

# Ueber die Eingrenzung von Isolationsfehlern in Kabeln = De la localisation des défauts d'isolement affectant les câbles

Autor(en): **Lancoud, C.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung = Bulletin technique / Administration des télégraphes et des téléphones suisses = Bollettino tecnico / Amministrazione dei telegrafi e dei telefoni svizzeri**

Band (Jahr): **23 (1945)**

Heft 2

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-873180>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Ueber die Eingrenzung von Isolationsfehlern in Kabeln.

Von C. Lancoud, Bern. 621.317.333.4

### I. Allgemeines.

Seit ungefähr zwanzig Jahren haben die unterirdischen Telephonkabel, im besondern die Bezirks- und Fernkabel, eine wirtschaftliche und soziale Bedeutung erlangt, die niemandem entgehen kann. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, sie dauernd betriebsbereit zu erhalten. Die Verkehrsunterbrechungen verursachenden Fehler müssen auf ein Mindestmass reduziert werden und von möglichst kurzer Dauer sein.

Einer der wesentlichen Faktoren für das gute Funktionieren der telephonischen Verbindungen ist, sie in guter Isolation zu erhalten. Ein Sinken der letzteren auf einen Grad, der den Betrieb nicht besonders stört, findet oft nicht die sofortige Aufmerksamkeit. Gleichwohl vermag ein Isolationswiderstand von 1 Megohm zwischen den Drähten a und c eines Vierers 177—63 mH, 1,5 mm,  $Z_{st} = 1630 \Omega$ ,  $Z_{ph} = 760 \Omega$ , ein empfindliches Nebensprechen b zu verursachen:

$$\text{Stamm/Stamm: } e^{-b} = \frac{1630 \cdot 10^{-6}}{8} = \frac{203,8}{10^6}$$

wodurch  $b = 8,5$  Neper.

$$\text{Phantom/Stamm: } e^{-b} = \frac{\sqrt{1630 \cdot 760} \cdot 10^{-6}}{4} = \frac{278,3}{10^6}$$

wodurch  $b = 8,15$  Neper.

Da die meisten Fehler eine Verminderung des Isolationswiderstandes nach sich ziehen, ist es von grosser Wichtigkeit, denselben oft und regelmässig zu messen. Die zeitige Entdeckung einer Widerstandsabnahme erlaubt die Eingrenzung des Fehlers, bevor die Leitungen nahezu oder gänzlich unbrauchbar und somit ausser Betrieb gesetzt sind. In diesem Stadium ist die Eingrenzung im allgemeinen einfach, da es im Kabel ohne Zweifel noch Adern hat, die eine genügende Isolation aufweisen, um die gewöhnlichen Messmethoden mit Schleifen nach *Varley* oder *Murray* anzuwenden. Im übrigen versteht es sich, dass das Auftreten von zwei oder mehr Fehlern, die sich in der Folge einstellen können, die Frage der Eingrenzung wesentlich erschwert, so dass nur mit einer Zerlegung der Aufgabe vorgegangen werden kann; ein Grund mehr, die Fehler gleich bei ihrem ersten Auftreten zu heben.

Dank den nachstehend beschriebenen Methoden lässt sich die Eingrenzung bereits dann vornehmen, wenn der Isolationswiderstand noch einige zehn Megohm beträgt.

Die vorgeschriebenen wöchentlichen Isolationsmessungen der Bezirks- und Fernkabel liefern einen wertvollen Beitrag zur rechtzeitigen Lokalisierung der Fehler. Die Bedeutung, die unsere Verwaltung diesen Messungen beimisst, führte zur Einführung einer automatischen Kontrolleinrichtung, die gegenwärtig ausprobiert wird. In einer nahen Zukunft wird der Betrieb der Trägerstromtelephonie auf den grossen interurbanen Strängen den Wert dieser Prüfungen noch erhöhen. Die Störung einer einzigen

## De la localisation des défauts d'isolement affectant les câbles.

Par C. Lancoud, Berne. 621.317.333.4

### I. Généralités.

Les câbles téléphoniques souterrains et, principalement, les câbles régionaux et interurbains ont pris, depuis une vingtaine d'années, une importance économique et sociale qui n'échappe à personne. Il est donc de toute nécessité de les maintenir constamment en état d'exploitation. Les défauts provoquant une interruption du trafic devraient pouvoir être réduits au minimum et les interruptions avoir une durée aussi courte que possible.

