

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: 28 (1950)

Heft: 7

Artikel: Untersuchungen über die Beeinflussung eines Telephonnetzes durch eine Hochspannungs-Freileitung im Falle eines Erdschlusses = Essais faits en vue de déterminer l'influence exercée sur un réseau téléphonique en cas de mise à terre d'une ligne aérienne à ...

Autor: Meister, Hans

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-874381>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 30.04.2026

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

Untersuchungen über die Beeinflussung eines Telephonnetzes durch eine Hochspannungs-Freileitung im Falle eines Erdschlusses

Von Hans Meister, Bern

621.395.73.013.71

Zusammenfassung. Um die störende Beeinflussung des Telephonbetriebes durch eine 150-kV-Hochspannungsleitung im Falle eines Erdschlusses und die für das Personal und die Telephonanlagen bestehenden Gefahren zu ermitteln, hat die Forschungs- und Versuchsanstalt der Generaldirektion PTT eingehende Untersuchungen angestellt. Die Messungen wurden im Gebiet des Oberhalbsteins (Kt. Graubünden) durchgeführt, wo seit dem Jahre 1947 eine neue 150-kV-Freileitung erstellt und im Jahre 1949 in Betrieb genommen wurde.

Es bot sich hier die seltene Gelegenheit, die Beeinflussung auf der in der Nähe parallel verlaufenden Telephon-Freileitung sowie des neuen Telephon-Erdkabels im praktischen Betrieb gleichzeitig zu untersuchen.

Auf dem Situationsplan (Fig. 2...4) ist der Verlauf der Hochspannungsleitung 150 kV sowie der Telephonfreileitung und des Kabels ersichtlich.

Die Messungen umfassten:

- A. Bestimmung der Bodenleitfähigkeit.
- B. Bestimmung der Längs- und Querspannung bei 50 Hz und Dauererdschluss:
 - a) auf der Freileitung;
 - b) im Kabel.
- C. Bestimmung der Längs- und Querspannung bei 50 Hz bei Ein- und Ausschaltstoss des Erdschlußstromes.

A. Bestimmung der Bodenleitfähigkeit

1. Messverfahren

Die Messungen wurden nach der von *H. Weber*¹⁾ dargelegten Methode durchgeführt. Aus dem dieser Arbeit beigelegten Kurvenblatt ist ersichtlich, dass zur Messung von spezifischen Erdwiderständen bis etwa $10^3 \Omega \text{ m}$ ein Produkt $x\sqrt{f}$ von etwa $2,5 \cdot 10^4 \text{ ms}^{-\frac{1}{2}}$ nötig ist.

Für die Messung ist homogene Bodenleitfähigkeit Voraussetzung; in unserem oft sehr coupierten Gelände sind Meßstrecken von 400 m normalerweise die obere Grenze. Daraus ergibt sich eine Messfrequenz von 4 kHz. Die Erdströme hoher Frequenzen haben eine kleinere Tiefenwirkung als die technischen Frequenzen; man wird deshalb mit 4 kHz andere Verhältnisse erhalten als beispielsweise mit 50 oder $16 \frac{2}{3}$ Hz. Die Praxis zeigte jedoch, dass die Unterschiede vernachlässigbar klein sind.

Es wurden Versuche gemacht, um die Oberwellen von Hochspannungsleitungen als Erregerstrom auszunützen, wie *Collard* es vorschlägt. Es zeigte sich jedoch, dass der Oberwellengehalt, zufolge der meist sehr symmetrischen Belastung der Hochspannungsleitungen ohnehin geringen Erdströme, zu klein und jedenfalls auch nicht konstant genug ist. Die Messungen wurden deshalb mit einer Telephonfreileitung vorgenommen, die an einem Ende an Erde

¹⁾ Vgl. *H. Weber*. Theoretische Grundlage zu einer Messmethode für die Bestimmung des spezifischen Wechselstrom-Erdwiderstandes. Techn. Mitt. PTT 1950, Nr. 7, S. 257...260 (das heisst in der vorliegenden Nummer).

Essais faits en vue de déterminer l'influence exercée sur un réseau téléphonique en cas de mise à terre d'une ligne aérienne à haute tension

Par Hans Meister, Berne

621.395.73.013.71

Résumé. Le laboratoire de recherches et d'essais de la direction générale des PTT a fait des essais approfondis en vue de déterminer l'influence perturbatrice exercée sur les lignes téléphoniques en cas de mise à terre d'une ligne aérienne à haute tension de 150 kV, et les dangers qui en résultent pour les personnes et les installations.

Les mesures ont été faites dans la vallée d'Oberhalbstein (canton des Grisons) où une ligne aérienne de 150 kV a été construite en 1947 et mise en service en 1949.

On avait ici l'occasion assez rare d'étudier simultanément l'influence exercée sur la ligne aérienne téléphonique courant à proximité de la ligne à haute tension et parallèlement à celle-ci et sur le nouveau câble téléphonique, en service normal.

Le plan de situation (fig. 2...4) indique le tracé de la ligne à haute tension, de la ligne téléphonique aérienne et du câble souterrain.

Les mesures portaient sur

- A. la détermination de la conductibilité du sol;
- B. la détermination des tensions longitudinale et transversale auxquelles donne naissance une mise à terre de longue durée à la fréquence de 50 Hz
 - a) sur la ligne téléphonique aérienne,
 - b) dans le câble souterrain;
- C. La détermination des tensions longitudinale et transversale produites à la fréquence de 50 Hz par les chocs d'enclenchement et de déclenchement du courant de mise à terre.

A. Détermination de la conductibilité du sol

1. Procédé de mesure

Les mesures ont eu lieu d'après la méthode exposée par *H. Weber*¹⁾. Sur la feuille de courbes qui accompagne ce travail, on constate que pour la mesure de résistances de terre spécifiques jusqu'à environ $10^3 \Omega \text{ m}$ un produit $x\sqrt{f}$ d'environ $2,5 \cdot 10^4 \text{ m}^{-\frac{1}{2}}$ est nécessaire.

Il faut que la conductibilité du sol soit homogène; dans notre pays au sol extrêmement varié, on ne peut guère faire des mesures sur plus de 400 m de distance. La fréquence de mesure sera donc de 4 kHz. Les courants de terre à fréquence élevée ont une action en profondeur moindre que ceux à fréquence industrielle; on aura ainsi avec 4 kHz des conditions autres qu'avec 50 ou $16 \frac{2}{3}$ Hz. La pratique a cependant démontré que les différences sont négligeables.

Comme *Collard* le propose, on a essayé d'employer comme courant d'excitation les harmoniques supérieurs du courant des lignes à haute tension. On a constaté cependant que le contenu en harmoniques des courants de terre, déjà faibles en raison de la charge généralement très symétrique des lignes à haute tension, n'était ni assez élevé ni assez constant.

On s'est donc servi pour les mesures d'une ligne téléphonique aérienne mise à la terre à l'une de ses extrémités. Un puissant générateur de fréquences

¹⁾ Voir *H. Weber*. Principe théorique d'une méthode de mesure de la résistance spécifique de la terre pour le courant alternatif. Bull. techn. PTT 1950, n° 7, page 257...260 (c'est-à-dire dans le présent numéro).

gelegt war. Ein leistungsfähiger Tongenerator erzeugte Leitungsströme von 0,1...1 A bei 4 kHz.

Die Messung des magnetischen Feldes wurde mit einem Rahmen von 1 m² Fläche und 500 Windungen vorgenommen (Fig. 1), dessen EMK mit einem selektiven Röhrenvoltmeter (0,5 μV kleinste messbare Spannung) gemessen wurde.

Die zu erwartenden Spannungen bei der vorstehend angegebenen Messanordnung lassen sich wie folgt berechnen:

$$U = 7,95 \cdot 10^8 \cdot I \cdot \frac{m}{\sqrt{f}}$$

U in Volt

I in Ampère

$\frac{m}{\sqrt{f}}$ aus Kurvenblatt

Bei 1 A, 400 m Abstand und $\varrho_e = \frac{1}{\sigma} = 100 \Omega \text{ m}$ ($\sigma = 10^{-13} \text{ scm}^{-2}$) ergeben sich beispielsweise

$$U = 7,95 \cdot 10^8 \cdot 6,7 \cdot 10^{-13} = 0,535 \text{ mV}$$

Da kleinere Gegeninduktivitäten nicht gemessen werden müssen, besitzen wir eine Empfindlichkeitsreserve von 1000, die teilweise zur Verkleinerung des Rahmens dienen könnte.

Für die Messung könnte nun so vorgegangen werden, dass aus Erregerstrom und Rahmen-EMK eines einzelnen Punktes, der weit von der Leitung entfernt ist, der Quotient $\frac{m}{\sqrt{f}}$ und mit Hilfe der Kurven-

scharen der dazugehörige Erdwiderstand bestimmt würde. Leider weist der Boden jedoch immer Inhomogenitäten auf, die teils geologischer Natur sind und teils von unterirdischen Leitern herrühren. Die Auswertung eines einzelnen Punktes kann deshalb zu Fehlschlüssen führen.

Praktisch misst man einige Punkte von $x = 1,5 \text{ m}$ bis etwa $x = 400 \text{ m}$, zeichnet in ein doppeltlogarithmisches Papier direkt die Spannungen auf und bringt sie mit einer der ϱ_e -Kurven (Fig. 5 und 6) zur Deckung. Eine Ausrechnung erübrigt sich dann. Es müssen nur folgende Faktoren gemessen werden:

f = Frequenz des Meßstromes;

x = Abstände der Messpunkte von der Leitung;

U = Spannung am Messrahmen bei den verschiedenen Messpunkten.

Die mit dieser Methode erzielbare Genauigkeit genügt zur Berechnung der Beeinflussung von Telefonleitungen durch Starkstromleitungen. Erforderlich ist jedoch, dass in dem zu messenden Gebiet eine Freileitung verfügbar ist.

2. Praktische Messung des Erdwiderstandes

Die Messungen wurden im Jahre 1948 mit Hilfe der noch bestehenden Telefonfreileitung ausgeführt. Das Tal wurde in zwei Messabschnitte unterteilt (siehe Karte Fig. 2). Die einzelnen Meßstellen sind in den Figuren 3 und 4 eingezeichnet.

vocales permettait d'émettre des courants de 0,1 à 1 ampère à la fréquence de 4 kHz.

Le champ magnétique a été mesuré au moyen d'un cadre de 1 m² d'ouverture (fig. 1), comptant 500 spires, dont la force électromotrice était mesurée par un voltmètre électronique sélectif (tension la plus faible mesurable 0,5 μV).

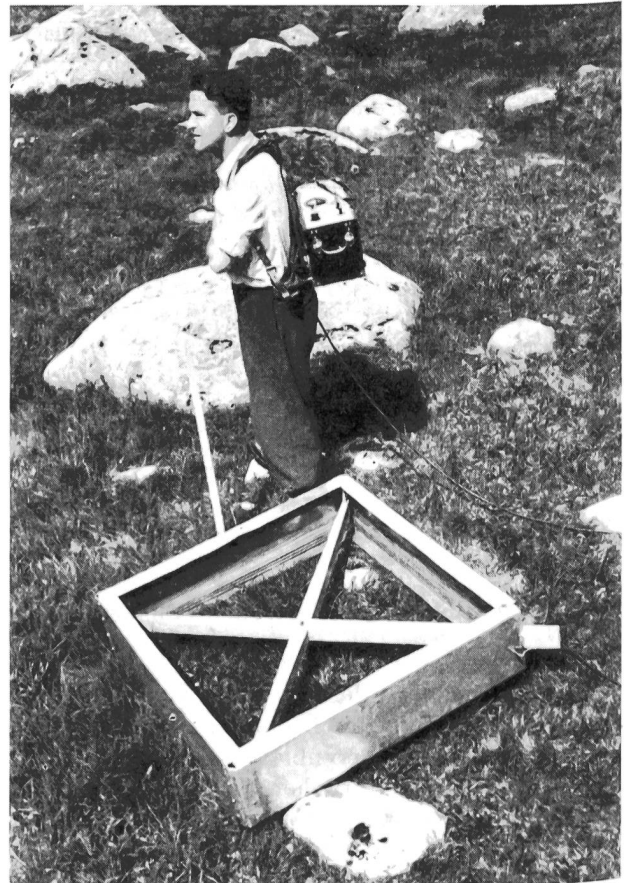


Fig. 1. Tragbare Messeinrichtung
Appareil de mesure portatif

On peut calculer de la manière suivante les tensions que donne ce dispositif:

$$U = 7,95 \cdot 10^8 \cdot I \cdot \frac{m}{\sqrt{f}}$$

U en volts

I en ampères

$\frac{m}{\sqrt{f}}$ d'après le tableau des courbes

Pour $I = 1 \text{ A}$, une distance de 400 m et $\varrho_e = \frac{1}{\sigma} = 100 \Omega \text{ m}$ ($\sigma = 10^{-13} \text{ scm}^{-2}$), on obtiendra par exemple

$$U = 7,95 \cdot 10^8 \cdot 6,7 \cdot 10^{-13} = 0,535 \text{ mV}$$

Comme il n'est pas nécessaire de mesurer de plus faibles inductances mutuelles, la réserve de sensibilité est de 1000; elle peut servir, en partie, à réduire la grandeur du cadre utilisé.

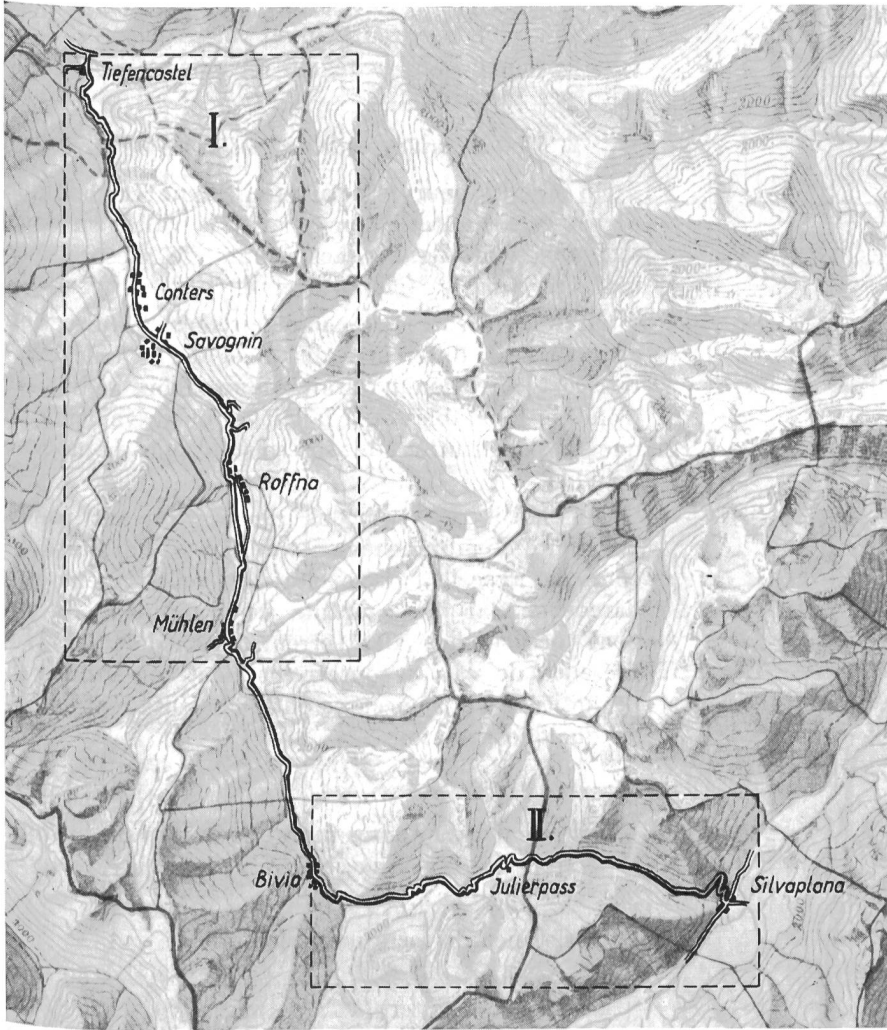


Fig. 2.

