphasen-Netzen ist es möglich, mit einer Kunstschtung zwei Fluoreszenzlampen in der Phase um rund 90° verschoben arbeiten zu lassen⁷⁾.

Bei Fluoreszenzlampen besteht die Möglichkeit der Verwendung von möglichst stark nachleuchtendem Leuchtstoff.

Fluoreszenzlicht und reines Gasentladungslicht können durch Zumischen von Glühlampenlicht ausgeglichen werden.

Bewegte Gegenstände, an denen stroboskopische Effekte auftreten, können oft gegen direkte Sicht abgedeckt werden.

Zusammenfassung

Nachdem eingehend über die Natur und die Häufigkeit der Störungen infolge Welligkeit des Lichtes und über die Möglichkeiten ihrer Behebung berichtet wurde, lassen sich die Erkenntnisse wie folgt zusammenfassen:

Die Faktoren, die bei einer Beleuchtungsanlage zu Unbehagen Anlass geben können, sind komplexer Art und lassen sich nicht immer trennen. Es gibt relativ wenig Menschen, die Bewegungsflimmern als störend empfinden. Um physiologische Schädigungen

kann es sich nicht handeln; die Phänomene sind psychischer Natur.

Bei der Klärung der Störerscheinungen sind ungeschickte Suggestiv-Fragen zu unterlassen; denn sie können zu ansteckender, zweckloser Unzufriedenheit führen. Lässt die sorgfältige Ueberprüfung einer Beanstandung auf Lichtunruhe als Ursache schliessen, so ist Abhilfe zu schaffen. Dabei sollten stroboskopische Erscheinungen, im besonderen Bewegungstäuschungen, wegen der allenfalls damit verbundenen Gefahrenmomente ganz vermieden werden. Generell betrachtet heben Bewegungsflimmern und stroboskopische Erscheinungen die Vorteile moderner Beleuchtungsarten nicht auf.

Es gibt verschiedene Massnahmen, um den Welligkeitsgrad der Lichtquellen herab- bzw. die Lichtschwankungszahl heraufzusetzen. Wir verweisen auch auf die Schweizerischen Allgemeinen Leitsätze für elektrische Beleuchtung⁸⁾.

Literatur

1) *Birkhäuser, R.*: Vergleichende Untersuchungen physiologisch-optischer Eigenschaften von bekannten und von neuartigen elektrischen Lichtquellen. Bull. SEV Bd. 35(1944), Nr. 17, S. 471...479.

2) Netzfrequente Schwankungen des Lichtes und Flimmererscheinungen. Bull. SEV Bd. 36(1945), Nr. 9, S. 288.

3) *Goldmann, H., König, H., und Mäder, F.*: Bemerkungen über das Phänomen des Bewegungsflimmerns und die Definition des Welligkeitsgrades. Bull. SEV Bd. 37(1946), Nr. 2, S. 25...30.

4) *Bouma*: Das Flimmern elektrischer Lichtquellen. Philips' techn. Rdsch. Bd. 6(1941), Nr. 10, S. 299...306.

5) *Andresen, E. G.*: Ueber die Welligkeit der Lichtemission bei wechselstrombetriebenen Leuchtstoff-Entladungsröhren. Licht Bd. 7(1937), Nr. 11, S. 235...238.

6) *Högger, D.*: Das Flimmern bewegter Teile im Lichte diskontinuierlich betriebener Gasentladungslampen und seine Bedeutung bei der Beleuchtung von Fabrikräumen. Bull. SEV Bd. 35(1944), Nr. 4, S. 90...95.

7) *Loeb, J.*: Etude d'un montage réduisant le papillotement des lampes à décharge. Bull. SEV Bd. 35(1944), Nr. 5, S. 111...116.

8) Schweiz. Allgemeine Leitsätze für elektrische Beleuchtung, aufgestellt vom Schweizerischen Beleuchtungskomitee, hg. vom Schweizerischen Elektrotechnischen Verein, 1939 (Neuaufgabe in Vorbereitung).

Note récapitulative sur l'état actuel des vibrations de conducteurs et des moyens pour en éliminer les méfaits

Par M. Preiswerk et G. Dassetto, Lausanne

621.315 056.3

Cette note a été établie sur demande du Sous-comité des Vibrations du Comité des Conducteurs Aériens de la CIGRE. Après un court aperçu théorique sur la formation de vibrations dans les conducteurs aériens par l'action du vent et leurs conséquences, on expose les moyens qui permettent de les combattre et de les éliminer, soit: pinces de suspension convenables, appareils antivibratoires (renforceurs et amortisseurs) et conducteurs antivibratoires. Une bibliographie suit.

Im Auftrage des Unterkomitees für Schwingungen des Freileitungskomitees der CIGRE wurde vorliegender Bericht zusammengestellt. Nach einer kurzen theoretischen Abhandlung über die Entstehung der Schwingungen in den Leitern von Freileitungen und deren Folgen, verursacht durch Windwirkung, werden die Mittel besprochen, die erlauben, sie zu bekämpfen und zu beseitigen, nämlich: passende Tragklammern, Dämpfungseinrichtungen (Seilverstärker und Schwingungsdämpfer) und schwingungsfreie Seile. Eine Bibliographie schliesst die Arbeit ab.

Introduction

Le Sous-comité des Vibrations du Comité des Conducteurs Aériens de la Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à

haute tension (CIGRE) dans sa réunion du 1^{er} juillet 1939, après avoir constaté qu'il semble résulter que les moyens de lutter contre les vibrations sont assez nombreux, mis au point et effi-

caces et qu'il n'y a pas lieu de s'étendre outre mesure sur cette question, nous a chargé d'établir une note récapitulative donnant l'état actuel des vibrations de conducteurs et des moyens pour en éliminer les méfaits.