Un des facteurs essentiels du bon fonctionnement des circuits téléphoniques est le maintien d'un bon isolement. Une baisse de ce dernier à une valeur qui, n'entravant pas l'exploitation d'une manière particulièrement gênante, n'attire souvent pas immédiatement l'attention. Et pourtant, une résistance d'isolement de 1 Mégohm entre les fils a et c d'une quarte 177—63 mH, 1,5 mm,  $Z_R = 1630 \Omega$ ,  $Z_F = 760 \Omega$ , introduit une diaphonie b cependant déjà sensible de:

$$\text{Réal/Réal: } e^{-b} = \frac{1630 \cdot 10^{-6}}{8} = \frac{203,8}{10^6}$$

d'où  $b = 8,5$  népers.

$$\text{Fantôme/Réal: } e^{-b} = \frac{\sqrt{1630 \cdot 760} \cdot 10^{-6}}{4} = \frac{278,3}{10^6}$$

d'où  $b = 8,15$  népers.

La plupart des défauts ayant pour conséquence une diminution de la résistance d'isolement, il est de toute importance de la contrôler souvent et régulièrement. En effet, une diminution de celle-ci décelée suffisamment tôt, permettra de localiser le défaut avant que des circuits soient déjà ou près d'être mis hors service. A ce stade, la localisation sera généralement simple, puisqu'il y aura encore certainement dans le câble des lacets ayant un isolement suffisant pour permettre l'emploi des méthodes habituelles de mesure de boucle, *Varley* ou *Murray*. En outre, il est clair que si un deuxième ou plusieurs défauts se présentent encore par la suite, la solution du problème de la localisation est indéterminée et il faut procéder par sectionnement, ce qui est beaucoup plus compliqué; raison de plus pour traiter le défaut dès son apparition.

Grâce aux méthodes exposées plus loin, la localisation pourra se faire lorsque la résistance d'isolement aura encore des valeurs de plusieurs dizaines de mégohms.

Les mesures hebdomadaires prescrites de l'isolement des câbles régionaux et interurbains apportent ainsi une contribution très appréciable à la localisation à temps des dérangements. L'importance qu'attache notre administration à ces mesures l'a conduite à introduire un système de contrôle automatique, qui est actuellement à l'essai. L'exploitation, dans un avenir proche, de circuits à courants porteurs sur les grandes artères interurbaines, donnera toute sa valeur à ce contrôle. En effet, le dérangement d'un

Trägerader verursacht die Ausserbetriebsetzung von 12 Verbindungen.

Wenn man die nachstehende Tabelle betrachtet, die an Hand der Fehler, die unser Kabelnetz befielen, erstellt wurde, dann stellt man ein rasches Ansteigen der Häufigkeit und der Werte der Fehler/km fest. Die Ursache liegt einerseits in der Entwicklung des Kabelnetzes, andererseits im ausserordentlich starken Anwachsen der Korrosionsfälle.

	Zahl der Fehler	Länge der Kabeltrasse, km	km-Trasse/Fehler	Fehler auf je 1000 km Kabeltrasse
1930	141	5 488	39	25
1935	172	9 273	54	19
1940	185	12 082	65	15
1942	218	12 712	58	17
1943	243	12 956	53	19
1944	354	13 224	37	26

Der gegenwärtige Stand der Technik in der Konstruktion von Kabelmänteln und der Kampf gegen die Korrosion erlauben nicht, mit einem baldigen zahlenmässigen Rückgang der Fehler, die auf diese Ursachen zurückzuführen sind, zu schliessen. Im Gegenteil ist damit zu rechnen, dass das Altern unserer Einrichtungen ihre Häufigkeit noch erhöhen wird.

Die Tatsache, dass der Isolationswiderstand der meisten Fehler nicht einen Wert erreicht, der eine Eingrenzung mit den üblichen Methoden (Varley und Murray) erlaubt, ausser beim Eintreten von bestimmten äusseren Umständen (Regen, Schneeschmelze usw.), verursachen sie eine Häufung der Störungen auf kurze Zeitdauer; diese Erscheinung erschwert die Aufgabe des für den guten Stand des Kabelnetzes verantwortlichen Personals ausserordentlich.

Will man somit eine Arbeitsanhäufung, soweit dies möglich ist, vermeiden und die Möglichkeit schaffen, dass die Eingrenzungen mit grösserer Sorgfalt ausgeführt werden können, so ist es unbedingt notwendig, dass das Personal selbst in der Lage ist, die Fehler gleich bei ihrem ersten Auftreten zu suchen, auch dann, wenn die Kabel noch einen hohen Isolationswiderstand aufweisen.

Die Arbeit muss genau und rasch ausgeführt werden. Folgende Voraussetzungen sind dabei wesentlich:

- die Wahl der Messapparate;
- die Wahl der dem Fehler entsprechenden Messmethode, was eine vertiefte Kenntnis derselben sowie ihrer Eigentümlichkeiten bedingt;
- die Fertigkeit des Prüfenden in der Handhabung der Instrumente und der Ermittlung der Fehlerstelle im Kabel.