Lage der beiden Versuchsstrecken I und II im Gelände.
 Maßstab 1:200 000.
 Zwischen Mühlen und Bivio war zur Zeit der Messungen die Telephon-Freileitung schon abgebrochen
 Situation des tronçons I et II
 Echelle 1:200 000
 Lorsque les mesures ont été faites, la ligne téléphonique aérienne était déjà démolie entre Mühlen et Bivio

Gemessen wurde senkrecht zur Leitungsrichtung, in verschiedenen Entfernungen von der erregenden Leitung. Das Gelände bot nur eine kleine Auswahl von Meßstrecken, und es musste ausserdem noch auf eine möglichst gleichmässige Beschaffenheit der Erde geachtet werden.

Die Auswahl der Meßstrecken wurde so getroffen, dass diese nicht in der Nähe von Leitungsabzweigungen liegen. Durch die Kopplung mit der erregenden Schlaufe können in denselben ziemlich grosse Ströme fliessen. Diese Tatsache kann zu erheblichen Messungenauigkeiten führen. Auch in der Nähe verlaufende Bodenkabel können die Messgenauigkeit stark verschlechtern, was bei einzelnen Meßstellen deutlich in Erscheinung trat.

3. Ausgeführte Messungen

Die ersten Messungen wurden auf dem Teilstück Mons-Roffna (Rona) an folgenden Orten ausgeführt (Fig. 5).

Der gemessene Erdwiderstand liegt bei:

- 1. Gneida $\varrho_e = 150 \Omega \text{ m}$
- 2. Conters (Cunter) $\varrho_e = 200 \Omega \text{ m}$
- 3. Savagnin $\varrho_e = 400 \Omega \text{ m}$
- 4. Savagnin $\varrho_e = 250 \Omega \text{ m}$

On pourrait procéder à la mesure en déterminant, d'après le courant d'excitation et la force électromotrice développée dans le cadre en un seul point éloigné de la ligne, le quotient $\frac{m}{\sqrt{I}}$ et, à l'aide du faisceau de courbes, la résistance de terre correspondante. Cependant, le sol n'a jamais une conductibilité parfaitement homogène, soit en raison de sa constitution géologique, soit du fait de la présence de conducteurs souterrains. En ne faisant la mesure que sur un point, on risque d'arriver à des conclusions fausses.

En pratique, on fait des mesures en quelques points pour lesquels la valeur de x varie entre 1,5 et 400 m environ, on reporte directement les tensions mesurées sur du papier logarithmique dans les deux sens et on les compare à l'une des courbes ϱ_e du tableau fig. 5 et 6.

Il suffit de mesurer les valeurs suivantes:

- f fréquence du courant utilisé pour la mesure;
- x distance entre les points où a lieu la mesure et la ligne;
- U tension dans le cadre aux points où a lieu la mesure.

L'exactitude qu'on peut atteindre par cette méthode suffit pour déterminer l'influence exercée par

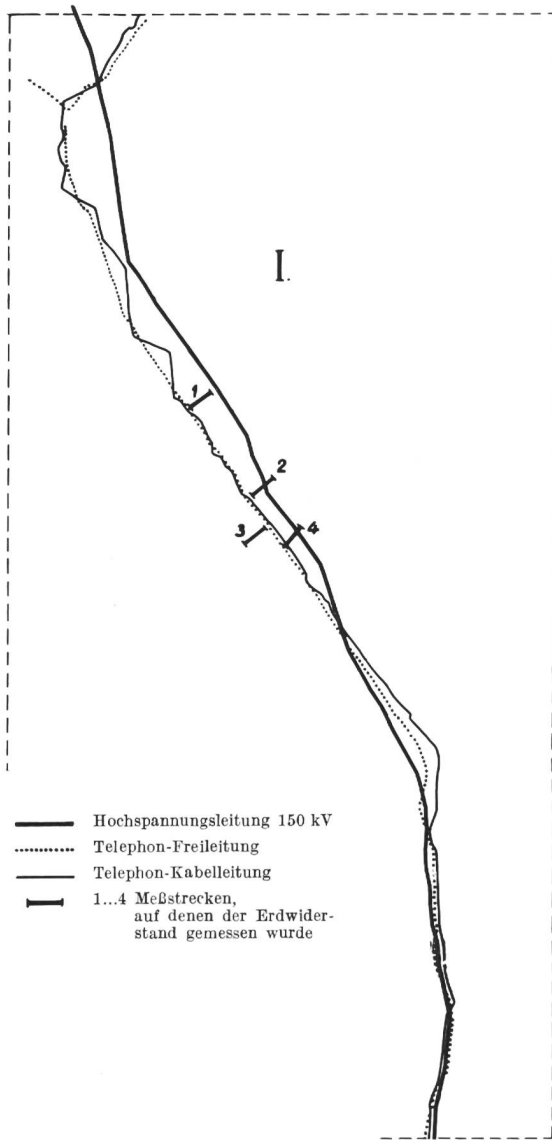


Fig. 3. Versuchsstrecke I — Tronçon I.
 Maßstab, echelle 1:100 000.
 Mittlerer Abstand x_m :
 zwischen Hochspannungs- und Freileitung = 314 m
 Zwischen Hochspannungs- und Kabelleitung = 303 m
 Distance moyenne x_m :
 Entre la ligne à haute tension et la ligne téléphonique
 aérienne = 314 m
 Entre la ligne à haute tension et le câble = 303 m

des lignes à courant fort sur des lignes téléphoniques. Il est toutefois nécessaire qu'on puisse disposer d'une ligne aérienne dans la région où l'on se propose de faire ces mesures.

2. Mesure pratique de la résistance de terre

On se sert pour les mesures de la ligne téléphonique aérienne existante, et on répartit la vallée en deux secteurs (voir fig. 2). Les points de mesure sont indiqués dans les figures 3 et 4.

On fit les mesures perpendiculairement à la direction de la ligne à différentes distances de la ligne excitatrice. La région n'offrirait qu'un choix réduit de tronçons favorables et il fallait en outre veiller à ce que la constitution du sol soit la plus homogène possible.

On choisit des tronçons ne se trouvant pas à proximité d'embranchements de lignes. Par suite du couplage avec la ligne excitatrice, celle-ci peut être parcourue par des courants assez intenses, ce qui peut occasionner des erreurs considérables. La présence de câbles souterrains peut aussi nuire à l'exactitude de la mesure; on le constata clairement en quelques points.

Mesures exécutées

Les premières mesures furent exécutées sur le tronçon Mons-Roffna aux endroits indiqués ci-après (fig. 5).

La résistance de terre mesurée était à

- 1. Gneida $\rho_e = 150 \Omega m$
- 2. Conters (Cunter) $\rho_e = 200 \Omega m$
- 3. Savognin $\rho_e = 400 \Omega m$
- 4. Savognin $\rho_e = 250 \Omega m$

Les mesures suivantes eurent lieu sur le tronçon Bivio-Alp Julier (fig. 6).

- 5. Capalotta $\rho_e = 600 \Omega m$
- 6. Alp Suraqua $\rho_e = 800 \Omega m$

(Cette valeur est estimée, le sol étant très peu homogène en raison de la présence d'un marécage à l'une des extrémités du tronçon.)

- 7. Alp Julier $\rho_e = 2500 \Omega m$

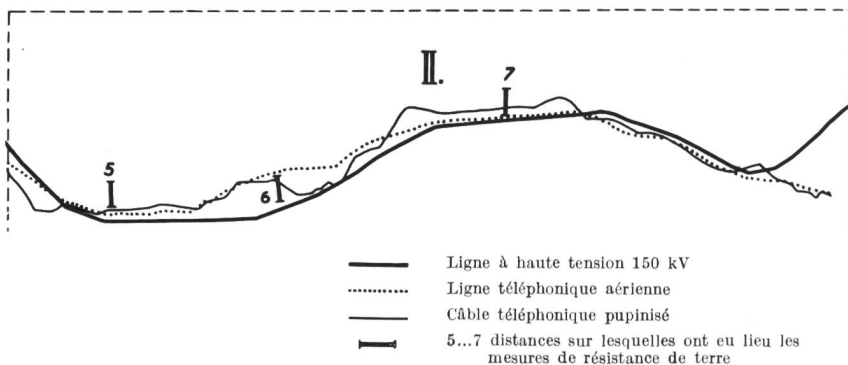


Fig. 4. Versuchsstrecke II — Tronçon II.
 Maßstab, echelle 1:100 000
 Mittlerer Abstand x_m :
 Zwischen Hochspannungs- und Freileitung = 166 m
 Zwischen Hochspannungs- und Kabelleitung = 160 m
 Distance moyenne x_m :
 Entre la ligne à haute tension et la ligne téléphonique
 aérienne = 166 m
 Entre la ligne à haute tension et le câble = 160 m

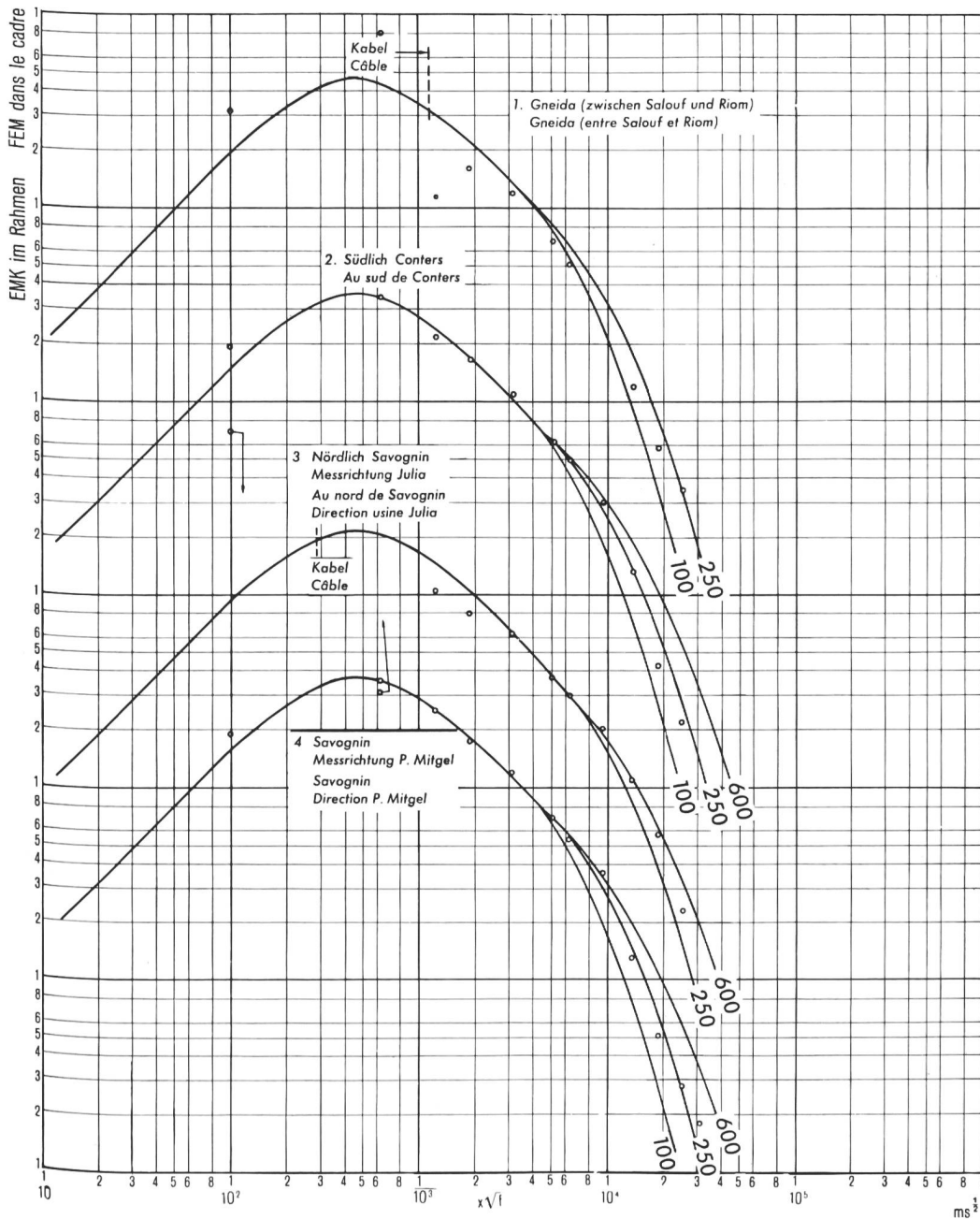


Fig. 5.
 Messung des spezifischen Erdwiderstandes im Oberhalbstein.
 Werte in Ω m
 Mesure de la résistance spécifique de terre dans la vallée d'Oberhalbstein
 Valeurs en Ω m

Die zweiten Messungen erfolgten auf dem Teilstück Bivio-Alp Julier (Fig. 6).

- 5. Capalotta $\varrho_e = 600 \Omega$ m
- 6. Alp Suraqua $\varrho_e = 800 \Omega$ m
 (Dieser Wert ist eine Schätzung, da der Boden infolge eines Sumpfes am Ende der Meßstrecke sehr inhomogen war.)

7. Alp Julier $\varrho_e = 2500 \Omega$ m
 Im Abschnitt Roffna-Bivio wurden keine Messungen ausgeführt, doch kann der Mittelwert von ϱ_e zu ungefähr 300...600 Ω m angenommen werden. In Fig. 5 und 6 sind die Messpunkte in die theoretisch richtigen Kurven eingetragen.

Die Abweichungen der gemessenen Werte rühren offenbar von metallischen Körpern (Kabel, Wasserleitungen) und Änderungen in der Bodenleitfähigkeit (Sumpf) her.

Aucune mesure n'a été faite sur le tronçon Roffna-Bivio, mais la valeur moyenne de ϱ_e peut y être estimée à 300...600 Ω m. Sur les tableaux de courbes, fig. 5 et 6, les points de mesure sont reportés dans les courbes théoriquement exactes.

Les différences constatées entre les valeurs mesurées sont dues à la présence de corps métalliques (câbles, conduites d'eau) et à la conductibilité inégale du sol (marécages).