Les vibrations¹⁾

Lorsqu'un corps cylindrique lisse est placé dans un fluide se déplaçant avec une vitesse constante perpendiculairement à l'axe de ce corps, la formation de tourbillons derrière le corps est fonction de l'expression $\frac{v d}{\nu}$ où

- v déplacement du fluide en cm/s,
- d longueur de l'obstacle (diamètre du corps) en cm,
- ν viscosité dynamique du fluide ($1,59 \cdot 10^{-4}$ pour l'air).

Cette expression, connue comme nombre de Reynolds, constitue une variable critique de sorte que lorsqu'elle atteint une certaine valeur (variable entre 600 et 30 000), il y a passage de l'écoulement laminaire à l'état tourbillonnaire.

La fréquence des tourbillons produits, quand cette valeur critique est atteinte, est donnée par l'expression:

$$f_{\omega} = f \left(\frac{v d}{\nu} \right) \frac{v}{d} = k \frac{v}{d}$$

où f_{ω} = fréquence des tourbillons en Hz,
 $f \left(\frac{v d}{\nu} \right) = k$ = fonction sensiblement constante, égale pour l'air et pour conducteurs câblés à 0,185...0,21.

Sous l'effet de courants d'air réguliers, soufflant dans une direction à peu près perpendiculaire à la ligne, avec vitesse comprise entre 1 et 6 m/s, se forment donc derrière les conducteurs aériens des tourbillons qui se suivent à des intervalles réguliers et dont le sens de rotation est alternativement inverse. En effet, le premier tourbillon amorcé, dès qu'il a rejoint une certaine grandeur, vient emporté par le courant d'air et il se forme un nouveau tourbillon avec sens de rotation inverse.

Comme il ressort par exemple de la fig. 1 le sens de rotation du tourbillon situé directement derrière le conducteur provoque sur le côté supérieur

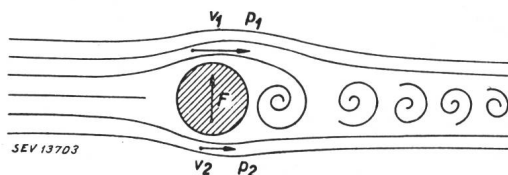


Fig. 1.

Formation de tourbillons

$$v_1 > v_2 \text{ donc } p_1 < p_2; F = c(p_2 - p_1)$$

F force résultante, v vitesse, p pression, c constante

de celui-ci une vitesse dans l'air plus élevée que celle que l'on a sur l'autre côté; par conséquent, à la vitesse plus faible correspond une plus forte pression. La différence de pression donne au conducteur une impulsion vers le haut, perpendiculaire à l'axe de

celui-ci et à la direction du courant d'air. Par le sens inverse de rotation du tourbillon suivant, le rapport réciproque des vitesses et donc des pressions s'invertit et l'impulsion sur le conducteur agit vers le bas.

Les dites impulsions changent donc alternativement de direction, vers le haut et vers le bas, suivant le côté du conducteur où s'amorcent les tourbillons, donc exactement selon le sens de rotation de ceux-ci.

Ces impulsions cependant ne suffisent pas encore pour faire vibrer le conducteur, car elles sont disséminées au hasard le long du conducteur, d'une façon tout à fait irrégulière sous le rapport de la fréquence, de la simultanéité et de la direction.

Lorsque par hasard, à l'endroit et au moment voulus, les impulsions se suivent dans le même rythme sur une distance de quelques mètres, il se forme un léger mouvement alternatif dans le plan vertical; ce mouvement s'étend sous forme d'ondes migratoires dans les deux directions et ceci avec la vitesse de transmission correspondant au poids du conducteur et à la tension mécanique à laquelle il est soumis. Par le fait du mouvement ondulatoire rythmique du conducteur la succession des tourbillons s'effectue dans le même mouvement. Les tourbillons prêts à se détacher sont décollés prématurément, donnant ainsi à leur tour une impulsion au conducteur. De ce fait, l'onde migratoire gagne en amplitude. Elle est en partie réfléchiée aux pinces et provoque en revenant le décollage d'un nombre croissant de tourbillons, qui sont ainsi coordonnés au système oscillant. Si la fréquence de ce mouvement correspond à la fréquence propre du conducteur (ou à un harmonique supérieur), ce qui est généralement le cas, il y a résonance de vibrations. Le va-et-vient des ondes migratoires forme alors sur les conducteurs les ondes stationnaires bien connues. Les décollages de tourbillons sont commandés jusqu'à un certain point par les mouvements du conducteur, auquel ils impriment à leur tour et au moment opportun l'impulsion nécessaire au maintien de la vibration, sans quoi des vibrations entretenues ne seraient pas possible.

Cette hypothèse sur la naissance des vibrations²⁾ est confirmée en partie par l'expérience. La fig. 2 représente l'amorçage d'une oscillation sur un conducteur de 271 m de longueur. On distingue très bien l'onde migratoire qui, toute petite au début — d'une



Fig. 2.

Enregistrement de l'amorçage d'une oscillation

amplitude de 1 mm environ — s'agrandit et se propage jusqu'à ce qu'une véritable oscillation se trouve entretenue par un vent régulier, préexistant.

Si l'on réussit à empêcher les premiers mouvements du conducteur, il ne se forme pas de vibrations. Le moyen le plus sûr serait certainement

¹⁾ Voir Bibliographie No. 23, 25, 26, 27, 30, 31, 37, 38.

²⁾ Voir Bibliographie No. 13, 17.

d'empêcher la formation du tourbillon derrière le conducteur. Ceci est, par exemple, partiellement possible lorsqu'on utilise des conducteurs en faisceaux, des conducteurs à section triangulaire ou analogues³⁾. Ces conducteurs cependant ne sont pas pratiques, soit pour des raisons de fabrication et de montage, soit pour des raisons d'ordre électrique (effet corona).

Conséquences des vibrations

L'importance des phénomènes vibratoires pour les lignes aériennes consiste dans le fait qu'avec le temps ils conduisent à la rupture des fils constitutifs, même du conducteur entier⁴⁾.

