

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 20 (1929)  
**Heft:** 8

**Artikel:** Influence de la conductibilité des rails sur la valeur de la force électromotrice induite sur les circuits à courant faible par une ligne de traction à courant alternatif

**Autor:** Mutter, T.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1056813>

### **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:** 25.12.2024

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

der Kurve der Leerverluste (Motorverfahren) Fig. 4 wurden die der Erregung des Auslaufversuches Fig. 2 und 3 entsprechenden Leerverluste in die abgeleitete Formel eingesetzt und das Schwungmoment ermittelt.

Es ist:  $N = 23,1$  kW,  
 $n = 66,7$  Umdr./min,  
 $n_0 = 77$  „ „  
 $Z_e = 2800$  Pendelumdrehungen,  
entspricht 381 Rotorumdrehungen.

$$GD^2 = \frac{23,1 \cdot 21,9 \cdot 381 \cdot 10^6}{66,7^2 \cdot 77} = 564\,000 \text{ kg m}^2.$$

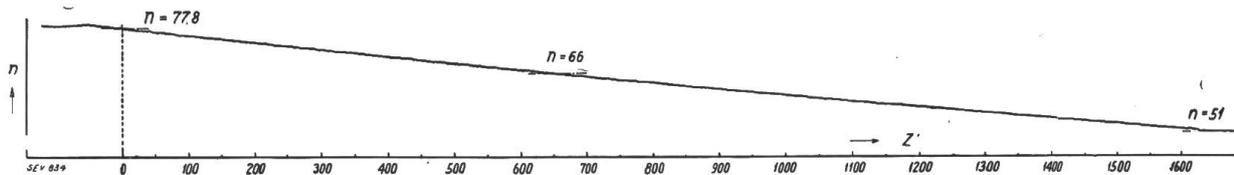


Fig. 5.

Tachogramm eines Auslaufversuches am unerregten Generator, zur Bestimmung der Reibungs- und Ventilationsverluste.

Aus einem Ablaufversuch mit unerregter Maschine (Fig. 5) wurden die Reibungs- und Ventilationsverluste ermittelt.

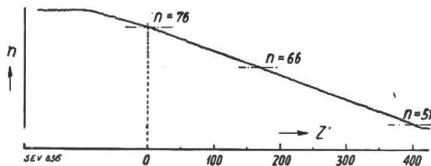


Fig. 6.

Tachogramm eines Kurzschluss-Auslaufversuches zur Bestimmung der Zusatzverluste.

$$\left[ N = \frac{564\,000 \cdot 66,7^2 \cdot 77,8}{21,9 \cdot 630 \cdot 10^6} = 14,0 \text{ kW.} \right]$$

Aus einigen Kurzschlussauslaufversuchen, von denen der Tachographenstreifen des einen hier in Fig. 6 abgebildet ist, konnte die Kurve der Zusatzverluste aufgezeichnet werden. Sie ergab im Vergleich mit der aus dem Uebererregungsverfahren unter Berücksichtigung der Fehlwinkel ermittelten analogen Kurve eine mittlere Differenz von drei kW an Mehrverlusten.

Das Anwendungsbeispiel zeigt, wie mit Hilfe dieser Auswertungsmethode der Auslaufversuche rasch und zuverlässig brauchbare Resultate errechnet werden können.

## Influence de la conductibilité des rails sur la valeur de la force électromotrice induite sur les circuits à courant faible par une ligne de traction à courant alternatif.

Par Th. Muller, Ingénieur en chef-adjoint à la Division de l'Electrification des C. F. F. à Berne.

621.333.167 + 621.319.13(004) : 621.38

L'auteur indique d'abord une méthode simple et pratique pour la détermination rapide de l'intensité de courant alternatif passant dans les rails. Il met ensuite en évidence l'augmentation de conductibilité des rails par suite de l'éclissage électrique des joints et fait ressortir l'importance de cette augmentation de conductibilité en ce qui concerne l'atténuation de la tension induite sur les âmes d'un câble placé dans la plate-forme de la voie.