Les résultats montrent que même dans une région où les conditions sont difficiles, il est possible de faire des mesures offrant une sécurité suffisante.

Die Resultate zeigten, dass auch in relativ schwierigem Gelände noch einigermaßen zuverlässige Messungen möglich sind.

Zur Illustration seien noch einige Bilder der einzelnen Meßstrecken wiedergegeben, die die örtlichen Verhältnisse deutlich zeigen (Fig. 7...11).

B. Bestimmung der Längs- und Querspannung bei einem Erdschluss der 150-kV-Leitung

1. Vorausberechnung der Induktionsspannung

Als Grundlage zu den Berechnungen dient die Formel von Pollaczek²⁾

$$(1') \quad 10^9 M = 2 \ln \frac{2}{\gamma |k| \sqrt{x^2 + (y-\eta)^2}} + 1 - j \frac{\pi}{2} - \frac{4 j |k| (y + \eta)}{3}, \quad x, y, \eta \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} 0 \quad \gamma = 1,7811$$

anzuwenden für $|k| \sqrt{x^2 + (|y| - |\eta|)^2} < \frac{1}{2}$

M wird erhalten in H/cm.

$$k = \sqrt{\omega \cdot \sigma \cdot \mu} \quad \text{m}^{-1} \quad \sigma, \mu \text{ in Giorgi-Einheiten}$$

oder $\sqrt{4\pi \cdot \omega \cdot \sigma} \quad \text{cm}^{-1} \quad \sigma \text{ in absoluten elektromagnetischen Einheiten.}$

Für $\omega = 2 \cdot \pi \cdot 50$ und $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m erhält man $k = 0,02 \sqrt{\sigma} \text{ m}^{-1} \quad \sigma \text{ ausgedrückt in } 1/\Omega\text{m.}$

Die im Oberhalbstein gemessene Erdleitfähigkeit lässt erkennen, dass die numerische Distanz $k \cdot x$ für x bis 500 m nicht grösser als 1 wird. Man sieht auch, dass das letzte Glied der Formel 1' vernachlässigt werden kann, da die Bodenabstände der Leiter der Hochspannungsleitung und der Telephonleitung im Mittel 15 bzw. 7 m betragen. Die Boden-Abstandsdifferenz $y - \eta$ beträgt 8 m und kann normalerweise gegen den seitlichen Abstand x der Leitungen vernachlässigt werden. Da die Gegeninduktivität logarithmisch vom numerischen Abstand abhängt, ist der entstehende Fehler nicht ins Gewicht fallend.

Dadurch vereinfacht sich die Formel (1') zu

$$10^9 M = 2 \ln \frac{2}{\gamma \cdot k \cdot x} + 1 - j \frac{\pi}{2}$$

Eine kleine Umformung ergibt:

$$M = \left[2 \ln \frac{1}{k \cdot x} + 1,23 - j \frac{\pi}{2} \right] \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

Der imaginäre Teil bleibt konstant und ist weder von der Erdleitfähigkeit noch vom Abstand der Leitungen abhängig. Der reelle Teil dagegen hängt von beiden Grössen ab. In Figuren 12 und 13 werden die Zusammenhänge zwischen σ und k bei 50 Hz und dem Realteil von M vom numerischen Abstand $k \cdot x$ dargestellt. Um die Gegeninduktivität einer bestimmten Leitungslänge zu erhalten, ist die ermittelte Grösse M noch mit der Länge des Leitungsstückes zu multiplizieren.

Die induzierte Längsspannung auf einem bestimmten Längsstück berechnet sich dann zu:

$$U = I \cdot \omega \cdot \Sigma |M|$$

²⁾ F. Pollaczek. ENT 4, 1927, S. 18...30.

Les quelques photographies illustrant ce rapport montrent clairement dans quelles conditions les mesures ont été faites (fig. 7 à 11).

B. Détermination des tensions longitudinale et transversale auxquelles donnent naissance une mise à terre à la fréquence de 50 Hz

1. Calcul préliminaire de la tension induite

Les calculs sont basés sur la formule de Pollaczek²⁾.

$$(1') \quad 10^9 M = 2 \ln \frac{2}{\gamma |k| \sqrt{x^2 + (y-\eta)^2}} + 1 - j \frac{\pi}{2} - \frac{4 j |k| (y + \eta)}{3}, \quad x, y, \eta \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} 0 \quad \gamma = 1,7811$$

à employer pour $|k| \sqrt{x^2 + (|y| - |\eta|)^2} < \frac{1}{2}$

M est exprimé en H/cm.

$$k = \sqrt{\omega \cdot \sigma \cdot \mu} \quad \text{m}^{-1} \quad \sigma, \mu \text{ en unités Giorgi}$$

ou $\sqrt{4\pi \cdot \omega \cdot \sigma} \quad \text{cm}^{-1} \quad \sigma \text{ en unités électromagnétiques absolues}$

Pour $\omega = 2 \cdot \pi \cdot 50$ et $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m, on obtient $k = 0,02 \sqrt{\sigma} \text{ m}^{-1} \quad \sigma \text{ exprimé en } 1/\Omega\text{m.}$

Pour les conductibilités du sol mesurées dans l'Oberhalbstein, on voit que la distance numérique $k \cdot x$ n'est pas plus grande que 1 pour x ne dépassant pas 500 m. On voit aussi que le dernier terme de la formule 1' peut être négligé, la distance entre le sol d'une part et les conducteurs de la ligne à haute tension et de la ligne téléphonique d'autre part étant de 15, respectivement de 7 m. La différence entre les distances au sol $y - \eta$ est de 8 m et peut être normalement négligée comparativement à la distance latérale entre les lignes x . L'inductance mutuelle dépendant en progression logarithmique de la distance numérique, l'erreur est sans importance.

La formule 1' est ainsi simplifiée et devient (1') à

$$10^9 M = 2 \ln \frac{2}{\gamma \cdot k \cdot x} + 1 - j \frac{\pi}{2}$$

Une petite transformation donne:

$$M = \left[2 \ln \frac{1}{k \cdot x} + 1,23 - j \frac{\pi}{2} \right] \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

La partie imaginaire reste constante et ne dépend ni de la conductibilité du sol ni de la distance entre les lignes. La partie réelle en revanche dépend de ces deux grandeurs. Les relations entre σ et k à 50 Hz et la partie réelle de M de la distance numérique $k \cdot x$ sont représentées sur les figures 12 et 13. Pour obtenir l'inductance mutuelle d'un tronçon de ligne donné, on doit encore multiplier la grandeur M par la longueur du tronçon.

La tension longitudinale induite sur un tronçon de ligne de longueur donnée se calcule alors ainsi:

$$U = I \cdot \omega \cdot \Sigma |M|$$

²⁾ F. Pollaczek. ENT 4, 1927, p. 18 à 30

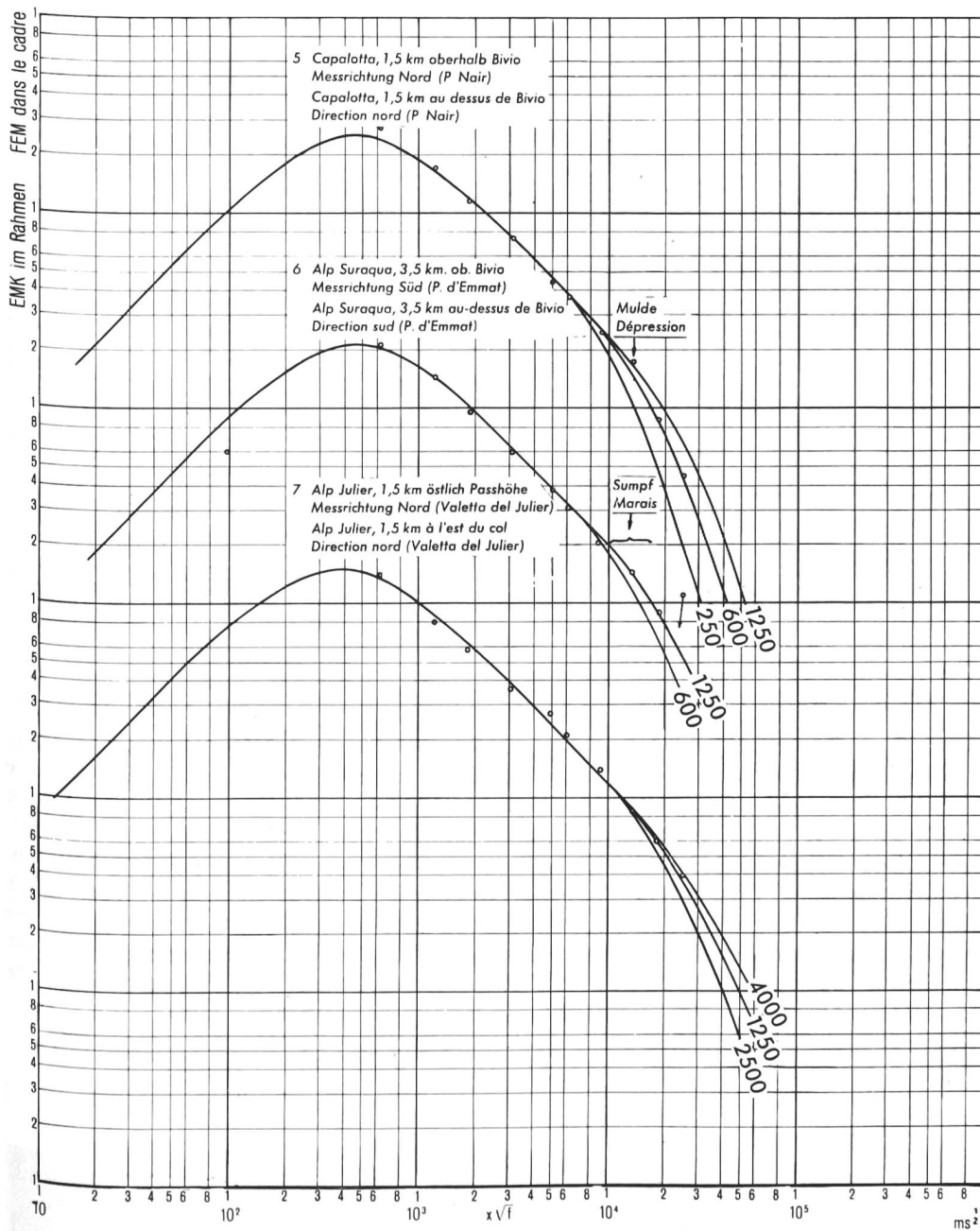


Fig. 6.
Messung des spezifischen Erdwiderstandes am Julierpass.
Werte in Ω m
Mesure de la résistance spécifique de terre au col du Julier.
Valeurs en Ω m

2. Berechnung der Längsspannungen

a) Teilstück Mons-Roffna

Gemäss den Messungen des Erdwiderstandes im Jahre 1948 kann für dieses Teilstück mit einem mittleren spezifischen Widerstand der Erde von $\rho = 200 \Omega$ m gerechnet werden. Dies entspricht einer spezifischen Erdleitfähigkeit von $5 \cdot 10^{-3} 1/\Omega$ m, oder in absoluten Einheiten $5 \cdot 10^{-14} \text{ s/cm}^2$. Nach Pollaczek entspricht dies trockenem Boden.

Die Versuchslänge der Telephonleitung wurde von der Mitte der Ortschaft Mons bis Mitte der Ortschaft Roffna gerechnet. Die Tabelle I zeigt den Rechnungsgang. Die totale Gegeninduktivität ergibt 3,8 mH, so dass die induzierte Spannung bei 50 Hz

$$U = 1,2 \cdot I \text{ Volt ergibt } (I \text{ in Amp.})$$

2. Calcul des tensions longitudinales

a) Tronçon Mons-Roffna

D'après des mesures de résistance de terre faites en 1948, on peut admettre pour ce tronçon une résistance de terre spécifique moyenne de $\rho = 200 \Omega$ m. Cette valeur correspond à une conductibilité spécifique du sol de $5 \cdot 10^{-3} 1/\Omega$ m ou en unités absolues $5 \cdot 10^{-14} \text{ s/m}^2$. Selon Pollaczek, il s'agirait d'un sol sec.

Le tronçon de la ligne téléphonique utilisé pour les essais va du centre du hameau de Mons au centre du hameau de Roffna. Le tableau I montre de quelle manière les calculs ont été faits. L'inductance mutuelle totale est de 3,8 mH, la tension induite est ainsi, à la fréquence de 50 Hz

$$U = 1,2 \cdot I \text{ volts } (I \text{ en ampères})$$

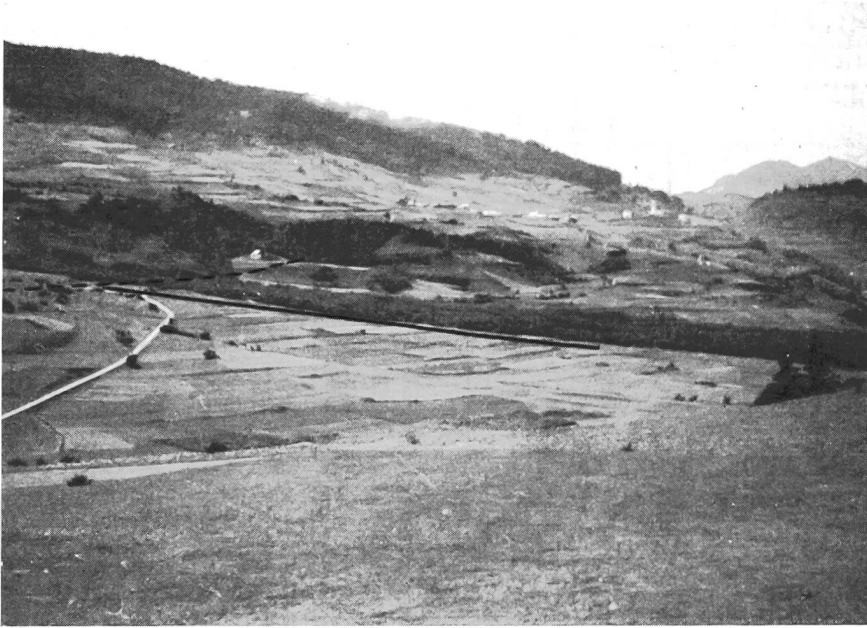


Fig. 7.
Meßstrecke 1 — Tronçon 1
Gneida

b) Teilstück Bivio-Punkt 2191,9, unterhalb Alp Julier

Entsprechend den Messungen des Erdwiderstandes wurde ein spezifischer Widerstand von $1000 \Omega \text{ m}$ angenommen. Dies entspricht einer Erdleitfähigkeit von $10^{-3} \text{ 1}/\Omega \text{ m}$ oder $10^{-14} \text{ s}/\text{cm}^2$, was ebenfalls sehr trockenen Boden bedeutet. Die Gegeninduktivität wurde berechnet für das Leitungsstück Dorf Bivio bis zum Punkt 2191,9 (Berechnung siehe *Tabelle II*). Die totale Induktivität ergab sich zu 6 mH, so dass die induzierte Spannung auf diesem Leitungsstück bei 50 Hz folgender Formel entspricht:

$$U = 1,85 \cdot I \text{ Volt} \quad (I \text{ in Amp.})$$

b) Tronçon Bivio-cote 2191,9 au-dessous d'Alp Julier

D'après les mesures de résistances de terre faites, on peut admettre pour ce tronçon une résistance spécifique de $1000 \Omega \text{ m}$. Cette valeur correspond à une conductibilité du sol de $10^{-3} \text{ 1}/\Omega \text{ m}$ ou $10^{-14} \text{ s}/\text{cm}^2$. Il s'agit donc ici également d'un sol très sec. L'inductance a été calculée pour le tronçon de ligne allant du village de Bivio à la cote 2191,9. (Pour le détail des calculs, voir le tableau II). L'inductance totale est de 6 mH, la tension induite à la fréquence de 50 Hz résulte de la formule suivante:

$$U = 1,85 \cdot I \text{ volt} \quad (I \text{ en ampères})$$



Fig. 8.
Meßstrecken 3 und 4 — Tronçon 3 et 4
Savognin

Aus den vorstehenden Berechnungen ersieht man, dass auf diesen verhältnismässig kurzen Leitungstücken bei einphasigem Kurzschluss auf der Hochspannungsleitung, je nach dem Kurzschlußstrom, ganz erhebliche Spannungen induziert werden können.