Ces ruptures, dues au processus continu de flexions alternées du conducteur vibrant, ne se vérifient jamais en correspondance au ventre de l'onde, quoique l'on ait là la plus grande sollicitation aux dites flexions alternées. Ces ruptures se vérifient surtout à la sortie des pinces de suspension qui ne peuvent pas suivre docilement tels mouvements et sont principalement causées par des phénomènes de fatigue du matériel. Il s'en suit qu'aux points de suspension la sollicitation du conducteur est supérieure à celle qui agit en correspondance aux ventres de l'onde.

Le conducteur doit donc, en cas de vibration, supporter les sollicitations suivantes:

- Sollicitation statique = charge de pose + variations dues au jeu des températures + vent;
- Sollicitation à la flexion, due à la flèche statique du conducteur;
- Sollicitation dynamique, due à l'augmentation de longueur à cause des vibrations⁵⁾;

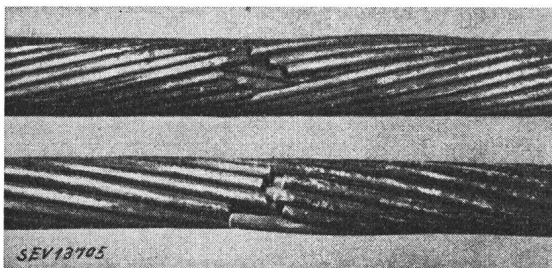


Fig. 3.

Exemple de ruptures par fatigue

- Sollicitation à la flexion, due aux déformations sinusoïdales des vibrations⁶⁾.

Aux endroits de montage des pinces de suspension s'ajoutent des sollicitations dépendant de:

- l'accélération positive et négative de la masse de la pince vibrante;
- le frottement du turillon de la pince;
- les ondes migratoires;
- la compression et le cisaillement au serrage.

Si la somme de ces sollicitations est supérieure à la limite de fatigue du matériel on aboutit à des ruptures.

³⁾ Voir Bibliographie No. 9, 10, 11, 18.

⁴⁾ Voir Bibliographie No. 3, 5, 21, 22.

⁵⁾ Voir Bibliographie No. 1.

⁶⁾ Voir Bibliographie No. 2.

Trois questions se posent donc à l'attention du constructeur de lignes aériennes:

- Comment doit être équipée une ligne pour que des vibrations occasionnelles l'éprouvent le moins possible?
- Comment peut-on empêcher des vibrations dangereuses de s'amorcer sur une ligne existante?
- Comment construit-on une ligne pour qu'elle ne puisse pas vibrer?

Pinces de suspension⁷⁾

Sur le schéma représentant une oscillation (fig. 4), on constate que, théoriquement, au nœud A il ne devrait pas y avoir de sollicitation à la flexion, vu que le rayon de courbure est infiniment grand à cet endroit. Malgré cela, des ruptures dues à la fatigue du matériel se produisent uniquement dans les pinces de suspension, où devrait pourtant se former un

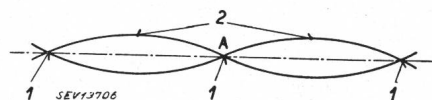


Fig. 4.

Représentation schématique d'une oscillation

- Au rayon de courbure e infiniment grand ne correspond aucune sollicitation à la flexion
- Au rayon de courbure e le plus petit correspond la sollicitation aux flexions alternées la plus élevée

nœud. C'est que, aux pinces ordinaires, lourdes, il ne peut pas se former de nœud proprement dit, car leur masse ne suit pas les mouvements rapides du conducteur ou ne les suit qu'avec un certain retard. La pince devient ainsi un point de réflexion pour les oscillations et le conducteur y est sujet à une forte sollicitation aux flexions alternées.

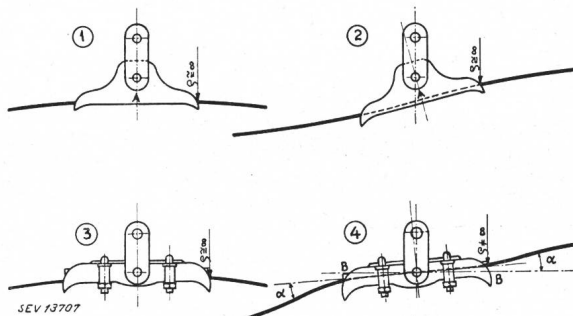


Fig. 5.

Représentation schématique du comportement des pinces de suspension

en haut (1 et 2): pince de suspension type léger
en bas (3 et 4): pince de suspension type lourd

Pos. 1 et 3 Le conducteur est en état de repos et sort tangentielle-ment à la pince de suspension: $e \approx \infty$

Pos. 2 Le conducteur vibre et la pince de suspension, de type convenable, se dispose toujours en position tangentielle au conducteur avec la formation en A d'un nœud: $e \approx \infty$

Pos. 4 Le conducteur vibre, mais la pince de suspension de type lourd, ne peut pas suivre les vibrations, formant toujours en B, qui devient ainsi un point de réflexion, un angle avec le conducteur: $e \neq \infty$

Une bonne pince de suspension doit donc être construite de manière qu'elle n'empêche pas la formation d'un nœud de vibration. A cet effet, elle doit posséder les caractéristiques suivantes:

⁷⁾ Voir Bibliographie No. 7, 18, 21, 42.

1. axe horizontal, autour duquel la pince puisse facilement pivoter;

2. poids réduit et faible moment d'inertie, afin que la pince puisse suivre librement les mouvements du conducteur;

3. compression uniforme du conducteur, afin que dans les couches intérieures ne se forment pas des encochages et des abrasions dangereuses, qui conduisent souvent à la rupture des fils intérieurs;

4. compression spécifique du conducteur pas trop élevée, afin de ne pas réduire sa résistance à la rupture;

5. fréquence propre différente de celle du conducteur, afin d'éviter tout phénomène de résonance;

6. forme telle (éviter les arrêtes vives des extrémités de la pince ou des faibles rayons de courbure), qu'il soit pratiquement impossible tout martèlement entre conducteur et pince.