Der Autor gibt eine einfache und praktische Methode an zur Messung eines in Eisenbahnschienen fließenden Wechselstromes. Anhand von Versuchen geht er dann auf die durch Schienenverbinder bewirkte Vergrößerung der Leitfähigkeit der Schienen ein und zeigt die Bedeutung des Einflusses dieser vergrößerten Leitfähigkeit auf die Verminderung der Spannung, welche in den im Bahnkörper verlegten Kabeln induziert wird.

1. Généralités. Pour les chemins de fer électrifiés au courant alternatif, les rails ne jouent pas le même rôle en ce qui concerne le retour du courant que pour l'électrification au courant continu. Non seulement le rapport de la conductibilité

du rail à celle de la terre est très différent pour ces deux sortes de courant, mais le courant alternatif fait naître dans le rail une force électromotrice induite engendrant à son tour un courant dont l'intensité dépend de la conductibilité des rails, de la nature du terrain, des traverses et du ballast ainsi que du degré d'humidité du sol.

Dans un système de traction à courant alternatif il faut distinguer trois circuits:

- a) le circuit constitué par le fil de contact et la terre;
- b) le circuit formé par les rails et la terre;
- c) le circuit formé par le fil de contact et les rails.

Le premier de ces circuits constitue le primaire, le deuxième le secondaire d'un transformateur sans fer. De ce fait, mis en évidence par les expériences effectuées sur la ligne du Lötschberg en 1917, il résulte que la courbe de répartition du courant passant dans les rails diffère pour les deux formes de courant. La différence s'accroît quand la distance entre les points d'alimentation du rail (éloignement de la locomotive de la sous-station) augmente.

L'intensité moyenne du courant de rail ( $I_2$ ) mérite d'être connue. Par le fait que ce courant est décalé de 160 à 170 degrés sur le courant du fil de contact ( $I_1$ ) et qu'il peut atteindre le 60% de la valeur de  $I_1$ , il est susceptible de réduire dans une large mesure la tension induite sur les circuits à courant faible placés à proximité du chemin de fer. Nous verrons plus loin quelle importance il faut attribuer à la meilleure conductibilité des rails, obtenue par l'éclissage électrique des joints, en ce qui concerne la compensation de la force électromotrice d'induction.

Si la littérature est encore sobre de renseignements relatifs à la mesure du courant passant dans les rails, on ne saurait s'en étonner. La principale difficulté que présentent de tels essais est le peu de temps dont on dispose entre deux trains, même la nuit, pour le déboulonnage des plaques d'éclisses et l'intercalation des instruments de mesure dans les diverses files de rails et en plusieurs points de la voie.

Pour les essais qui nous occupent, on a utilisé une méthode de mesure caractérisée par l'emploi du thermo-couple. Cette méthode permet une détermination rapide de la répartition du courant de rail le long de la voie, car elle ne nécessite pas l'enlèvement, toujours laborieux, des plaques d'éclisses.

2. *Mesure du courant de rail par l'emploi du thermo-couple.* La méthode de mesure est basée sur la détermination de la chute de tension dans un tronçon homogène de rail. Cette détermination nécessite naturellement un étalonnage préalable des instruments. A cet effet on fait passer dans un bout de rail, semblable à celui qui forme la voie, un courant alternatif d'intensité et de fréquence connues et l'on note l'élongation obtenue au galvanomètre relié au thermo-couple. Pour 10 m de rail de 58 cm<sup>2</sup> de section, la résistance apparente est de l'ordre de un milliohm pour la fréquence  $16\frac{2}{3}$ , soit pour 100 A une différence de potentiel à mesurer de 100 mV.