Les calculs ci-dessus montrent que, sur ces tronçons relativement courts, des tensions appréciables peuvent être induites sur les lignes téléphoniques en cas de court-circuit sur une des phases de la ligne à haute tension, suivant l'importance du courant de court-circuit.

Tabelle I.
Tableau I.

Leitung
Ligne

Mons-Roffna: $\varrho_e = 200 \Omega \text{ m}$; $k = 1,43 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$

Teilstück Tronçon	Länge l Longueur l km	Abstand x Distance x m	$l \cdot x$ km ²	kx	Realteil von M Partie réelle de M H/m	$\text{Re}(M) \cdot l$ H
1	1,2	500	0,6	0,715	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$0,228 \cdot 10^{-3}$
2	1,8	350	0,63	0,5	2,65	0,427
3	1,75	530	0,93	0,76	1,8	0,315
4	0,8	400	0,32	0,57	2,4	0,192
5	1,45	300	0,435	0,43	2,9	0,420
6	2,35	140	0,33	0,2	4,5	1,055
7	1,2	50	0,06	0,071	6,5	0,780

$$l_{\text{tot.}} = 10,55 \text{ km} \quad \Sigma l \cdot x = 3,305 \text{ km}^2 \quad \Sigma \text{Re}(M) \cdot l = 3,417 \cdot 10^{-3} \text{ H}$$

$$\text{Mittlerer Abstand } x_m = \frac{\Sigma l \cdot x}{l_{\text{tot.}}} = 314 \text{ m}$$

$$\text{Distance moyenne } x_m$$

Mit diesem gerechnet, ergibt:

En calculant avec cette valeur, on obtient:

$$kx_m = 0,45; \quad \text{Re}(M) = 2,85 \cdot 10^{-7}; \quad \text{Re}(M) \cdot l_{\text{tot.}} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ H}$$

Aus der Tabelle I:

D'après le tableau I:

$$M_{\text{tot.}} = 3,42 \cdot 10^{-3} - j \frac{\pi}{2} \cdot l \cdot 10^{-7} = 3,42 \cdot 10^{-3} - j 1,66 \cdot 10^{-3} \text{ H} \quad |M|_{\text{tot.}} = 3,8 \text{ mH}$$

Tabelle II.

Leitung Bivio-Pt.

Tableau II.

Ligne Bivio-cote

2191,9: $\varrho_e = 1000 \Omega \text{ m}$; $k = 6,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1}$

Teilstück Tronçon	Länge l Longueur l km	Abstand x Distance x m	$l \cdot x$ km ²	kx	Realteil von M Partie réelle de M H/m	$\text{Re}(M) \cdot l$ H
1	0,95	50	0,0475	$3,15 \cdot 10^{-2}$	$8,15 \cdot 10^{-7}$	$0,772 \cdot 10^{-3}$
2	1,25	70	0,0875	$4,4 \cdot 10^{-2}$	7,45	0,932
3	2,5	320	0,8	$2,0 \cdot 10^{-1}$	4,5	1,125
4	1,65	150	0,25	$9,45 \cdot 10^{-2}$	5,9	0,972
5	2,0	20	0,04	$1,26 \cdot 10^{-2}$	10	2

$$l_{\text{tot.}} = 7,35 \text{ km} \quad \Sigma l \cdot x = 1,225 \text{ km}^2 \quad \Sigma \text{Re}(M) \cdot l = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ H}$$

$$\text{Mittlerer Abstand } x_m = \frac{\Sigma l \cdot x}{l_{\text{tot.}}} = 166 \text{ m}$$

$$\text{Distance moyenne } x_m$$

Mit diesem gerechnet, ergibt:

En calculant avec cette valeur, on obtient:

$$kx_m = 0,1; \quad \text{Re}(M) = 5,85 \cdot 10^{-7}; \quad \text{Re}(M) \cdot l_{\text{tot.}} = 4 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \text{ H}$$

Aus der Tabelle II:

D'après le tableau II:

$$M_{\text{tot.}} = 5,8 \cdot 10^{-3} - j \frac{\pi}{2} \cdot l \cdot 10^{-7} = 5,8 \cdot 10^{-3} - j 1,15 \cdot 10^{-3} \text{ H} \quad |M|_{\text{tot.}} = 5 \cdot 9 \text{ mH}$$

3. Praktische Messungen der Induktionsspannung Allgemeines

Daten der Hochspannungsleitung

Drehstromsystem: Sternpunkt direkt geerdet
Phasenleiter: 150 mm² Cu
Erdseil: 60 mm² Stahl
Betriebsspannung: 86,7/150 kV

Das Erdseil wurde im Juliakraftwerk aus Sicherheitsgründen isoliert, sein Einfluss auf die induzierte Längsspannung ist seines verhältnismässig grossen Widerstandes wegen jedoch sehr klein.

Daten der Telephonfreileitung

Drahtdurchmesser 3 mm Bronze
Schlaufenwiderstand: Tiefencastel-Roffna 80 Ω
Bivio-Silvapiana 73 Ω

Daten des Kabels

Sternviererverseilt, H-88,5, pupinisiert.

Eisenbandarmiert

Tiefencastel-Mühlen 18,7 km 60×2×1 mm
Mühlen-Bivio 7,12 km 60×2×1 mm
Bivio-Silvapiana 13,2 km 24×2×1 mm

Schutz	Kabel 60×2	Kabel 24×2
Bleimantel	Aussendurchmesser 32 mm	23 mm
Eisenbandarmierung	Dicke 2 mm 2×0,8×40 mm	2 mm 2×0,5×30 mm

Verlegung ohne Schutzkanal in durchschnittlich 70...80 cm Tiefe.

Messprogramm

Messungen in Tiefencastel (Teilstück Tiefencastel-Roffna bzw. Mühlen), 24. IX. 49.

- Spannungsprobe der Leitung mit 160 kV (Schalter in Tiefencastel offen). Nullpunkt in Cavaglia geerdet. Gleichzeitig Messen der statischen Beeinflussung der Telephon-Freileitungen und der Kabelleitungen. Messen der Geräuschspannung.
- Messen der Längs- und Querspannung bei 50 Hz auf der Telephonfreileitung bei Dauererdschlussstrom (ungefähr 50...100 Ampère). Oszillographische Aufnahme gleichzeitig mit Gesamterdschlussstrom.
- Gleiche Messungen wie 2. auf den Kabeladern.
- Messen der Geräuschspannungen:
 - auf Freileitung,
 - auf Kabelleitung.
- Messen der Längs- und Querspannung bei Ein- und Ausschaltstoss (50 Hz) auf der Telephonfreileitung (Generatorspannung auf ungefähr $\frac{1}{2} U$ reduziert). Oszillographische Aufnahme gleichzeitig mit Gesamterdschlussstrom.
- Gleiche Messungen wie 5. auf den Kabeladern.

3. Mesures de la force électromotrice induite Généralités

Caractéristiques de la ligne à haute tension

Système triphasé: point neutre mis directement à la terre
Conducteurs de phase: 150 mm² Cu
Câble de mise à terre: 60 mm² acier
Tension de service: 86,7/150 kV

Dans l'usine de la Julia, le câble de mise à terre a été isolé pour des motifs de sécurité; son influence sur la tension longitudinale induite est cependant très faible en raison de sa résistance relativement élevée.

Caractéristiques de la ligne téléphonique aérienne

Diamètre du fil 3 mm, bronze
Résistance de la boucle: Tiefencastel-Roffna 80 Ω
Bivio-Silvapiana 73 Ω

Caractéristiques du câble

Quartes en étoiles, H-88,5, pupinisé.

Armure de feuillard

Tiefencastel-Mühlen 18,7 km 60×2×1 mm
Mühlen-Bivio 7,12 km 60×2×1 mm
Bivio-Silvapiana 13,2 km 24×2×1 mm

Protection	Câble 60×2	Câble 24×2
Gaine de plomb	Diamètre extérieur 32 mm	23 mm
Armure de feuillard	Epaisseur 2 mm 2×0,8×40 mm	2 mm 2×0,5×30 mm

Câble posé sans canal protecteur à une profondeur moyenne de 70 à 80 cm.

Programme de mesure

Mesures faites à Tiefencastel (Tronçon Tiefencastel-Roffna, respectivement Mühlen) 24. IX. 49.

- Essai de tension de la ligne sous 160 kV (interrupteur ouvert à Tiefencastel). Point neutre mis à la terre à Cavaglia. Mesure simultanée de l'influence statique exercée sur les lignes téléphoniques aériennes et sur les circuits en câble. Mesure de la tension psophométrique.
- Mesure de la tension longitudinale et de la tension transversale à 50 Hz sur la ligne téléphonique aérienne en cas de mise à terre de longue durée de la ligne à haute tension (courant de 50 à 100 ampères). Enregistrement simultané à l'oscillographe du courant de terre total.
- Même mesure sur les circuits en câble.
- Mesure des tensions psophométriques
 - a) sur la ligne aérienne
 - b) dans le câble
- Mesure de la tension longitudinale et de la tension transversale produites par les chocs d'enclenchement et de déclenchement (50 Hz) sur la ligne téléphonique aérienne (tension du générateur

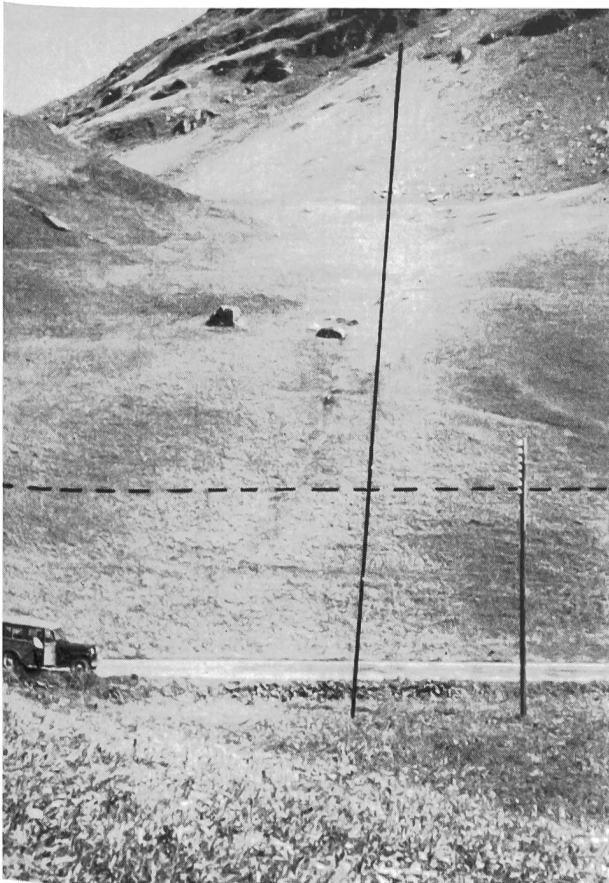


Fig. 9. Meßstrecke 5 — Tronçon 5
Capolotta

7. Messen des im Kabelmantel fließenden Stromes im Oberhalbstein bei Salux und im Albulakabel bei Filisur (gleichzeitig mit Versuchsreihe 3).
8. Messung der Längs- und Querspannung (50 Hz) in drei verschiedenen Telefonschleifen gleichzeitig bei Dauererdschluss (Freileitung).

réduite à $\frac{1}{2} U$ environ). Enregistrement simultané à l'oscillographe du courant de terre total.

6. Même mesure sur les circuits en câble.
7. Mesure du courant circulant dans la gaine des câbles de l'Oberhalbstein près de Salux et de l'Albula près de Filisur (simultanément avec la série de mesures mentionnée sous 3).
8. Mesure de la tension longitudinale et de la tension transversale (50 Hz) sur 3 circuits téléphoniques simultanément en cas de mise à terre de longue durée (ligne aérienne).

Mesures faites à Bivio (Tronçon Bivio-Silvaplana)
25. IX. 49.

1. Mesure de la tension longitudinale et de la tension transversale à 50 Hz sur la ligne téléphonique aérienne en cas de mise à terre de longue durée de la ligne à haute tension (même régime de courant que pour la mesure analogue à Tiefencastel).
2. Même mesure sur les circuits en câble.
3. Mesure des tensions psophométriques
 - a) sur la ligne aérienne,
 - b) dans le câble.
4. Mesure de la tension longitudinale et de la tension transversale produites par les chocs d'enclenchement et de déclenchement (50 Hz) sur la ligne téléphonique aérienne (tension du générateur réduite).
5. Même mesure sur les circuits en câble.
6. Mesure du courant circulant dans la gaine du câble au sommet du col du Julier et dans la gaine du câble de l'Albula près de Filisur (simultanément avec la série de mesures mentionnée sous 2).
7. Mesure de la tension longitudinale et de la tension transversale sur 3 circuits téléphoniques simultanément en cas de mise à terre de longue durée (ligne aérienne).



Fig. 10.
Meßstrecke 6 — Tronçon 6
Alp Suraqua



Fig. 11.
Meßstrecke 7 — Tronçon 7
Alp Julier

Messung in Bivio (Teilstück Bivio-Silvaplana)
25. IX. 49.

1. Messen der Längs- und Querspannung bei 50 Hz auf der Freileitung bei Dauererdschluss (Strom-einstellung genau gleich wie für die analoge Messung in Tiefencastel).
2. Gleiche Messungen wie 1. auf der Kabelleitung.
3. Messen der Geräuschspannungen:
 - a) auf der Freileitung,
 - b) auf der Kabelleitung.
4. Messung der Längs- und Querspannung bei Ein- und Ausschaltstoss (50 Hz) auf der Freileitung (Generatorspannung reduziert).
5. Gleiche Messung wie 4. auf der Kabelleitung.

Mesures exécutées en 1949 et leurs résultats

1. Influence statique

La tension composée sur la ligne à haute tension fut portée à 150 kV, la tension d'une phase contre la terre était ainsi de 86,7 kV.