La pince de suspension reproduite par exemple à la fig. 9 possède ces caractéristiques⁸⁾. La pièce

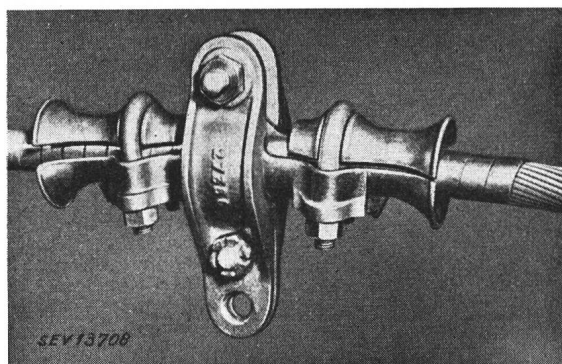


Fig. 6.

Pince de suspension type français, à rotule, en fonte d'alliage d'aluminium

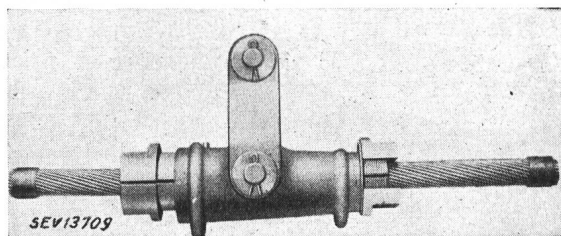


Fig. 7.

Pince de suspension BAS, type anglais, en fonte d'alliage d'aluminium

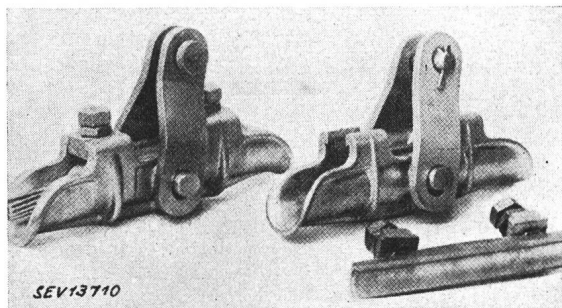


Fig. 8.

Pince de suspension, type italien, en fonte d'alliage d'aluminium

principale est en tôle d'alliage d'aluminium de haute résistance, ce qui a permis de la rendre très légère par rapport aux pinces en fonte. Afin de réduire le

⁸⁾ Voir Bibliographie No. 17, 36, 39.

moment d'inertie, les parties lourdes sont groupées près de l'axe. La pièce de recouvrement est construite de façon à ne pas exercer sur le conducteur de pressions spécifiques trop élevées, susceptibles de réduire la résistance de rupture. Avec cette pince un montage défectueux ou nuisible au conducteur est exclu.

Dans le cas de pinces légères, la réflexion des ondes est réduite à un minimum. Elles peuvent donc se propager dans la portée suivante, où toutefois les conditions de résonance ne sont pas égales à cause de différentes valeurs de portée et des forces exercées par le vent sur les conducteurs. Ces ondes passantes dérangent donc les vibrations dans les portées suivantes.

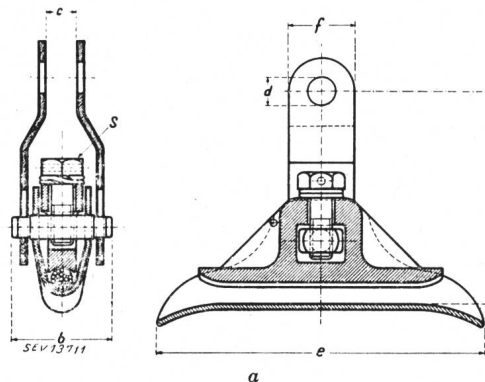


Fig. 9.

Pince de suspension, type suisse, en tôle d'alliage d'aluminium

Il a été constaté qu'avec l'emploi de pinces légères les conducteurs vibrent moins. Elles ne permettent donc pas seulement de réduire les sollicitations, mais aussi de rendre plus rares et plus faibles les vibrations mêmes.

Appareils antivibratoires⁹⁾

Pour combattre les vibrations sur les lignes existantes, de nombreux appareils ont été mis au point. Ils peuvent être classés en deux catégories principales:

a) dispositifs passifs ou renforceurs, qui atténuent l'influence des vibrations¹⁰⁾.

⁹⁾ Voir Bibliographie No. 14, 18, 29, 32, 39, 44.

¹⁰⁾ Voir Bibliographie No. 6.

Parmi ceux-ci il y a lieu de mentionner:

- 1) l'enveloppe simple ou multiple en rubans d'aluminium;
- 2) le renforceur américain, dit «armor rods» (fig. 10)¹¹⁾;
- 3) le renforceur allemand à lamelles (fig. 11).

Ces dispositifs ont pour unique but de renforcer la section du conducteur là où la sollicitation est plus grande,

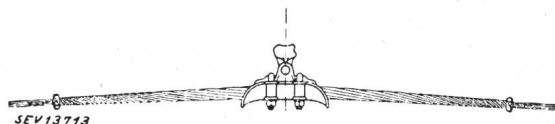


Fig. 10.
Renforceur «armor rods»

c'est-à-dire aux endroits où sont montées les pinces de suspension. Ils ne détruisent donc pas les vibrations, mais servent seulement à augmenter la résistance mécanique des conducteurs et le rayon de courbure de ceux-ci à la sortie des pinces.

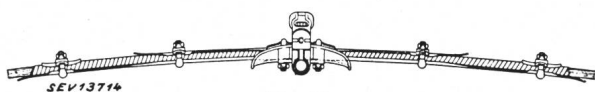


Fig. 11.
Renforceur à lamelles

b) Dispositifs actifs ou amortisseurs, qui ont la tâche de combattre les ondes migratoires, donc d'empêcher l'amorçage des vibrations.