Pour obtenir de bons résultats dans de telles conditions, il convient d'utiliser un thermo-couple de un ohm, combiné à un galvanomètre de dix ohms, donnant une élongation de 120° pour une force thermo-électrique de 0,3 mV. Ce dispositif, représenté par la fig. 1, est suffisamment maniable

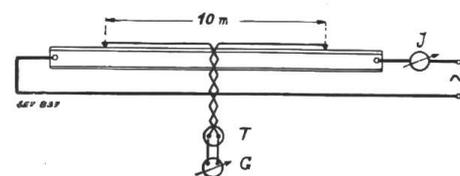


Fig. 1.  
Dispositif de mesure.  
T = Thermo-couple. G = Galvanomètre.

pour pouvoir être utilisé la nuit sur le terrain.

En faisant varier l'intensité du courant on obtient une courbe donnant, pour une fréquence donnée, la valeur de l'intensité du courant dans le rail en fonction de l'élongation du galvanomètre ou en fonction de la chute de tension dans le rail (fig. 2).

3. Répartition du courant de rail. En effectuant un grand nombre de mesures sur les quatre files de rails en plusieurs points de la voie, dans les mêmes conditions d'humidité du sol, on obtient une série de valeurs permettant de tracer la courbe de répartition du courant le long de la voie pour une certaine valeur du courant dans la ligne de contact. Ces courbes sont représentées par la fig. 3, où les lignes en traits fins se rapportent aux rails sans éclisses électriques et les lignes en traits forts aux rails éclissés électriquement.

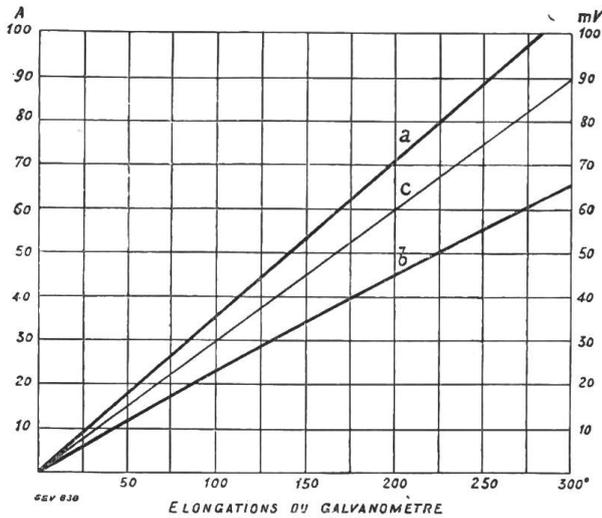


Fig. 2.

Etalonnage du dispositif de mesure.  
 Courbe a = Intensité de courant de fréquence  $16\frac{2}{3}$ .  
 Courbe b = Intensité de courant de fréquence 40.  
 Courbe c = Chute de tension sur 10 m de rail à 50 C.  
 Résistance de 10 m de rail de  $58,5 \text{ cm}^2$  de section  $\left\{ \begin{array}{l} \text{courant continu} = 280 \times 10^{-6} \text{ ohm} \\ \text{courant de } 16\frac{2}{3} \text{ pér.} = 845 \times 10^{-6} \text{ ohm} \\ \text{courant de } 40 \text{ pér.} = 1350 \times 10^{-6} \text{ ohm} \end{array} \right.$

Un essai intéressant est celui qui consiste à rompre la continuité des rails à une petite distance (aux points C et D de la fig. 3) des points d'alimentation. On constate que ni la valeur ni la répartition du courant ne varient par suite de ces interruptions, d'où l'on conclut que le courant de rail n'est plus qu'un courant induit quand la distance entre les points d'alimentation est grande (supérieur à 20 km), car il n'est pas possible que le courant de retour sorte et rentre deux fois dans le rail sans qu'il en résulte une diminution d'intensité. Par contre, pour les petites distances entre les points d'alimentation, il y a évidemment superposition des deux sortes de courant dans un rapport variant avec la distance entre les points A et B (fig. 3) et l'éloignement du point d'alimentation le plus proche.