Pour cette mesure, tous les circuits de la ligne téléphonique aérienne furent isolés contre la terre, et la tension et le courant dans chaque circuit (les deux fils reliés en parallèle) mesurés contre la terre. Sur le tronçon inférieur, la longueur soumise à l'influence statique était de 16,7 km (de Tiefencastel jusqu'à 1 km au-dessous de Mühlen), sur le tronçon supérieur, elle était de 12,5 km.

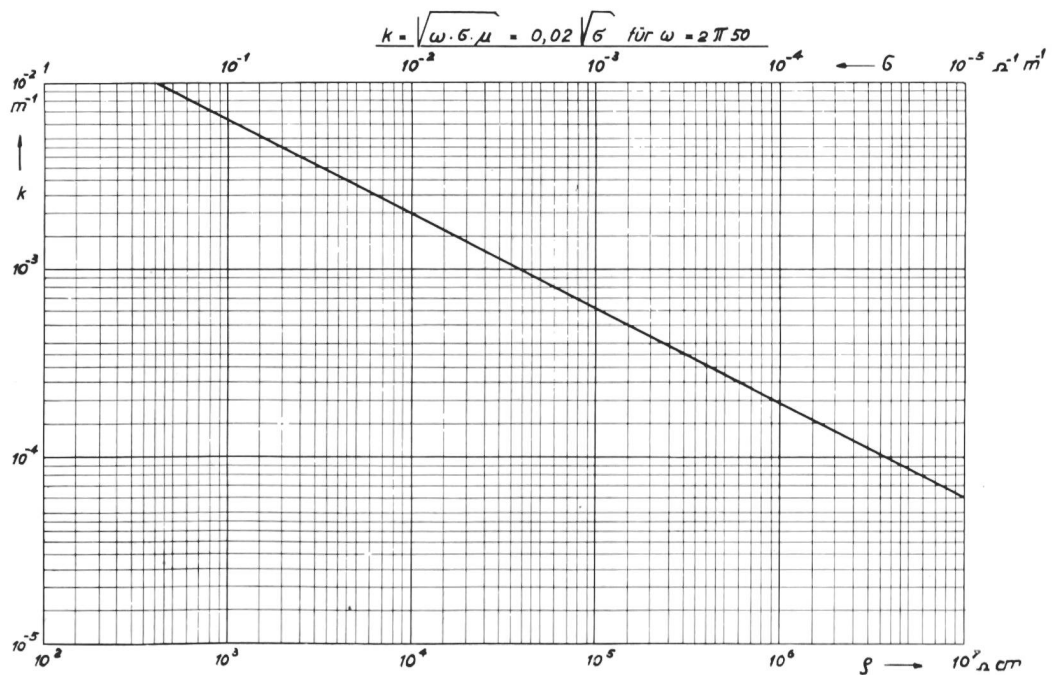


Fig. 12.
Abhängigkeit von k von
der spezifischen Erdleit-
fähigkeit σ
Relation entre k et la
conductivité de terre
spécifique σ

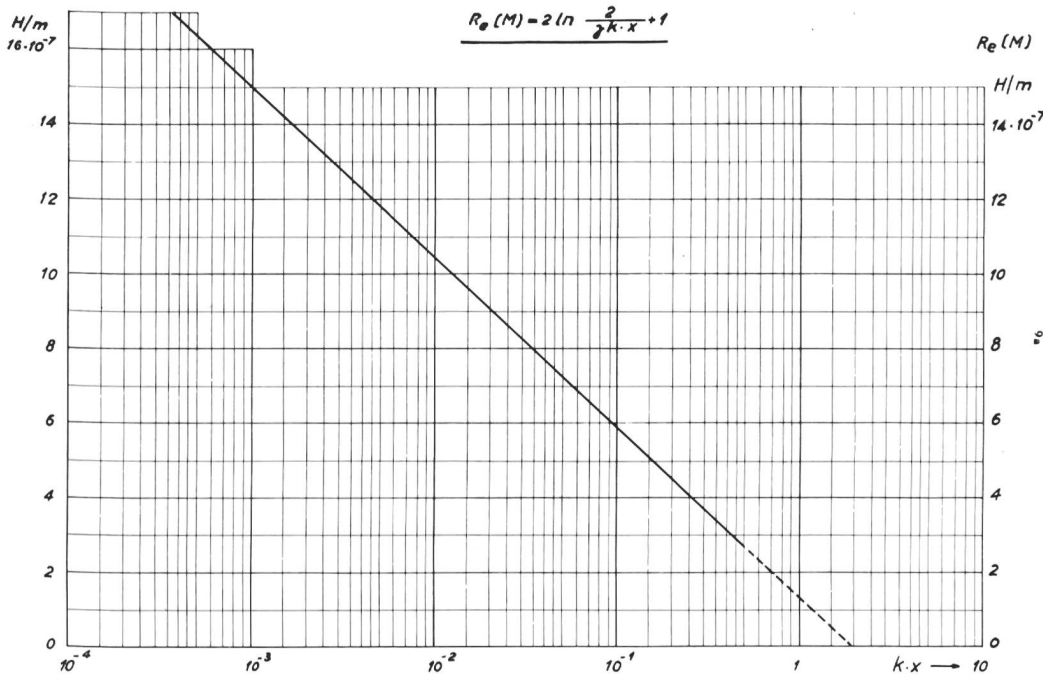


Fig. 13.
 Abhängigkeit des Realanteiles der Kopplungsinduktivität zweier Leitungen von kx (gültig für $kx < 0,5$)
 Relation entre la partie réelle de l'inductance de couplage de deux circuits et kx (valable pour $kx < 0,5$)

- 6. Messung des im Kabelmantel fließenden Stromes auf Julierpasshöhe und im Albulakabel bei Filisur (gleichzeitig mit Versuchsreihe 2).
- 7. Messung der Längs- und Querspannung in drei Telefonschleifen gleichzeitig bei Dauererdschluss (Freileitung).

Im Jahre 1949 ausgeführte Messungen und deren Ergebnisse

1. Statische Beeinflussung

Die Hochspannungsleitung wurde auf eine verkettete Spannung von 150 kV gebracht, die Spannung einer Phase gegen Erde betrug demnach 86,7 kV.

Für diese Messung wurden sämtliche Schleifen der Telefonfreileitung gegen Erde isoliert und Spannung und Strom je einer Schleife (beide Drähte parallel geschaltet) gegen Erde gemessen. Für das untere Teilstück beträgt die statisch beeinflusste Strecke (Tiefencastel bis 1 km unterhalb Mühlen) 16,7 km, für das obere Teilstück 12,5 km.

a) Tiefencastel-Mühlen

Schleife	U	I
1	29 Volt	1,8 mA
2	36 Volt	2,4 mA
3	32 Volt	2,5 mA
4	30 Volt	2,4 mA
Mittelwert	32 Volt	2,3 mA

b) Bivio-Silvapiana

Schleife	U	I
1	79 Volt	3,6 mA
2	99 Volt	3,6 mA
Mittelwert	89 Volt	3,6 mA

Für die Paßstrecke wurde der Versuch noch durchgeführt, wenn nur eine Phase mit 86,7 kV gegen Erde unter Spannung steht. Einpolig 86,7 kV gegen Erde, die andern Leiter spannungsfrei.

a) Tiefencastel-Mühlen

Circuit	U	I
1	29 volts	1,8 mA
2	36 volts	2,4 mA
3	32 volts	2,5 mA
4	30 volts	2,4 mA
Valeur moyenne	32 volts	2,3 mA

b) Bivio-Silvapiana

Circuit	U	I
1	79 volts	3,6 mA
2	99 volts	3,6 mA
Valeur moyenne	89 volts	3,6 mA

Sur le tronçon traversant le col, on a encore fait l'essai en ne mettant sous tension contre la terre qu'une phase de 86,7 kV, les autres conducteurs n'étant pas sous tension.

Circuit	U	I
2	275 volts	11 mA

Sur les deux autres conducteurs de phases, il y avait donc une compensation du couplage capacitif de 1:2,8.

On a tiré de ces chiffres les valeurs suivantes: Impédance de la ligne téléphonique aérienne (les deux fils reliés en parallèle) contre la terre à 50 Hz:

$$Z = \frac{275 \text{ V}}{11 \text{ mA}} = 25 \text{ k}\Omega$$

Cette valeur correspond à une capacité de

$$C = \frac{1}{\omega Z} = \frac{10^6}{314 \cdot 25000} = 0,127 \mu\text{F}$$

L'impédance de couplage avec une phase de la ligne à haute tension est de

$$Z = \frac{86,7 \text{ kV}}{11 \text{ mA}} = 7,9 \text{ M}\Omega$$

Schleufe	U	I
2	275 Volt	11 mA

Durch die beiden andern Phasen tritt also eine Kompensation der kapazitiven Kopplung von 1:2,8 ein.

Aus diesen Zahlen ergeben sich folgende Werte: Impedanz der Freileitung (beide Drähte parallel) gegen Erde bei 50 Hz:

$$Z = \frac{275 \text{ V}}{11 \text{ mA}} = 25 \text{ k}\Omega$$

Das entspricht einer Kapazität von

$$C = \frac{1}{\omega Z} = \frac{10^6}{314 \cdot 25 \cdot 000} = 0,127 \mu\text{F}$$

Die Kopplungsimpedanz mit einer Phase der Hochspannungsleitung beträgt

$$Z = \frac{86,7 \text{ kV}}{11 \text{ mA}} = 7,9 \text{ M}\Omega$$

Das entspricht einer Kapazität von

$$C = \frac{10^6}{314 \cdot 7,9 \cdot 10^6} = 403 \text{ pF}$$

2. Längsspannungen, stationär gemessen

a) Tiefencastel-Roffna

Der Erdstrom wurde auf 32 A eingestellt und im Juliawerk direkt im Sekundärstromkreis des Stromwandlers gemessen; der Strom wurde weiter durch hochohmige Messung des Spannungsabfalles an einem Shunt in der Meßstelle der Telephonzentrale Tiefencastel überwacht.

a) Freileitung, 13,0 km

$$U_{\text{LF}} = 34 \text{ V}, \quad \frac{U_{\text{LF}}}{I} = \frac{34 \text{ V}}{32 \text{ A}} = 1,06 \text{ V/A}$$

Spezifische Längsspannung

$$U_{\text{LF spez.}} = \frac{1,06}{13,0} = 0,082 \text{ V/A, km}$$

Ein Unterschied zwischen den Längsspannungen der vier verschiedenen Schleifen besteht nicht.

b) Kabel Tiefencastel-Mühlen, 18,7 km

$$U_{\text{LK}} = 31 \text{ V}, \quad \frac{U_{\text{LK}}}{I} = \frac{31 \text{ V}}{32 \text{ A}} = 0,97 \text{ V/A}$$

Spezifische Längsspannung

$$U_{\text{LK spez.}} = \frac{0,97}{18,7} = 0,052 \text{ V/A, km}$$

b) Bivio-Silvaplana

Die Messungen wurden bei gleichem Erdstrom vorgenommen; seine Messung erfolgte nur im Juliawerk.

a) Freileitung, 12,5 km

$$U_{\text{LF}} = 73 \text{ V}, \quad \frac{U_{\text{LF}}}{I} = \frac{73 \text{ V}}{32 \text{ A}} = 2,28 \text{ V/A}$$

Cette valeur correspond à une capacité de

$$C = \frac{10^6}{314 \cdot 7,9 \cdot 10^6} = 403 \text{ pF}$$

2. Tensions longitudinales mesurées lorsque le courant de terre est stationnaire

a) Tiefencastel-Roffna

Le courant de terre a été ramené à 32 A et mesuré à l'usine de la Julia directement dans le circuit secondaire du transformateur d'intensité; en outre, il était contrôlé depuis le poste de mesure du central téléphonique de Tiefencastel où l'on mesurait, au moyen d'un instrument à forte résistance ohmique, la chute de tension produite par un shunt.

a) Ligne aérienne, 13,0 km

$$U_{\text{LF}} = 34 \text{ V}, \quad \frac{U_{\text{LF}}}{I} = \frac{34 \text{ V}}{32 \text{ A}} = 1,06 \text{ V/A}$$

Tension longitudinale spécifique

$$U_{\text{LF spéc.}} = \frac{1,06}{13,0} = 0,082 \text{ V/A, km}$$

Il n'y a pas de différence entre les tensions longitudinales mesurées sur 4 circuits différents.

b) Câble Tiefencastel-Mühlen, 18,7 km

$$U_{\text{LK}} = 31 \text{ V}, \quad \frac{U_{\text{LK}}}{I} = \frac{31 \text{ V}}{32 \text{ A}} = 0,97 \text{ V/A}$$

Tension longitudinale spécifique

$$U_{\text{LK spéc.}} = \frac{0,97}{18,7} = 0,052 \text{ V/A, km}$$

b) Bivio-Silvaplana

Les mesures eurent lieu avec le même courant de terre; le courant n'a été mesuré qu'à l'usine de la Julia.

a) Ligne aérienne, 12,5 km

$$U_{\text{LF}} = 73 \text{ V}, \quad \frac{U_{\text{LF}}}{I} = \frac{73 \text{ V}}{32 \text{ A}} = 2,28 \text{ V/A}$$

Tension longitudinale spécifique

$$U_{\text{LF spéc.}} = \frac{2,28 \text{ V/A}}{12,5 \text{ km}} = 0,182 \text{ V/A, km}$$

b) Câble, 13,2 km

$$U_{\text{LK}} = 40 \text{ V}, \quad \frac{U_{\text{LK}}}{I} = \frac{40 \text{ V}}{32 \text{ A}} = 1,25 \text{ V/A}$$

Tension longitudinale spécifique

$$U_{\text{LK spéc.}} = \frac{1,25 \text{ V/A}}{13,2 \text{ km}} = 0,095 \text{ V/A, km}$$

c) Tension longitudinale en cas de court-circuit entre deux phases sans mise à terre

Le courant dont on disposait pour les mesures étant trop faible, il ne fut pas possible de mesurer la tension longitudinale induite, les perturbations dues au chemin de fer étant plus intenses. Il a été constaté qu'en cas de court-circuit sans mise à terre, la valeur