Parmi les types qui ont donné des résultats excellents, il faut mentionner:

- 1) l'amortisseur américain «Stockbridge» (fig. 12)
- 2) l'amortisseur allemand à levier (fig. 13)
- 3) l'amortisseur norvégien pneumatique «Holst» (fig. 14)
- 4) l'amortisseur suisse à ressort (fig. 15)
- 5) l'amortisseur suédois «Elda» (fig. 16)

Le fonctionnement des amortisseurs de vibrations pour lignes aériennes a déjà souvent fait l'objet d'études mathématiques. En général, ces recherches partent d'une supposition erronée. Elles admettent de prime abord l'existence d'une vibration, qui doit être amortie, tandis qu'en réalité il faut empêcher les vibrations de prendre naissance. Donc, pour étudier le fonctionnement de l'amortisseur, il est nécessaire d'analyser l'amorçage des vibrations, qui se forment au moment où des tourbillons d'air se détachent du conducteur.

Dans la construction des amortisseurs il est d'extrême importance que la partie directement reliée au conducteur soit très légère.

L'amortisseur Stockbridge¹²⁾ est constitué par une verge élastique suspendue à son milieu au conducteur et terminée par deux poids égaux.

Des essais il résulte que cet amortisseur possède deux fréquences propres et qu'il est le plus efficace lorsque la fréquence de la vibration de la ligne coïncide avec une de ces fréquences propres. L'amortisseur est construit de telle façon que les fréquences moyennes de la ligne sont comprises entre les fréquences propres de sorte que, pour une variation de la fréquence, l'amortisseur est toujours efficace. Une particularité importante réside en ce que, même s'il fonctionne au droit d'un nœud, l'oscillation du conducteur forcera toujours les poids de l'amortis-

seur à vibrer en raison de leur disposition en porte-faux au-dessous du conducteur.

L'amortisseur à levier de Hofmann¹³⁾ est constitué par un levier en acier articulé excentriquement sur une pince au-dessous du conducteur. Une des deux extrémités du levier est libre de monter et de des-

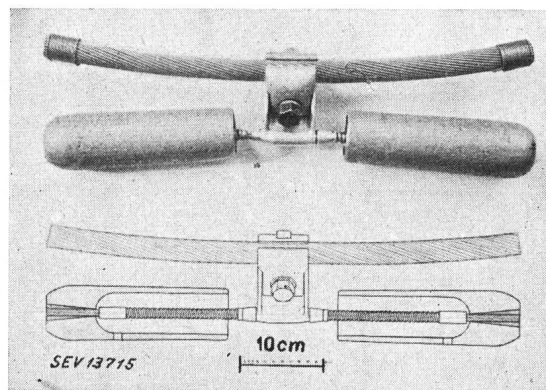


Fig. 12.
Amortisseur Stockbridge

cendre entre une butée dans une guide reliée au conducteur. Ce levier est animé d'un mouvement de

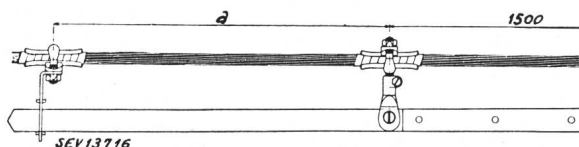


Fig. 13.
Amortisseur à levier

va-et-vient et l'énergie des vibrations de ligne est dissipée par choc, au lieu d'être transmise aux pinces.

L'amortisseur pneumatique de Holst¹⁴⁾ est composé principalement d'un piston r , d'un poids G et d'un ressort k . Ces deux derniers sont choisis de manière à obtenir la fréquence nécessaire des oscillations propres à l'amortisseur. Indépendamment de l'action directe de la masse du poids G , l'amortisseur des oscillations est aussi influencé par les forces de résistance de l'air dans le cy-

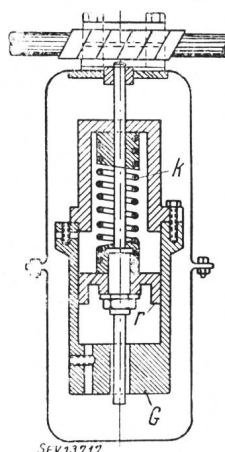


Fig. 14.
Amortisseur pneumatique

lindre. Quoique très efficace, l'emploi de cet amortisseur ne s'est pas répandu à cause de son coût trop élevé.

La fig. 15 représente trois modèles de l'amortisseur à ressort¹⁵⁾. Le poids A est supporté pour les $9/10^{\text{es}}$ par le ressort B et pour $1/10^{\text{e}}$ seulement par la base C sur laquelle il s'appuie. Il s'ensuit qu'un

¹¹⁾ Voir Bibliographie No. 8.

¹²⁾ Voir Bibliographie No. 8, 12, 24.

¹³⁾ Voir Bibliographie No. 9, 12.

¹⁴⁾ Voir Bibliographie No. 4.

¹⁵⁾ Voir Bibliographie No. 17, 34, 39, 42.

mouvement dont l'accélération est égale à $1/10^{\circ}$ de l'accélération terrestre, soit de $0,981 \text{ m/s}^2$, suffit à soulever le poids de sa base. La petite onde migratoire, qui pourrait amorcer la vibration, perd la plus grande partie de son énergie en soulevant le poids et se trouve arrêtée, de telle sorte qu'une vibration ne se produit pas.

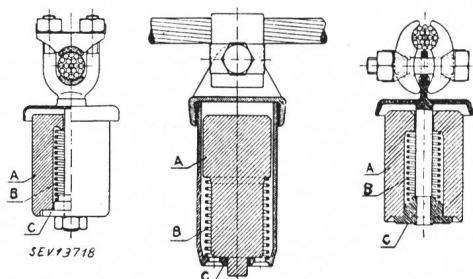


Fig. 15.

Trois exemples d'exécution d'amortisseurs à ressort

L'amortisseur à ressort n'a pas de fréquence propre marquée. Suivant l'énergie avec laquelle l'onde migratoire soulève le poids, ce dernier retombe plus tôt ou plus tard, en désaccordant l'oscillation.