Le potentiel du rail est zéro au point culminant de la courbe. A partir de ce point sa valeur augmente (positivement d'un côté, négativement de l'autre) avec la distance et atteint un maximum aux points d'alimentation du rail.

L'allure de ces courbes n'est pas la même que celle qui caractérise la répartition du courant de rail dans un système de traction à courant continu (minimum au centre du secteur). Les irrégularités de symétrie proviennent de la nature différente des terrains et de la superstructure de la voie.

Pour éviter une cause d'erreur, il faut que les fils servant à la mesure ne soient pas influencés par un champ magnétique plus fort ou plus faible que celui qui agit sur le rail. Ces fils doivent donc être placés sur le rail même, lorsqu'ils sont parallèles à la voie, et tordus ensemble dans la partie perpendiculaire à celle-ci.

Fig. 3: Diagram showing the distribution of current along a 37.2 km track between points A and B. The top part shows the current source  $I_1$  (16 2/3 PER/SEC) and the return current  $I_2$ . The bottom part is a graph of current intensity (A) vs distance (km) from 0 to 37.2 km. Curves are shown for  $I_1$  and  $I_2$  at 190 A, 150 A, 100 A, and 50 A. Solid lines represent rails with electrical joints, and dashed lines represent rails without. Points C and D are marked on the x-axis.

Fig. 3.

Répartition du courant de rail.

— sans l'éclissage électrique.  
 — avec l'éclissage électrique.

Les intensités moyennes du courant de rail sont consignées dans le tableau II.

4. *Augmentation de la conductibilité des joints de rails par suite de l'éclissage électrique.* La résistance électrique des joints pour un courant alternatif de fréquence donnée ne peut être déterminée, avec quelque exactitude, que par la mesure du courant et de la tension. Cette dernière étant, même pour des courants de plusieurs centaines d'ampères, de l'ordre d'une fraction de volt, elle ne peut être mesurée qu'au moyen du thermo-couple. Il faut aussi admettre pour le joint une certaine longueur (de préférence 1 m).

Les résultats consignés dans le tableau I se rapportent à un joint de rail de 58,5 cm<sup>2</sup> de section (profil I). Ils montrent que la résistance électrique d'un joint

Tableau I.

Résistance électrique d'un joint de rail					
Sans l'éclissage électrique			Avec l'éclissage électrique		
A	m V	Microohms	A	m V	Microohms
150	333	2220	110	35	318
300	643	2140	295	101	342
450	1050	2330	499	186	373
654	869	1327	639	236	370
410	742	1810	354	127	359
200	412	2060	150	50	333
Moyenne		1980	Moyenne		350

diminue de 83 % quand on le munit d'une éclisse électrique constituée par une corde de cuivre de 35 mm<sup>2</sup> de section et 320 mm de longueur, telle qu'elle est représentée par la fig. 4. La résistance électrique de cette éclisse est d'environ 600 microohms, celle du joint éclissé électriquement de 350 microohms et celle d'un joint sans

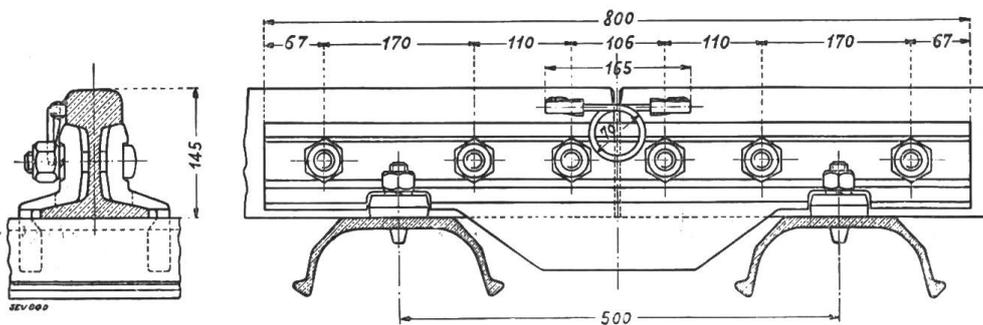


Fig. 4.  
Eclisse électrique.