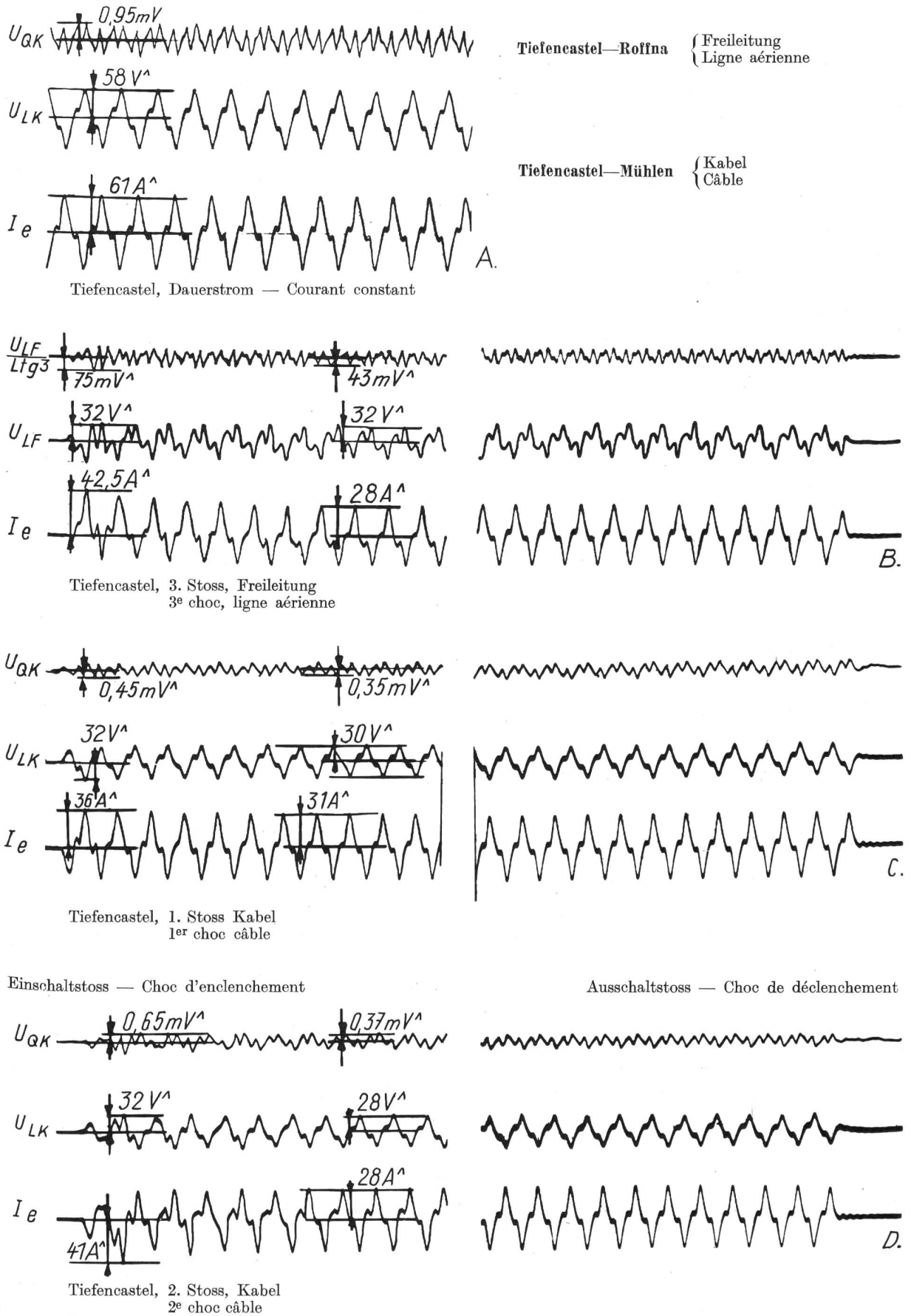


Fig. 14. Oszillogramme der Längs- und Querspannungen auf Freileitung und Kabel der Versuchsstrecke I
Oscillogrammes des tensions longitudinales et transversales sur la ligne aérienne et le câble du tronçon I

Spezifische Längsspannung

$$U_{LF \text{ spez.}} = \frac{2,28 \text{ V/A}}{12,5 \text{ km}} = 0,182 \text{ V/A, km}$$

b) Kabel, 13,2 km

$$U_{LK} = 40 \text{ V, } \frac{U_{LK}}{I} = \frac{40 \text{ V}}{32 \text{ A}} = 1,25 \text{ V/A}$$

Spezifische Längsspannung

$$U_{LK \text{ spez.}} = \frac{1,25 \text{ V/A}}{13,2 \text{ km}} = 0,095 \text{ V/A, km}$$

c) Längsspannung bei Kurzschluss zweier Phasen ohne Erdschluss

Infolge des kleinen Stromes, der für die Messungen zur Verfügung stand, war es nicht möglich, die induzierte Längsspannung festzustellen, da die Störungen durch die Bahn überwiegen. Es wurde festgestellt, dass die Längsspannung bei einem erdschlussfreien Kurzschluss weniger als 10% des Wertes bei einphasigem Erdschluss beträgt.

3. Quer- und Geräuschspannungen

Diese Spannungen wurden an den beidseitig abgeschlossenen Leitungen gemessen, die Geräuschspannungen mit einem Filter nach C.C. I. F., Empfehlungen 1946.

a) Tiefencastel-Roffna

Die Messungen erfolgten wieder bei gleichem Erdstrom von 32 A.

I. Freileitung

Schleufe	Querspannung bei 50 Hz	Geräuschspannung
1	11,2 mV	1,2 mV
2	10,5 mV	1,6 mV
3	65 mV	8,5 mV

II. Kabel Tiefencastel-Mühlen

Ader	Querspannung bei 50 Hz	Geräuschspannung
25	0,55 mV	< 0,1 mV
26	0,45 mV	< 0,1 mV
25/26	0,20 mV	< 0,1 mV

III. Verbindung Tiefencastel-Mühlen

Die Verbindung wurde im Kabel normal über den Automaten aufgebaut und an beiden Enden mit 600 Ω abgeschlossen.

	Querspannung bei 50 Hz	Geräuschspannung
Tiefencastel-Mühlen automatisch	5,3 mV	0,35 mV

b) Bivio-Silvapiana

Erdstrom 32 A

	Querspannung bei 50 Hz	Geräuschspannung
a) Freileitung	9,5 mV	0,52 mV
b) Kabel 945/4	1,0 mV	0,35 mV

4. Spannung der isolierten Leitung gegen Erde

An der Freileitungsschleufe Bivio-Silvapiana wurde die Spannung der isolierten Leitung gegen Erde in

de la tension longitudinale n'atteint pas 10% de ce qu'elle est lorsqu'une des phases est mise à la terre.

3. Tensions transversales et psophométriques

Ces tensions furent mesurées sur les circuits bouclés à leurs deux extrémités, les tensions psophométriques au moyen du filtre recommandé par le C. C. I. F., Recommandations 1946.

a) Tiefencastel-Roffna

Pour ces mesures, le courant de terre fut également maintenu à 32 A.

I. Ligne téléphonique aérienne

Circuit	Tension transversale à 50 Hz	Tension psophométrique
1	11,2 mV	1,2 mV
2	10,5 mV	1,6 mV
3	65 mV	8,5 mV

II. Câble Tiefencastel-Mühlen

Circuit	Tension transversale à 50 Hz	Tension psophométrique
25	0,55 mV	< 0,1 mV
26	0,45 mV	< 0,1 mV
25/26	0,20 mV	< 0,1 mV

III. Communication Tiefencastel-Mühlen

La communication a été établie normalement dans le câble par le central automatique et bouclée aux deux extrémités par des résistances de 600 Ω .

	Tension transversale à 50 Hz	Tension psophométrique
Tiefencastel-Mühlen aut.	5,3 mV	0,35 mV

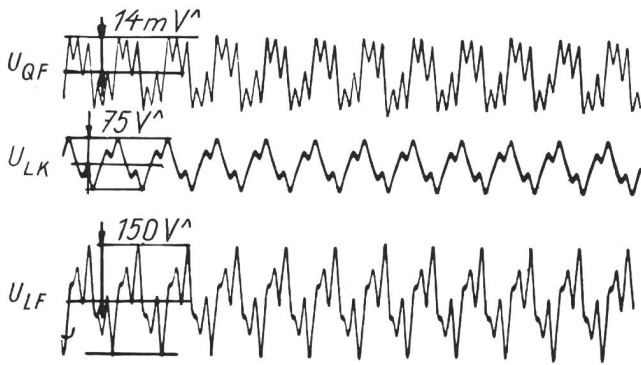
b) Bivio-Silvapiana

Courant de terre 32 A

	Tension transversale à 50 Hz	Tension psophométrique
a) Ligne aérienne	9,5 mV	0,52 mV
b) Câble 945/4	1,0 mV	0,35 mV

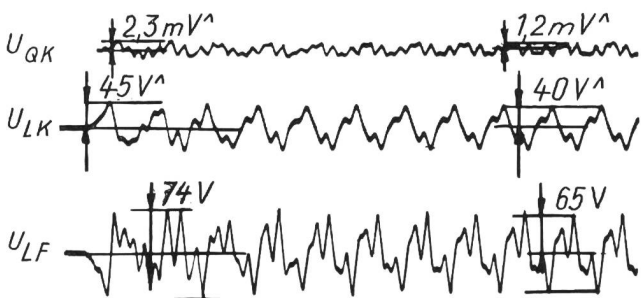
4. Tension contre la terre de la ligne isolée

Sur le circuit aérien Bivio-Silvapiana, la tension contre la terre de la ligne isolée a été mesurée à Bivio. Elle était de 65 V. Si la communication avait été homogène, cette tension aurait dû être de la moitié de la tension longitudinale, soit 36,5 V. Tel n'était pas le cas. La ligne était introduite dans le central de Silvaplana de manière provisoire au moyen de fil de distribution, de 100 m de longueur environ, conjointement avec d'autres lignes dont certaines étaient mises à la terre. Tous les fils étaient tordus en un faisceau; la capacité réciproque était ainsi très

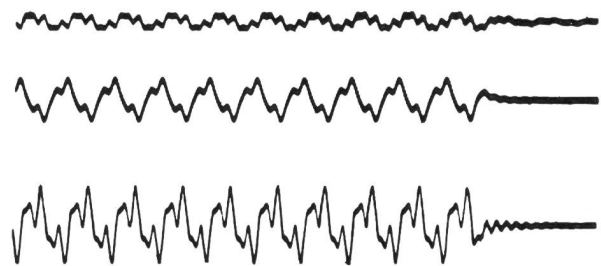


Bivio, Dauerstrom — Courant constant

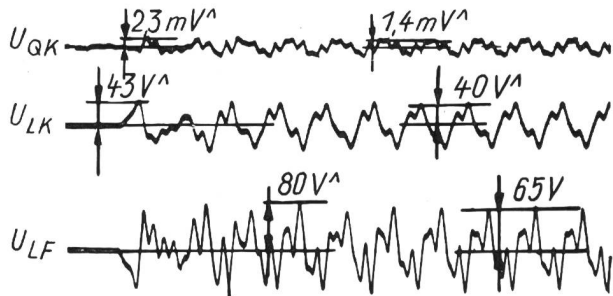
Bivio-Silvaplana



Bivio, 1. Stoss
1er choc

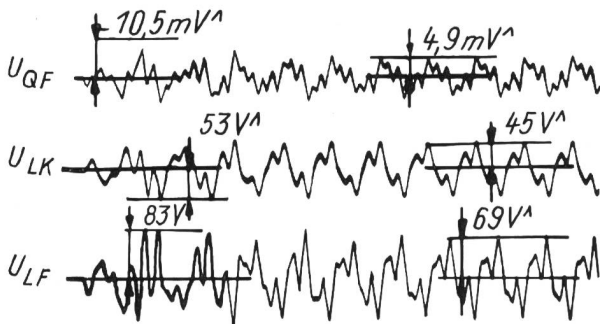
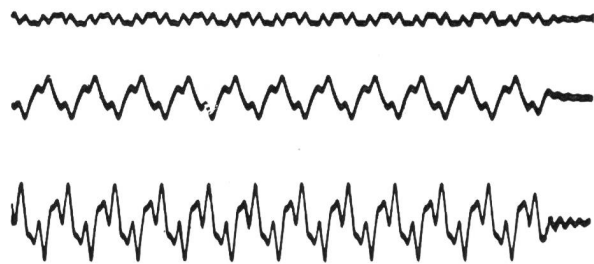


Einschaltstoss — Choc d'enclenchement



Bivio, 2. Stoss
2e choc

Ausschaltstoss — Choc de déclenchement



Bivio, 3. Stoss
3e choc

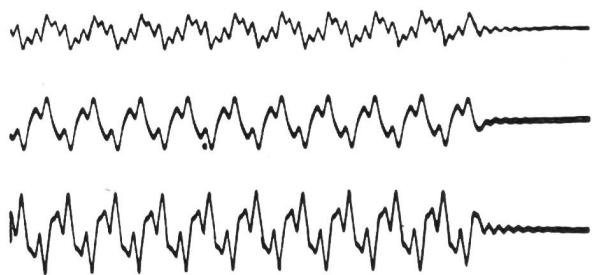


Fig. 15. Oszillogramme der Längs- und Querspannungen auf Freileitung und Kabel der Versuchsstrecke II
Oscillogrammes des tensions longitudinales et transversales sur la ligne aérienne et la câble du tronçon II

Bivio gemessen. Sie beträgt 65 V. Bei homogenem Aufbau der Leitung sollte diese Spannung die Hälfte der Längsspannung sein, also 36,5 V. Nun wurde aber die Leitung in Silvaplana zusammen mit andern, zum Teil geerdeten Schlaufen provisorisch mit Verteilerdraht etwa 100 m weit in die Zentrale eingeführt. Sämtliche Drähte waren zu einem Bund verdreht, so dass die gegenseitige Kapazität sehr gross war. Infolge der konzentrierten Erdkapazität in Silvaplana verteilte sich die Spannung gegen Erde nicht mehr gleichmässig auf die ganze Strecke.

5. Kabelmantelstrom

a) Mantelstrom bei Conters

Der Erdstrom weist durch die asymmetrische Belastung des Transformators ziemlich grosse Verzerrungen auf, die sich natürlich auch im Mantelstrom zeigen. Es wird deshalb weiter mit Amplituden gerechnet

Amplitude des Totalstromes: 61 A

Amplitude des Mantelstromes: 2,1 A

Es fliessen also nur 3,5% im Kabelmantel zurück.

b) Mantelstrom auf der Passhöhe

Amplitude des Totalstromes: 61 A

Amplitude des Mantelstromes: 4,43 A

Der Mantel führt hier 7,3% des Gesamtstromes.

c) Mantelstrom im Albulatal

Durch die Mäntel der Kabel 901 und 942 floss ein Bahnstrom bis ungefähr 15 A Amplitude. Das Oszillogramm, das mit dem Brush-Schreiber aufgenommen wurde, lässt keinen 50-Hz-Anteil erkennen. Eine Messung war hier also unmöglich, doch dürfte der Strom unter 1 A liegen.

d) Diskussion der Ergebnisse

Die gemessenen Mantelströme scheinen zunächst sehr klein zu sein.

Eine Nachrechnung für die Strecke Bivio-Silvaplana ergibt folgendes Resultat:

Messungen im Laboratorium zeigten, dass bei $U_{LK} = 3,04$ V/km die induzierte EMK 5 V/km und die Impedanz des Kabelmantels, inklusive Erdrückleitung, 2Ω /km beträgt.

Es ist demnach ein Mantelstrom von 2,5 A zu erwarten. Das sind 7,8% des gesamten Erdstromes von 32 A. Gemessen wurden 7,3%. Der gemessene Strom entspricht also dem theoretisch zu erwartenden.