L'amortisseur Elda¹⁶⁾ est constitué par 4 disques en fonte *P*, d'environ 0,5 kg chacun, enfilés sur une tige *S*, qui est fixée au conducteur. Les poids reposent sur une plaque, vissée sur l'extrémité inférieure de la tige. Quand le conducteur est immobile, les poids le sont également, mais aussitôt que le conducteur se met à vibrer, les poids sont soumis à

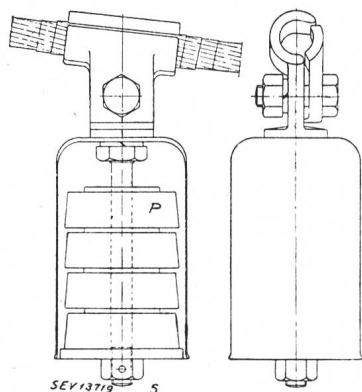


Fig. 16.

Amortisseur Elda

l'action des forces verticales, qui changent rapidement de sens et leur communiquent un mouvement sautillant, de sorte qu'ils s'entrechoquent et se heurtent contre la plaque. L'énergie oscillatoire du conducteur est ainsi absorbée par les poids, sous forme de travail de déformation ou de chaleur. Cet amortisseur ne peut pas entrer en résonance avec les oscillations du conducteur, car sa masse varie avec le nombre des poids qui pèsent sur le conducteur.

Le fonctionnement de l'amortisseur Elda est tout à fait semblable à celui des amortisseurs à plaques et à chaîne. Ces types d'amortisseurs contrairement à ce qui se passe avec le type à ressort, ne peuvent entrer en action que lorsque l'accélération qui leur

est imprimée par les vibrations est supérieure à celle terrestre.

Il est possible que sur des conducteurs équipés avec des dispositifs amortisseurs il se produit tout de même de très rares mouvements : mais ceux-ci ne prennent pas des proportions dangereuses.

Conducteurs antivibratoires¹⁷⁾

Les amortisseurs ne représentent qu'un moyen de fortune. Le conducteur antivibratoire, par contre, est la solution intégrale du problème, car il doit neutraliser, à chaque endroit, le long des portées, l'action de chaque impulsion, ne laissant ainsi s'amorcer ni des ondes migratoires, ni des ondes stationnaires.

Ce conducteur est composé de deux parties mobiles l'une vis-à-vis de l'autre, ayant entre elles un certain jeu, et tendues de telle façon qu'elles ont chacune une fréquence propre différente ou bien une vitesse différente de propagation d'ondes. Lorsqu'un petit mouvement vertical du conducteur a la tendance à se propager dans les deux directions sous forme d'ondes, il tend à acquérir une vitesse plus grande dans l'une des parties que dans l'autre, ce qui est impossible. C'est pourquoi le mouvement est amorti. On peut aussi se représenter que l'une des parties a tendance à exécuter un mouvement vibratoire à plus haute fréquence que l'autre, ce qui provoque des chocs entre les deux parties du conducteur et met rapidement fin à tout mouvement.

Le conducteur antivibratoire (fig. 17) est pratiquement constitué par un conducteur creux en fils d'aluminium ou d'aldréy de section circulaire, à



Fig. 17.

Construction d'un conducteur antivibratoire

l'intérieur duquel se trouve un conducteur en acier qui ne remplit pas tout à fait l'espace libre, mais laisse un jeu de 1 à 3 mm. Pour constater l'éventuelle usure par choc on a descendu des pylônes au bout de 14 mois, un conducteur monté dans une zone particulièrement sujette aux vibrations. Or, même au microscope, il a été impossible de constater la moindre destruction ou usure des fils d'aluminium. Quant à la couche de zinc recouvrant les fils de l'âme, elle a été contrôlée par l'essai d'immersion dans une solution de sulfate de cuivre ; elle fut reconnue parfaitement intacte. Ce résultat fait prévoir avec certitude que, même après un

¹⁶⁾ Voir Bibliographie No. 19.

¹⁷⁾ Voir Bibliographie No. 15, 17, 18, 20, 35, 39, 40, 41, 42, 43.

long service¹⁸), aucune usure entre le conducteur creux et l'âme n'est à craindre. En effet, la sollicitation possible par choc est très faible, vu que le jeu entre l'âme et le conducteur creux n'est que de 1 à 3 mm et que les mouvements du conducteur sont rares et de minime amplitude. Les expériences faites jusqu'à présent dans la construction des lignes ont permis de simplifier considérablement le montage.

Le montage des conducteurs antivibratoires peut être effectué selon deux principes différents. Tous deux ont le même but: à la fin de la pose, l'âme d'acier doit être sollicitée de façon que dans toute circonstance en service normal, sa fréquence propre de vibration soit différente de celle du manteau d'aluminium.

Si, avant la pose, les deux composants sont d'égale longueur, comme dans le cas des conducteurs bimétalliques, les efforts se répartissent proportionnellement à leurs modules d'élasticité; la sollicitation de l'acier est environ trois fois plus grande que celle de l'aluminium, tandis que le rapport de leurs charges de rupture est d'environ 1 : 7.

Pour respecter la condition fondamentale des fréquences propres différentes, il faut solliciter davantage l'acier, de sorte que la répartition soit à peu près proportionnelle aux charges de rupture des deux composants. On obtient ce résultat, soit par une tension préalable de l'acier, soit par un raccourcissement de l'âme pendant la pose du conducteur.

Il en découle deux méthodes de montage :

1. Durant la fabrication des conducteurs, on donne à l'âme d'acier une tension préalable qui la raccourcisse de 0,1 % par rapport au manteau d'aluminium. Au cours de la pose, il est indispensable de veiller particulièrement à ce que cette ten-

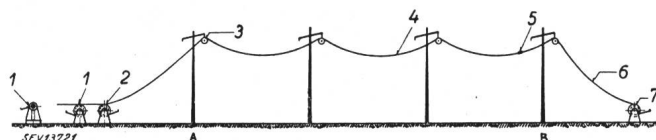


Fig. 18.