Die Abteilung für Versuche und Forschung unserer Verwaltung hat, gestützt auf lange Erfahrungen, den Netzgruppen ein Messgerät zur Verfügung gestellt, das auf den Prinzipien der Wheatstone'schen Brücke beruht. Seine Vorzüge sind aber derart, dass es die genaue Eingrenzung der Mehrheit der Fehler, die in den Aufgabenkreis der Netzgruppen fallen, erlaubt. Die Bedingung a) ist somit im vorneherein erfüllt.

seul lacet porteur entraînera la mise hors service de 12 circuits.

Si l'on examine le tableau ci-dessous, tiré de la statistique des dérangements ayant affecté le réseau des câbles, on constate une augmentation rapide de la fréquence et de la valeur du défaut/km. Elle est due, d'une part, au développement de ce réseau, d'autre part, à l'augmentation extraordinaire des cas de corrosion.

	Nombre de défauts	Longueur de tracé de câbles, km	km tracé/défaut	défauts/1000 km tracé
1930	141	5 488	39	25
1935	172	9 273	54	19
1940	185	12 082	65	15
1942	218	12 712	58	17
1943	243	12 956	53	19
1944	354	13 224	37	26

En l'état actuel de la technique de la construction des enveloppes de câbles et de la lutte contre la corrosion, il ne faut pas s'attendre à une diminution prochaine du nombre des défauts dus à ce phénomène. Bien au contraire, avec le vieillissement de nos installations, la fréquence s'accroîtra encore.

Le fait que la résistance d'isolement de la plupart des défauts n'atteint, très souvent, une valeur permettant la localisation par les méthodes habituelles (Varley et Murray) que lors de l'apparition de conditions extérieures déterminées (pluie, fonte de neige, etc.) provoque une concentration de ceux-ci sur des périodes de courtes durées; ce phénomène est de nature à compliquer grandement la tâche du personnel responsable du bon état du réseau des câbles.

Si l'on veut donc éviter, autant que possible, une accumulation du travail sur ces périodes et, partant, avoir la possibilité d'effectuer les localisations avec plus de tranquillité, il est d'une absolue nécessité que le personnel soit à même de rechercher les défauts dès leur apparition, même s'ils ont encore une résistance d'isolement élevée. Ce travail devra se faire avec précision et rapidité. Ces deux facteurs dépendent évidemment:

- du choix des appareils de mesure,
- du choix de la méthode applicable au défaut, de la connaissance approfondie de celle-ci et de ses particularités,
- de l'habileté de l'opérateur à manier les instruments et à déceler la défectuosité sur le câble.

La division des essais et recherches de notre administration, forte d'une longue expérience, a mis à disposition des réseaux un instrument de mesure basé sur la méthode du pont de Wheatstone. Ses qualités sont telles qu'il permet la localisation exacte de la majorité des défauts rentrant dans le ressort des réseaux. La question posée sous a) est donc, à priori, résolue.

Nous nous proposons de développer quelque peu les conditions posées sous b) et c).

Wir stellen uns die Aufgabe, im nachfolgenden die unter b) und c) geforderten Voraussetzungen etwas zu entwickeln.

## II. Die Messmethoden.

Wir erwähnen kurz die klassischen Schleifenmessmethoden

*Varley* (Fig. 1).

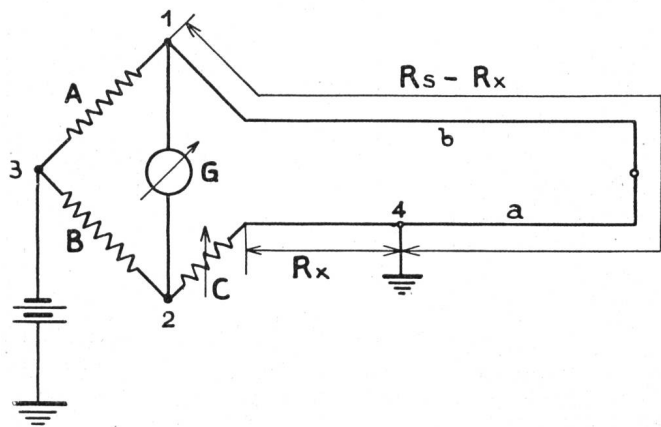


Fig. 1.

$R_s$  = Widerstand der Meßschleife,  
 $R_x$  = Widerstand der Meßstation zum Fehler,  
 $R_a$  = Widerstand des schlechten Drahtes a,  
 $R_b$  = Widerstand des Meßdrahtes b.

Das Gleichgewicht der Brücke ist hergestellt, wenn

$$(R_s - R_x) \cdot B = (C + R_x) \cdot A$$

$$\text{wonach } R_x = \frac{B \cdot R_s - A \cdot C}{A + B}$$

wenn  $A = B$  (gleiche Verhältnisse)

$$\text{ergibt sich: } R_x = \frac{R_s - C}{2}$$

*Murray* (Fig. 2).