6. Stossversuche

Durch diese Versuche sollte abgeklärt werden, ob bei plötzlichem Auftreten oder Abschalten von Erdschlüssen die induzierte Längsspannung Spitzen aufweist. Diese Messungen wurden mit reduzierter Erregung durchgeführt.

Sämtliche aufgenommenen Oszillogramme zeigen, dass die Stromkurve weder beim Einschalten noch beim Ausschalten steile Flanken aufweist und daher die Längsspannung keine wesentlichen Ein- oder Abschaltspitzen zeigt.

Die Erklärung dafür ist einfach: Im Kurzschluss ist die Leitung sehr stark induktiv. Der Strom kann

erhöht. La capacité de terre étant plus forte à Silvaplana, la tension contre la terre n'était pas répartie régulièrement sur la ligne.

5. Courant circulant dans la gaine du câble

a) Courant circulant dans la gaine à Conters

Ensuite de la charge asymétrique du transformateur, le courant de terre accuse d'assez grandes distorsions, que l'on constate naturellement aussi dans le courant circulant dans la gaine. Pour cette raison, on a pris les amplitudes pour base de calcul.

Amplitude du courant total 61 A

Amplitude du courant dans la gaine 2,1 A

3,5% seulement du courant empruntent la gaine du câble comme chemin de retour.

b) Courant circulant dans la gaine au sommet du col

Amplitude du courant total 61 A

Amplitude du courant dans la gaine 4,43 A

La gaine reconduit ici 7,3% du courant total.

c) Courant circulant dans la gaine des câbles de l'Albula

Un courant d'une amplitude de 15 A dû à la proximité de la ligne de chemin de fer circulait dans la gaine des câbles 901 et 942. L'oscillogramme pris au moyen de l'appareil Brush ne montrait aucune fréquence de 50 Hz. Il ne fut donc pas possible de faire des mesures, mais la valeur du courant ne devait pas atteindre 1 A.

d) Commentaire

Les courants mesurés dans les gaines des câbles paraissent d'abord être très faibles.

Un nouveau calcul pour le tronçon Bivio-Silvaplana donne le résultat suivant:

Des mesures faites en laboratoire démontrent que pour $U_{LK} = 3,04$ V/km, la force électromotrice induite est de 5 V/km et l'impédance de la gaine du câble, retour par la terre compris, de 2Ω /km.

Le courant dans la gaine devrait donc être de 2,5 A.

Cette valeur représente 7,8% du courant total (32 A). La mesure faite sur les lieux a donné une proportion de 7,3%. L'intensité mesurée correspond donc à l'intensité théorique.

6. Mesures d'effets de choc

Ces mesures devaient permettre de constater si, lors de mises à terre brusques ou de ruptures brusques de mises à terre, la tension longitudinale accusait des pointes. Elles furent faites sous excitation réduite.

Tous les oscillogrammes pris lors de ces mesures montrent que la courbe du courant ne présente de flancs abrupts ni à l'enclenchement ni au déclenchement et que la tension longitudinale n'accuse donc pas de pointes importantes dues à ces opérations.

L'explication est simple: en court-circuit, la ligne est très fortement inductive. Le courant ne peut ainsi accuser de montées abruptes. Le déclenchement

daher keine steilen Anstiege aufweisen. Das Abschalten erfolgt auch verhältnismässig langsam, so dass auch dann keine Spitzen induziert werden können.

7. Auswertung der Oszillogramme

Es wurde ein 3-Schleifen-Oszillograph benutzt. Eine Schleife diente zur Messung der Querspannung, eine weitere zur Aufnahme der Längsspannung und die dritte für die Registrierung des Erdschlußstromes.

est aussi relativement lent, la tension induite n'accuse également pas de pointes.

7. Etude des oscillogrammes

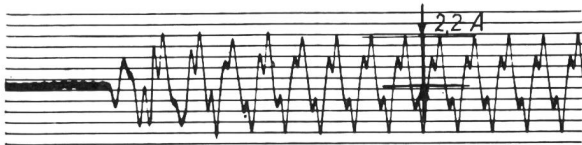
L'oscillographe utilisé était à 3 circuits. L'un de ceux-ci servait à mesurer la tension transversale, un autre la tension longitudinale et le troisième à enregistrer le courant de terre.

Mantelstrom
Courant dans la gaine

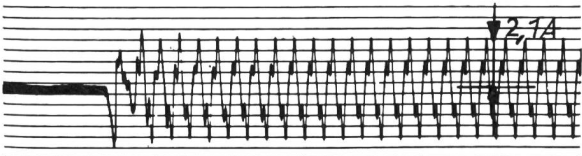


Dauerstrom — Courant constant

Conters

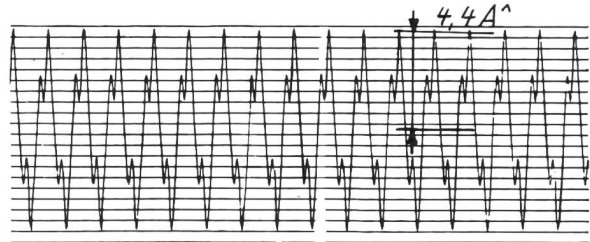


Julier-Passhöhe
Sommet du col 1. Stoss
1er choc



Julier-Passhöhe
Sommet du col 2. Stoss
2e choc

Mantelstrom
Courant dans la gaine



Dauerstrom — Courant constant

Julier-Passhöhe
Sommet du col

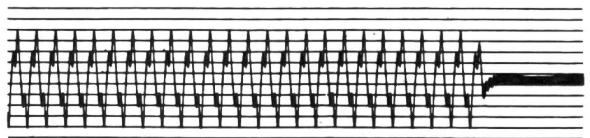
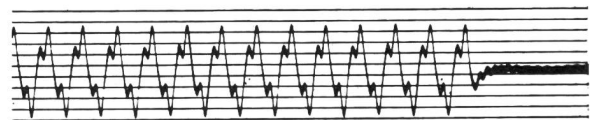
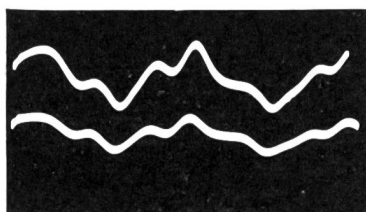
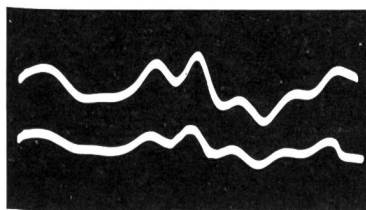


Fig. 16. Kabelmantelströme — Courants dans la gaine du câble

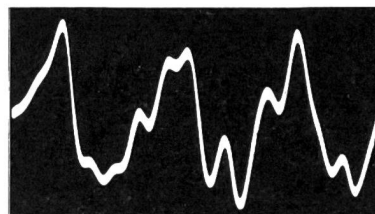


ULK
Ie 1. Stoss Kabel
1er choc câble

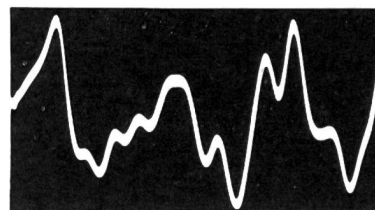


ULK
Ie 2. Stoss Kabel
2e choc câble

Tiefencastel



ULK 1. Stoss
1er choc



ULK 2. Stoss
2e choc

Bivio

Fig. 17. Kathodenstrahl-Oszillogramme — Oscillogrammes fournis par l'appareil à rayons cathodiques

Aus den Oszillogrammen interessieren vor allem die Verhältnisse Stromamplitude/Amplitude der Längsspannung.

a) Tiefencastel-Roffna (-Mühlen)

Tabelle III. — Tableau III.

Oszillogramm Oscillo- gramme No.	I_e (Amp.)		U_{LK} (V)		U_{LF} (V)		U_{LK}/I_e (V/A)		U_{LF}/I_e (V/A)	
	Spitze Pointe	Dauer Durée	Spitze Pointe	Dauer Durée	Spitze Pointe	Dauer Durée	Spitze Pointe	Dauer Durée	Spitze Pointe	Dauer Durée
A		61		58				0,95		
B	42,5	28			32	32			0,75	1,14
C	36	31	32	30			0,89	0,97		
D	41	28	32	28			0,78	1,0		

b) Bivio-Silvaplana

Die Längsspannung je A Erdschlußstrom läßt sich hier nur für den stationären Zustand berechnen:

$$U_{LF} = 2,46 \text{ V/A}, \quad U_{LK} = 1,23 \text{ V/A}.$$

Die Auswertung der Amplitudenwerte führt also, trotz den starken Verzerrungen, zu spezifischen Längsspannungen, die weniger als 10% von den mit den Instrumenten gemessenen abweichen.

Schlussfolgerung

Vergleich der Messergebnisse mit den berechneten Werten

Um die auf Grund der im Jahre 1948 ausgeführten Messungen über die Erdleitfähigkeit berechneten Werte mit den im Jahre 1949 gemessenen Werten vergleichen zu können, wurden die Erdwiderstandsmessungen wiederholt.

Nachdem der Sommer 1949 gegenüber dem Vorjahr ausserordentlich trocken war, musste mit einer Zunahme des Widerstandes gerechnet werden, was dann auch tatsächlich durch diese nachträglichen Messungen bestätigt wurde. Die Werte waren durchschnittlich um 30% höher.

Dadurch müssen die berechneten Werte dementsprechend korrigiert werden:

a) Tiefencastel-Roffna

korrigierter, theoretischer Wert $U_L = 1,4 \text{ V/A}$
praktisch gemessener Wert $U_L = 1,06 \text{ V/A}$

b) Bivio-Silvaplana

korrigierter, theoretischer Wert $U_L = 2,3 \text{ V/A}$
praktisch gemessener Wert $U_L = 2,28 \text{ V/A}$

Es zeigt sich, dass die Beeinflussung von Freileitungen durch Hochspannungsleitungen mit hinreichender Genauigkeit im voraus berechnet werden kann, wenn die gegenseitige Lage der Leitungen und der Erdwiderstand bekannt sind.

Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Nach Angabe des Kraftwerkes Brusio beträgt der Kurzschlußstrom bei einphasigem Erdschluss

L'intérêt des oscillogrammes réside surtout dans les rapports amplitude du courant/amplitude de la tension longitudinale.

a) Tiefencastel-Roffna (-Mühlen)

b) Bivio-Silvaplana

La tension longitudinale par ampère de courant de terre n'a pu être déterminée que pour l'état stationnaire:

$$U_{LF} = 2,46 \text{ V/A}, \quad U_{LK} = 1,23 \text{ V/A}.$$

Les calculs faits d'après les amplitudes donnent pour les tensions longitudinales, malgré de fortes distorsions, des valeurs spécifiques différant de moins de 10% de celles qui sont mesurées à l'aide des instruments.

Conclusion

Comparaison entre les résultats des mesures et les valeurs calculées

Afin de pouvoir comparer entre elles les valeurs mesurées en 1949 et les valeurs calculées d'après les mesures de conductibilité du sol exécutées en 1948, on a procédé à de nouvelles mesures de résistance du sol.

L'été 1949 ayant été extraordinairement sec, il fallait s'attendre à une augmentation de la résistance, ce qui fut effectivement le cas. Les valeurs étaient en moyenne de 30% supérieures à celles mesurées en 1948.

Les valeurs calculées doivent être corrigées en conséquence, comme suit:

a) Tiefencastel-Roffna

Valeur théorique, corrigée $U_L = 1,4 \text{ V/A}$
Valeur mesurée $U_L = 1,06 \text{ V/A}$

b) Bivio-Silvaplana

Valeur théorique, corrigée $U_L = 2,3 \text{ V/A}$
Valeur mesurée $U_L = 2,28 \text{ V/A}$

On voit que l'influence exercée sur les lignes téléphoniques aériennes par les lignes à haute tension peut être déterminée d'avance avec une exactitude suffisante, lorsque la position respective des lignes et la résistance de terre sont connues.

Récapitulation des résultats et commentaire

D'après les indications données par l'usine de Brusio, le courant de court-circuit atteint environ

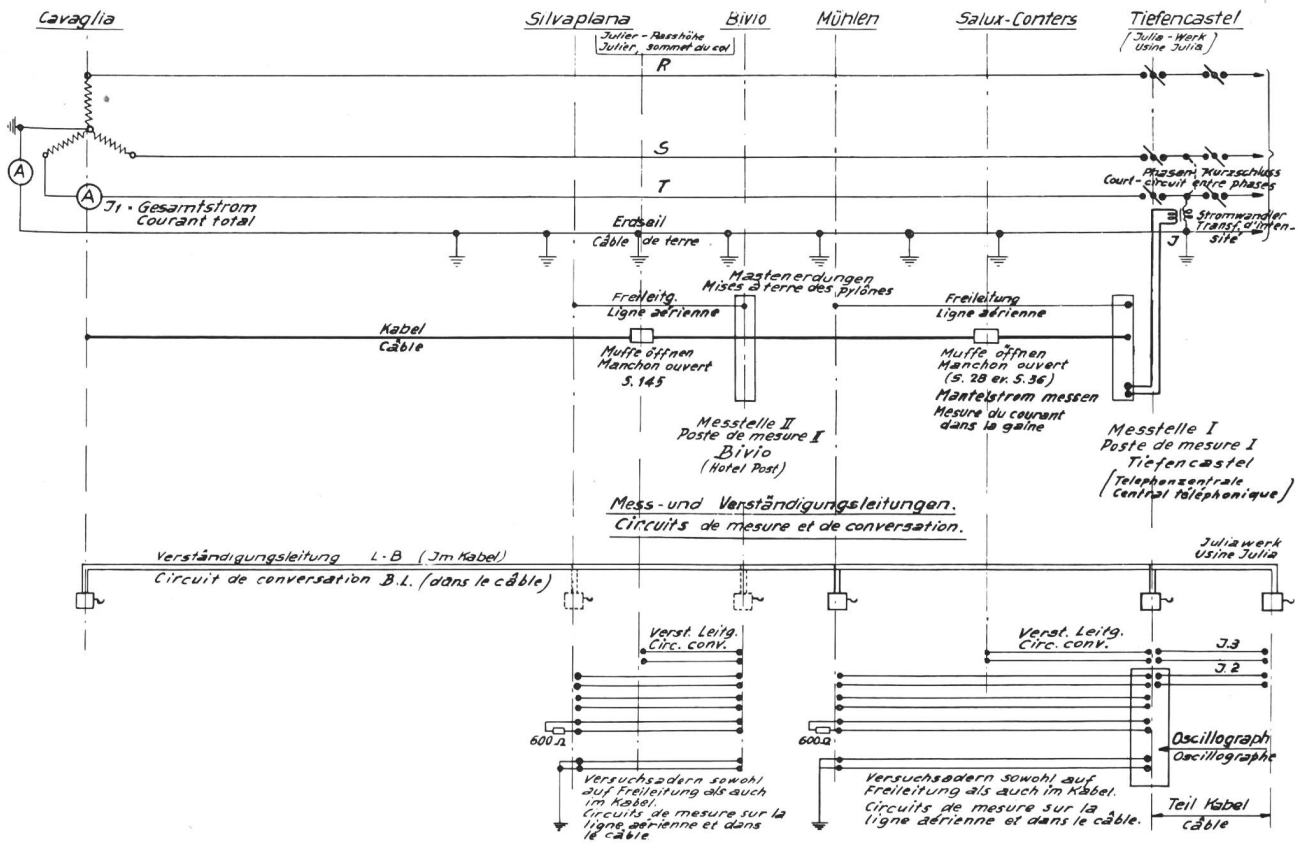


Fig. 18. Schaltung der Leitungen während der Beeinflussungsversuche
Connexion des circuits pendant les essais

etwa 3000 A_{eff.}. Im Teilstück Roffna-Mühlen-Bivio verläuft die Freileitung und auch das Kabel auf längern Strecken in ziemlich kleinem Abstand von der Hochspannungsleitung. Es wird für diese Strecke mit einer spezifischen Längsspannung gerechnet, die ungefähr in der Mitte der Werte für das untere und obere Teilstück liegt. Auf Grund dieser Annahmen betragen die induzierten Längsspannungen für die Strecke Tiefencastel-Silvaplana:

1. Freileitung: $U_L = 14,5 \text{ kV}_{\text{eff.}}$
2. Kabel: Infolge der ungleichmässigen Beeinflussung und der zwei verschiedenen Kabeltypen muss die totale Längsspannung aus der Summe der einzelnen Längsspannungen für die verschiedenen Strecken berechnet werden.