Schéma de pose de conducteurs antivibratoires

- | | | |
|---|-------------------------------------|--|
| 1 | Touret de conducteur, treuil à main | |
| 2 | Dérouleuse | |
| 3 | Poulie | |
| 4 | Conducteur antivibratoire | |
| 5 | Joint provisoire | { Joint à encoches pour l'acier
Bas métallique pour l'aluminium |
| 6 | Câblette | |
| 7 | Treuil | |

sion préalable ne disparaisse pas ou ne varie pas par suite du déplacement de la position relative des deux cordes composant le conducteur.

2. Le conducteur est tendu comme s'il s'agissait d'une corde bimétallique commune. Après montage de la pince d'ancrage à une des extrémités, on procède, immédiatement avant le montage de la seconde pince, à la répartition exacte des charges, ce qui aboutit à un raccourcissement de l'acier, et finalement au réglage définitif du conducteur.

¹⁸ Il existe, désormais, depuis 12 ans, des lignes équipées avec des conducteurs antivibratoires qui, ne vibrant pas, n'ont donné lieu à aucune plainte et à aucun dérangement d'exercice.

Conclusions

Le phénomène des vibrations des conducteurs aériens est désormais bien connu. L'action et l'importance de ces vibrations aussi. Les moyens sont mis au point pour les combattre dans chaque cas qui peut se présenter dans la pratique, de façon que l'on peut considérer complètement résolus tous les problèmes y relatifs.

Nous concluons cette note récapitulative avec les paroles prononcées par M. Darrieus au congrès de la CIGRE en 1937 dans la discussion des rapports du groupe 22 :

« Il ne s'agit pas de détruire l'énergie, mais de prévoir la naissance des vibrations. Pour cela, il suffit de se servir de conducteurs antivibratoires ou de disposer, en des points appropriés de la portée, des amortisseurs de vibrations », en ajoutant toutefois, qu'en général il suffit l'emploi de convenables pinces de suspension et d'ancrage (qui doivent également être le plus possible légères¹⁹) et le choix de raisonnables tensions mécaniques de pose des conducteurs²⁰), car leur tendance à vibrer croît avec l'augmentation des dites tensions.

Bibliographie

Rapports CIGRE

1. G. Semenza: Sur l'influence des mouvements oscillatoires, sur la flèche des conducteurs suspendus (CIGRE 1925).
2. P. Perrier: Oscillations mécaniques des conducteurs aériens et leur répercussion sur les pylônes (dance des câbles) (CIGRE 1931, Rapp. 39).
3. A. E. Davison: Conducteurs dansants (CIGRE 1931, Rapp. 95).
4. J. C. Holst: Vibrations des conducteurs (CIGRE 1931, Rapp. 105).
5. M. Garrigue: Sur l'action des vents sur les câbles aériens (CIGRE 1931).
6. J. C. van Staveren: Recherches sur les vibrations des conducteurs aériens (CIGRE 1933, Rapp. 38).
7. P. J. Ryle: La vibration des conducteurs des lignes de transmission. Quelques considérations relatives aux phénomènes se produisant aux attaches (CIGRE 1933, Rapp. 47).
8. H. Leboutoux: Le problème des vibrations doit-il être pris en considération par l'exploitant? (CIGRE 1933, Rapp. 60).
9. J. Nefzger: Dérangements occasionnés par les oscillations mécaniques des conducteurs aériens et leur remède (CIGRE 1933, Rapp. 126).
10. S. Velandar: Vibrations sur lignes de transmission d'énergie et influence du choix des matériaux et des conducteurs (CIGRE 1933, Rapp. 133).
11. A. E. Davison: Etat actuel de la question des vibrations dans les lignes électriques (CIGRE 1933, Rapp. 140).
12. S. Margoules: Les vibrations des conducteurs des lignes aériennes et leur amortissement (CIGRE 1935, Rapp. 204).
13. R. Gibrat: Essai de construction d'une théorie raisonnable, sur les vibrations des lignes aériennes (CIGRE 1935, Rapp. 205).
14. P. J. Ryle: De quelques observations de vibrations sur les lignes de transport d'énergie (CIGRE 1935, Rapp. 214).
15. M. Preiswerk: Câble antivibratoire pour lignes électriques aériennes (CIGRE 1935, Rapp. 218).
16. W. Zammit et M. Hostench: Observations faites sur les vibrations de lignes aériennes à 50 et 70 kV du Sud de l'Espagne (CIGRE 1935, Rapp. 220).

¹⁹ Voir Bibliographie No. 16.

²⁰ Voir Bibliographie No. 33.

17. *M. Preiswerk*: Contribution à la solution du problème des vibrations des lignes aériennes (CIGRE 1937, Rapp. 212).

18. *C. Dovguiallo* et *L. Ter-Mkrtichian*: Classification des mesures préventives contre la vibration des conducteurs de lignes aériennes à haute tension (CIGRE 1937, Rapp. 230).

19. *D. Zetterholm*: Rapport sur les observations et les essais entrepris par la direction royale des forces hydrauliques et concernant les vibrations des conducteurs de lignes aériennes (CIGRE 1939, Rapp. 210).

20. *G. Dassetto*: Montage et calcul des conducteurs antivibratoires (CIGRE 1939, Rapp. 213).

21. *M. Pfender*: Recherches sur les vibrations des conducteurs et des serre-fils des lignes aériennes (CIGRE 1939, Rapp. 224).

22. *A. E. Davison*: Influence des recouvrements de glace sur les conducteurs électriques (CIGRE 1939, Rapp. 229).

Autres rapports

23. *Th. von Karman* et *H. Rubach*: Ueber den Mechanismus des Flüssigkeits- und Luftwiderstandes (Physik. Z. 1912, p. 49).

24. *G. H. Stockbridge*: Overcoming vibration in transmission cables (Electr. World 1925, p. 1304).

25. *T. Varney*: Notes on the vibration of transmission line conductors (Transact. Amer. Inst. Electr. Engrs. vol. 46(1926), p. 791).