éclisse électrique d'environ 2000 microohms. Dans ce dernier cas la résistance est peu stable, elle varie, en peu de temps, dans de grandes limites. La résistance apparente du rail de 58,5 cm<sup>2</sup> de section étant, d'après la fig. 1, pour le courant alternatif de fréquence  $16\frac{2}{3}$ , de 84,5 microohms par mètre, on voit d'après ce qui précède quel rôle important le joint joue dans la résistance totale du rail. C'est à 4,

respectivement 24 m de rail que correspond la résistance électrique d'un joint suivant qu'il est ou qu'il n'est pas muni de l'éclisse électrique. En d'autres termes, comme un rail a généralement 15 m de longueur, c'est dans le rapport 2:1 que la conductibilité est augmentée par l'éclissage électrique des joints.

Cette augmentation considérable de conductibilité a naturellement pour effet un accroissement important de l'intensité moyenne du courant de rail. Cet accroissement est mis en évidence par les chiffres du tableau II, d'où il ressort que l'intensité moyenne du courant de rail ( $I_2$ ) est proportionnelle à l'intensité du courant inducteur ( $I_1$ ).

Tableau II.

Sans l'éclissage électrique						Avec l'éclissage électrique				
$I_1$	$I_2$	$\frac{I_2}{I_1}$	A km	A km	$\frac{A \text{ km ext.}}{A \text{ km int.}}$	$I_1$	$\frac{I_2}{I_1}$	A km	A km	$\frac{A \text{ km ext.}}{A \text{ km int.}}$
A	moyen	%	intérieur	extérieur	%	moyen	%	intérieur	extérieur	%
50	19	38	700	70	10	33	66	1241	35	3
100	38	38	1423	130	9	64	64	2389	80	3
150	58	39	2172	180	8	95	63	3541	120	3
190	77	40	2871	210	7	121	64	4492	160	3,5

$I_1$  = courant dans la ligne de contact;  $I_2$  = courant dans les rails.  
 A km int. = Nombre d'ampère-kilomètres entre les points d'alimentation.  
 A km ext. = Nombre d'ampère-kilomètres en dehors des points d'alimentation.

Les vieux joints non éclissés électriquement présentent une résistance si grande qu'ils ne laissent passer aucun courant. C'était le cas pour la ligne à voie unique et à faible trafic de Sulgen à Gossau, le long de laquelle est installée une ligne d'alimentation unipolaire à 15 000 V. Après l'établissement de l'éclissage électrique, on a mesuré, au centre du secteur, une valeur de  $I_2$  égale à  $\frac{1}{3}$  de  $I_1$ .

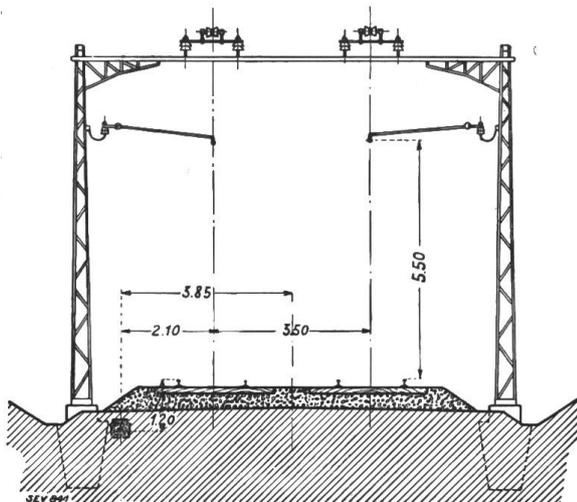


Fig. 5.

Position du câble dans la plate-forme de la voie.