Dabei werden die Mantelschutzfaktoren berücksichtigt, welche nachträglich im Laboratorium bestimmt wurden.

- Diese ergaben folgende Werte:
- Kabel, eisenbandarmiert, $60 \times 2 \times 1$
 - Mantelschutzfaktor bei 32 A Erdschlußstrom $k = 0,435$
 - Mantelschutzfaktor bei 3000 A Erdschlußstrom $k = 0,2$
 - Kabel, eisenbandarmiert, $24 \times 2 \times 1$
 - Mantelschutzfaktor bei 32 A Erdschlußstrom $k = 0,605$
 - Mantelschutzfaktor bei 3000 A Erdschlußstrom $k = 0,5$

3000 A_{eff.}, lors de mise à terre d'une phase. Sur le trajet Roffna-Mühlen-Bivio, la ligne téléphonique aérienne et le câble se trouvent sur de longs parcours à peu de distance de la ligne à haute tension. Pour ce tronçon, il y a lieu de compter avec une tension longitudinale spécifique égale à la moyenne des valeurs afférentes aux tronçons inférieur et supérieur. Les tensions longitudinales induites sont alors les suivantes pour le tronçon entier Tiefencastel-Silvaplana:

1. ligne aérienne: $U_L = 14,5 \text{ kV}_{\text{eff.}}$
 2. câble:
- L'influence ne s'exerçant pas de manière partout égale et les tronçons du câble étant de types différents, la tension longitudinale totale a dû être calculée d'après la somme des tensions longitudinales partielles des tronçons.

On a tenu compte des facteurs réducteurs de la gaine, qu'on a déterminés en laboratoire après coup.

- Ces facteurs ont les valeurs suivantes:
- Câble armé de feuillard, $60 \times 2 \times 1$
 - Facteur réducteur avec courant de terre de 32 A, $k = 0,435$
 - Facteur réducteur avec courant de terre de 3000 A, $k = 0,2$
 - Câble armé de feuillard, $24 \times 2 \times 1$
 - Facteur réducteur avec courant de terre de 32 A, $k = 0,605$
 - Facteur réducteur avec courant de terre de 3000 A, $k = 0,5$

a) Tiefencastel-Mühlen, 18,7 km (Kabel 60×2×1)

Bei einem Erdschlußstrom von 32 A betrug die induzierte Längsspannung $U_{LK} = 1,66$ V/km, das ergibt, bei einem Mantelschutzfaktor von $k = 0,435$, eine EMK = 3,82 V/km. Wenn nun der Erdschlußstrom 3000 A beträgt, so nimmt die EMK proportional zu und beträgt demnach 358 V/km. Daraus lässt sich mit Hilfe des Mantelschutzfaktors die Längsspannung zu $358 \times 9,2 = 71,5$ V/km berechnen. Die totale Längsspannung für die ganze Strecke wird dann:

$$U_{LK} = 18,7 \cdot 71,5 = 1330 \text{ V.}$$

b) Bivio-Silvaplana, 13,2 km (Kabel 24×2×1)

Für diesen Abschnitt ist die Berechnung dieselbe. Da das Kabel näher bei der Hochspannungsleitung verläuft, wird die induzierte Spannung entsprechend grösser.

Interessant ist auch die Feststellung, dass der Mantelschutzfaktor für dieses Kabel wesentlich ungünstiger ist, was auf die kleineren Abmessungen von Bleimantel und Armatur zurückzuführen ist.

Längsspannung $U_{LK} = 3,04$ V/km

mit Mantelschutzfaktor $k = 0,605$ für 32 A wird die EMK = 5 V/km.

Bei einem Erdschluss von 3000 A wird dann:

$$\text{EMK} = 470 \text{ V/km}$$

$$k = 0,5$$

$$U_{LK} = 235 \text{ V/km}$$

Totale Längsspannung:

$$U_{LK} = 13,2 \cdot 235 = 3100 \text{ V}$$

c) Mühlen-Bivio, 7,12 km

Zur Berechnung der Längsspannung für diesen Abschnitt wird die EMK als Mittelwert von a) und b) genommen, daraus ergibt sich dann der Mantelschutzfaktor zu 0,22.

$$\text{EMK} = 414 \text{ V/km}$$

$$k = 0,22$$

$$U_{LK} = 92 \text{ V/km}$$

Totale Längsspannung:

$$U_{LK} = 7,12 \cdot 92 = 660 \text{ V}$$

d) Die Längsspannung für die ganze Strecke Tiefencastel-Silvaplana, wird somit bei einem Erdschlußstrom von 3000 A:

$$U_{LK} = 1330 + 3100 + 660 = \sim 5100 \text{ V}_{\text{eff.}}$$

Die Messungen zeigen, dass auf allen Freileitungen und Kabeln im Bereich von Hochspannungsleitungen im Falle eines Erdschlusses Spannungen auftreten, die zu schweren Unfällen und Schäden führen können.

Die Induktionswirkung bei erdschlussfreiem Phasenkurzschluss ist für die im Oberhalbstein verhältnismässig grossen seitlichen Abstände nicht bedeutend, hingegen können bei unsymmetrischer Phasenbelastungen schon gefährliche Spannungen induziert werden.

Die Messungen haben gezeigt, dass den Telephonanlagen im Bereich der Hochspannungsanlagen ver-

a) Tiefencastel-Mühlen, 18,7 km (câble 60×2×1)

Lorsque le courant de terre était de 32 A, la tension longitudinale induite U_{LK} était de 1,66 V/km, ce qui donne une force électromotrice de 3,82 V/km pour un facteur de la gaine k de 0,435. Si l'on portait le courant de terre à 3000 A, la force électromotrice augmentait dans la même proportion et était alors de 358 V/km. D'après cette valeur et le facteur de la gaine, on trouve pour la tension longitudinale $358 \times 9,2 = 71,5$ V/km. La tension longitudinale pour tout le tronçon est ainsi:

$$U_{LK} = 18,7 \cdot 71,5 = 1330 \text{ V.}$$

b) Bivio-Silvaplana, 13,2 km (câble 24×2×1)

Pour ce tronçon, la forme de calcul est la même que pour le tronçon Tiefencastel-Mühlen. Comme cependant le câble se trouve plus près de la ligne à haute tension, la tension induite est plus élevée.

Il est intéressant de constater que le facteur de la gaine de ce câble est notablement inférieur à la valeur trouvée pour le câble Tiefencastel-Mühlen, ce qui est dû aux dimensions plus faibles de la gaine de plomb et de l'armure.

Tension longitudinale $U_{LK} = 3,04$ V/km

Compte tenu du facteur réducteur de la gaine $k = 0,605$ pour 32 A, la force électromotrice est de 5 V/km.

Si le courant de terre est de 3000 A, on a:

$$\text{Force électromotrice} = 470 \text{ V/km}$$

$$k = 0,5$$

$$U_{LK} = 235 \text{ V/km}$$

Tension longitudinale totale:

$$U_{LK} = 13,2 \cdot 235 = 3100 \text{ V}$$

c) Mühlen-Bivio, 7,12 km

Pour déterminer la tension longitudinale sur ce tronçon, on a pris comme valeur de la force électromotrice la moyenne des valeurs indiquées sous a) et b), le facteur réducteur est de 0,22.

$$\text{Force électromotrice} = 414 \text{ V/km}$$

$$k = 0,22$$

$$U_{LK} = 92 \text{ V/km}$$

Tension longitudinale totale:

$$U_{LK} = 7,12 \cdot 92 = 660 \text{ V}$$

d) La tension longitudinale pour le tronçon entier Tiefencastel-Silvaplana est donc, pour un courant de terre de 3000 A:

$$U_{LK} = 1330 + 3100 + 660 = \sim 5100 \text{ V}_{\text{eff.}}$$

Les mesures démontrent que sur tous les câbles et les lignes aériennes situés à proximité de lignes à haute tension, des tensions mettant en danger les personnes et les choses peuvent être induites.

L'effet d'induction dans le cas de court-circuit entre phases sans mise à terre est très réduit dans la vallée d'Oberhalbstein, où les distances latérales entre lignes sont relativement grandes; en revanche, en cas de charge asymétrique des phases, des tensions dangereuses peuvent être induites.

Les mesures exécutées ont fait constater que la plus grande attention est de rigueur dans l'établis-

mehrte Aufmerksamkeit geschenkt werden muss. Der Abstand Telephonfreileitung-Hochspannungsleitung muss möglichst gross gewählt werden.

Auch das Verlegen eines Kabels an Stelle der Telephonfreileitung bringt nur dann den gewünschten Schutz, wenn das Kabel genügend weit von der Hochspannungsleitung entfernt verlegt wird. Die Telephonstromkreise müssen gegen Erde symmetrisch gebaut und betrieben werden.

Beim Bau und Betrieb der Hochspannungsübertragungsleitungen ist darauf zu achten, dass der über Erde zurückfliessende Strom möglichst auf kleine Werte begrenzt wird.

Stand und künftige Entwicklung des Telephons in der Schweiz

Von A. Mückli, Bern*) 654.15(494)

A. Auf Anschluss wartende Interessenten

Solange es Interessenten gibt, die Wochen, Monate oder sogar Jahre auf einen Telephonanschluss warten müssen, solange bleibt das schweizerische Telephonnetz Gegenstand einer besonderen Betrachtung an der Jahresversammlung der Pro Telephon. So muss sich denn leider auch die heutige Versammlung wiederum mit dieser Tatsache befassen. Dies zum Leidwesen der Verwaltung, nicht aber der Lieferanten. Denn, solange der Endzustand, d. h. der restlose Ausbau der verschiedenen Anlageteile, nicht erreicht ist, solange gibt es zu liefern. Die Lage hat sich jedoch verhältnismässig rasch geändert. Noch vor einem Jahre, als wir Ende März 1949 in Freiburg tagten, sprach ich von 13 530 Interessenten, die auf einen Telephonanschluss warten. Ende März 1950 war diese Zahl bereits auf 7 600 gesunken, also auf 55%. Mit der Inbetriebsetzung der Zentralen Basel-West, Locarno, Lausanne-Valency, Aigle, Saignelégier, Amriswil und Zürich-Albisrieden im Laufe dieses Jahres und der Fertigstellung der Ausbauten in verschiedenen Zentralen wird die Zahl der auf einen Anschluss wartenden Teilnehmer weiter stark zurückgehen. Die Höchstzahl der besetzten Zentralen betrug im September 1947 235 und ist inzwischen auf 95 gesunken.

Von nun an muss unsere Hauptanstrengung auf das Kabelgebiet verlegt werden. In letzterem wies der Monat Dezember 1949 eine Höchstzahl von 419 voll besetzten Kabeln auf, die bis heute auf 390 zurückgegangen ist. Man hilft sich mit Kunstschaltungen der Gemeinschaftsanschlüsse, Leitungsdurchschalter usw.

Als Ganzes betrachtet, wird die Bautätigkeit in den Telephonzentralen noch weiter zurückgehen, denn der Ausbau zahlreicher Zentralen während der

sement d'installations téléphoniques à proximité d'installations à haute tension. La distance entre les lignes téléphoniques aériennes et les lignes à haute tension doit être aussi grande que possible.

Le remplacement d'une ligne téléphonique aérienne par un câble n'apporte la protection recherchée que si le câble est également posé à une distance suffisante de la ligne à haute tension. Les circuits téléphoniques doivent, en service également, être symétriques contre la terre.

En construisant les lignes à haute tension, comme pendant que ces lignes sont en service, on doit veiller à maintenir à des valeurs aussi réduites que possible le courant retournant à l'usine par la terre.

Le téléphone en Suisse: conditions actuelles et perspectives d'avenir

Par A. Mückli, Berne*) 654.15(494)

A. Raccordements demandés, mais ne pouvant encore être installés

Aussi longtemps que des personnes ayant demandé leur raccordement au téléphone doivent attendre des semaines, des mois, voire des années avant de l'obtenir, le réseau téléphonique suisse sera l'objet de l'attention particulière de l'assemblée générale annuelle de la Pro Téléphone. C'est pourquoi l'assemblée de cette année doit de nouveau s'occuper de ce problème. L'administration le regrette, mais non les fournisseurs car, tant que le réseau n'est pas achevé, il y a du matériel à livrer. Toutefois, la situation s'est rapidement modifiée. Il y a une année encore, à l'assemblée de Fribourg en mars 1949, je disais que 13 530 personnes ayant demandé le téléphone ne pouvaient être raccordées. A fin mars 1950, il n'y en avait plus que 7 600, soit 55% du chiffre de l'année précédente. Ce nombre diminuera encore cette année, grâce à la mise en service des centraux de Bâle-Ouest, Locarno, Lausanne-Valency, Aigle, Saignelégier, Amriswil et Zürich-Albisrieden, et aux extensions bientôt terminées d'autres centraux. En septembre 1947, le nombre des centraux occupés était à son maximum, 235; il n'est plus aujourd'hui que de 95.

Dès maintenant, l'effort principal doit porter sur l'extension du réseau des câbles. Le nombre des câbles entièrement occupés a atteint son maximum en décembre 1949; il était alors de 419 et est descendu aujourd'hui à 390. On pare au plus pressé en recourant à des connexions anormales (installation de raccordements collectifs, de connecteurs automatiques de lignes, etc.).

Dans l'ensemble, la construction de centraux téléphoniques ralentira, car l'extension de nombreux centraux au cours des années 1945 à 1950 a pour

*) Vortrag, gehalten anlässlich der Jahresversammlung der «Pro Telephon» (Vereinigung zur Verbreitung des Telephons in der Schweiz) in Zug, vom 25. Mai 1950.

*) Exposé fait à l'occasion de l'assemblée générale annuelle de la Pro Téléphone (Société pour la diffusion du téléphone en Suisse) à Zoug, le 25 mai 1950.