26. *T. Varney*: The vibration of transmission line conductors (Transact. Amer. Inst. Electr. Engrs. vol. 47(1928), p. 799).

27. *Schwenkhagen*: Seilschwingungen auf Hochspannungsfreileitungen, ihre Folgeerscheinungen und ihre Bekämpfung (Techn. Mitt. Studiengesellschaft f. Hochspannungsanlagen Nr. 20).

28. *E. Bate*: The vibration of transmission line conductors (J. Inst. Engrs.-Australia vol. 2(1930), p. 277; vol. 3(1931), p. 169).

29. *P. J. Ryle*: Two transmission-line problems (Inst. Electr. Engrs. vol. 69(1931), p. 805...849).

30. *R. A. Monroe* et *R. L. Templin*: Vibration of overhead transmission line (Electr. Engng. vol. 51(1932), p. 482...562).

31. *H. Schmidt* et *P. Behrens*: Theoretische und experimentale Untersuchungen über Seilschwingungen (ETZ vol. 54(1933), p. 603).

32. *G. Dassetto*: Sui conduttori di alluminio (38° Réunion AEI, 1933, Rapp. 5).

33. *M. Artini*: Le vibrazioni sulle linee aeree in relazione alle caratteristiche meccaniche dei conduttori (Energia elettr. vol. 11(1934), p. 713...718).

34. *M. Preiswerk*: Ein Mittel zur Dämpfung der Schwingungen von Freileitungsseilen (Bull. SEV vol. 25(1934), p. 252...253).

35. *M. Preiswerk*: Schwingungsfreie Seile für Freileitungen (ETZ vol. 55(1934), p. 1225...1226).

36. *M. Preiswerk*: Eine neue Tragklemme für Freileitungen (Aluminium 1934, Novembre).

37. *H. B. Buchanan*: Vibration analysis transmission line conductors (Electr. Engng. vol. 53(1934), p. 1478...1485).

38. *G. Dassetto*: Metodi di misura delle vibrazioni su linee elettriche (40° Réunion AEI 1935, Rapp. 6).

39. *G. Dassetto*: Vibrazioni dei conduttori e mezzi per eliminarle (42° Réunion AEI 1937, Rapp. 122).

40. *M. Preiswerk*: Verlegungsmethoden schwingungsdämpfender Seile (Aluminium 1937, Nr. 11).

41. *P. Behrens*: Verlegung schwingungsdämpfender Stahlaluminiumleitungen (Aluminium 1938, Nr. 1).

42. *G. Dassetto*: Dalle vibrazioni ai conduttori antivibranti (Alluminio 1938, Nr. 2).

43. *H. Glasser*: Conducteur antivibratoire (Rev. gén. électr. vol. 44(1938), p. 42...43).

44. *E. W. W. Double* et *W. D. Tuck*: La vibration des conducteurs des lignes aériennes (Rev. gén. électr. vol. 46(1939), p. 165...175 et 201...212).

Une bibliographie complète de tous les arguments intéressant les phénomènes vibratoires est donnée par le recueil

Bibliography — Vibration in electrical conductors including allied researches

édité par la Power Transmission and Distribution Committee, Amer. Inst. Electr. Engrs., Toronto.

Adresse des auteurs:

M. Preiswerk, Vice-directeur de la S. A. pour l'Industrie de l'Aluminium, Lausanne-Ouchy.

G. Dassetto, Ingénieur de la S. A. pour l'Industrie de l'Aluminium, Lausanne-Ouchy.

Das Kommandomikrophon

Von *Josef Müller-Strobel*, Zürich

621.395.61 : 654.93

Das Kommandomikrophon, der Uebertragung der Sprache in elektroakustischen Anlagen dienend, zeichnet sich hauptsächlich durch seine hohe Empfindlichkeit bei einer relativ niedrigen Eigenimpedanz des Systems aus. Das System selbst ist unempfindlich gegen mechanische Beanspruchungen und gegen klimatische Einflüsse, z. B. Feuchtigkeit, Kälte usw. Der Frequenzgang ist auf die raumakustischen Erfordernisse solcher Anlagen abgestimmt. Dank des kleinen inneren Widerstandes lassen sich lange Zuleitungskabel verwenden, was bei solchen Anlagen besonders wertvoll ist.

Zwei wichtige Typen von elektroakustischen Uebertragungsanlagen lassen sich unterscheiden. Der Musik- und Sprachübertragung gemeinsam dient der eine Typus; ausschliesslich der Uebertragung von Meldungen, Befehlen, Orientierungen usw. dient der andere. Dieser zweite Typus wird mit Kommandoanlage bezeichnet.

Als Schallempfänger bei Musikdarbietungen sind nur Qualitätsmikrophone, Kondensator-, elektrodynamische, Bändchen- und Kristallmikrophone verwendbar. Primär wird von all diesen akustischen Wandlern ein möglichst gradliniger Frequenzgang

Le maître-microphone destiné à transmettre la voix dans des installations électroacoustiques se distingue surtout par sa haute sensibilité pour une impédance propre relativement faible. Le système lui-même est insensible aux sollicitations mécaniques et climatiques, telles que l'humidité, le froid, etc. La caractéristique de fréquences est réglée de manière à répondre aux exigences acoustiques des locaux. Grâce à la faible résistance interne, on peut utiliser de longs câbles d'amenée, ce qui est particulièrement utile pour les installations de ce genre.

der Spannung, eine zweckmässige Richtcharakteristik und genügende Robustheit für ihre Verwendung in klimatisch geschützten Räumen verlangt. Dem Schallfeld selbst dürfen diese Empfänger nur soviel Energie entziehen, dass keine das Schallfeld merklich störende Transformationen entstehen, weshalb erst sekundär ein hoher Spannungspegel der Wandler gefordert werden kann. Mittels Uebertrager und Mikrophonverstärker erfolgt die Anpassung.

Andere, technisch nicht leicht erfüllbare Bedingungen werden in neuerer Zeit an elektroakustische Empfänger für Kommandoanlagen, an die so-