5. Effet de l'éclissage électrique sur la valeur de la tension induite sur les âmes d'un câble posé dans la plate-forme de la voie. Les mesures de la tension induite sur les âmes d'un câble posé dans la plate-forme de la voie (fig. 5) ont été effectuées sur une ligne à double voie de 37,2 km de longueur (Wilerfeld-Herzogenbuchsee) avant l'établissement de l'éclissage électrique. Ces mesures furent répétées après qu'on eut muni de l'éclissage électrique d'abord une file, puis deux, puis trois et enfin les quatre files de rails. Les valeurs obtenues, dans les mêmes conditions d'humidité, sont consignées dans le tableau III.

La diminution de la tension induite est proportionnelle au nombre de files de rails éclissées électriquement et atteint 46,6%. Un tel résultat justifie pleinement l'emploi de l'éclisse électrique, dont le prix de revient n'est pas très élevé.

Tableau III.

	Nombre des files de rails munies de l'éclissage électrique				
	0	1	2	3	4
Tension induite sur les âmes du câble en m V par A km . . . . .	35	31,5	25	22	18,7
Diminution de la tension induite en %	—	10	28,5	37	46,6

En Allemagne où l'on a procédé aux mêmes essais, on a obtenu une diminution de 44,4 %.

L'efficacité de l'éclissage électrique sur la valeur de la tension induite sur une ligne aérienne est évidemment moins grande, du fait que les conducteurs d'une ligne aérienne sont placés plus près de la ligne inductrice et plus loin des rails. Sur un circuit téléphonique de la ligne Sulgen-Gossau, on a mesuré une tension induite de 10,1 V par 100 A km avant l'éclissage, 7,85 V après l'éclissage d'une file de rails et 6,3 V après l'éclissage électrique complet. La réduction de tension n'est donc que de 33,6 %. Mais il faut aussi tenir compte du fait que la ligne est à simple voie et que la somme des courants dans les deux files de rails ne représente que le  $\frac{1}{3}$  de la valeur du courant dans la ligne inductrice.

Pour déterminer l'influence de la fréquence sur la compensation produite par le courant de rail, on a procédé à des expériences sur la ligne du Simplon (Sion-Brigue) et constaté que la compensation augmentait rapidement avec la fréquence. Ce phénomène est précieux, car la sensibilité de l'oreille et de la membrane téléphonique est maximum pour la fréquence 1100, qui est aussi celle des harmoniques de denture des moteurs de traction pour une certaine vitesse de la locomotive <sup>1)</sup>.

Il convient d'étudier de plus près, encore, le rôle des rails dans la puissance inductive des hautes fréquences ainsi que le problème de l'effet cohéreur des joints de rails non munis de l'éclisse électrique, pour de très grandes intensités de courant (celles des courts-circuits).

6. *Effet de l'éclissage électrique sur l'intensité du courant induit dans les enveloppes métalliques du câble.* Les chiffres inscrits dans le tableau IV indiquent la diminution d'intensité des courants induits dans les enveloppes métalliques du câble (manteau de plomb et armure mis à terre dans les stations), par suite de l'affaiblissement du champ magnétique, obtenu par l'éclissage électrique des rails. Cette diminution (en moyenne 47,6 %) de la valeur du courant dans les enveloppes métalliques correspond à la réduction de la force électromotrice d'induction mesurée sur les âmes du câble (46,6 %).

Tableau IV.

Courant induit dans les enveloppes métalliques du câble			
$I_1$	Sans l'éclissage électrique	Avec l'éclissage électrique	Différence
A	A	A	%
100	18,2	9,5	48
150	26,3	13,5	48,6
200	33,9	18,7	46,3
		Moyenne	47,6

<sup>1)</sup> Pour ce qui a trait à l'efficacité de la mise en biais des rainures des moteurs de traction (autre mesure de sécurité applicable au courant fort), voir la note du même auteur dans la revue "Elektrische Bahnen" No. 9, de septembre 1926, page 346.