Das Gleichgewicht der Brücke ist hergestellt, wenn

$$(R_s - R_x) \cdot C = R_x \cdot B$$

$$\text{wonach } R_x = \frac{R_s \cdot C}{B + C}$$

Der Isolationswiderstand des schlechten Drahtes a darf ungefähr 1 Megohm nicht übersteigen, während derjenige des Messdrahtes b 500—1000mal grösser sein muss. Das resultierende Mittel der Messungen, die an den beiden Kabelenden vorgenommen werden, ist nur dann genau, wenn sich der Fehler in der Mitte seiner Länge befindet.

Wenn die Isolation von b ungenügend ist, so sucht man die Schleife durch einen eigens für diesen Zweck gelegten Draht, oder durch einen guten Draht eines Kabels, sofern sich eines in der Nähe befindet, zu schliessen. Die erste Lösung lässt sich aus praktischen Gründen nur für kurze Distanzen anwenden. Die Verwendung der zweiten führt zuweilen zur Bildung einer sehr langen Schleife, die öfters dem Einflusse von Störströmen (induktive und tellurische usw.) ausgesetzt ist, wodurch die Messungen schwierig und ungenau, wenn nicht gar unmöglich werden. Um alle Schwierigkeiten aus dem Wege zu schaffen, suchte und fand man andere Anwendungsmöglichkeiten dieser Methoden, die gestatten:

## II. Méthodes de mesure.

Rappelons rapidement les méthodes classiques de la boucle.

*Varley* (Fig. 1).

$R_s$  = résistance de la boucle de mesure.  
 $R_x$  = résistance de la station de mesure au défaut.  
 $R_a$  = résistance du fil mauvais a.  
 $R_b$  = résistance du fil de mesure b.

L'équilibre du pont est réalisé quand

$$(R_s - R_x) \cdot B = (C + R_x) \cdot A$$

$$\text{d'où } R_x = \frac{B \cdot R_s - A \cdot C}{A + B}$$

si  $A = B$  (bras égaux)

$$\text{on a: } R_x = \frac{R_s - C}{2}$$

*Murray* (Fig. 2).

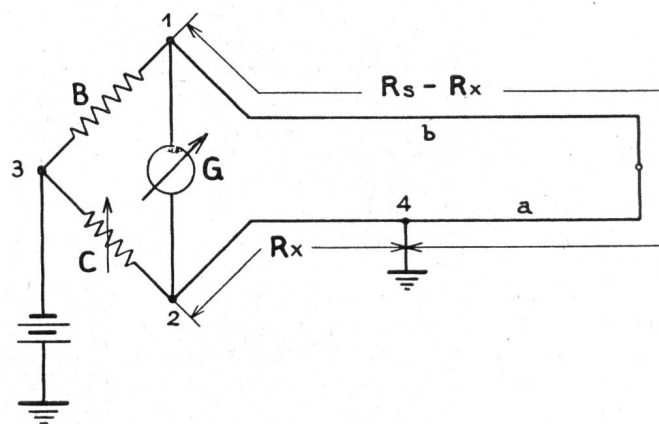


Fig. 2.

L'équilibre du pont est réalisé quand

$$(R_s - R_x) \cdot C = R_x \cdot B$$

$$\text{d'où } R_x = \frac{R_s \cdot C}{B + C}$$

La résistance d'isolement du fil mauvais a ne doit pas dépasser 1 Mégohm environ; celle du fil de mesure b doit être de 500 à 1000 fois plus grande. La moyenne des mesures faites aux deux extrémités n'est exacte que si le défaut se trouve placé au milieu de la distance.

Si l'isolement de b n'est pas suffisant, on cherchera à fermer la boucle par un fil posé spécialement à cet effet ou par un fil d'un câble en bon état, s'il s'en trouve un à proximité.

La première solution ne peut être adoptée, pour des raisons pratiques, que sur de courtes distances. L'emploi de la deuxième conduira parfois à la constitution d'une boucle très longue, souvent soumise à l'influence de courants perturbateurs (inductifs, telluriques, etc.) qui rendront les mesures difficiles, sinon impossibles, et peu exactes. Afin d'éliminer toutes ces difficultés, on a cherché et trouvé d'autres formes d'application de ces méthodes, permettant

- la localisation de défauts même si l'isolement générale du câble est médiocre, sans être obligé d'utiliser un fil spécial de mesure;
- la localisation de défauts ayant une résistance d'isolement plus grande que 1 Mégohm.



- a) die Fehler einzugrenzen, selbst wenn die allgemeine Isolation des Kabels ungenügend ist, ohne einen besondern Messdraht zu gebrauchen;
- b) die Eingrenzung der Fehler auch dann zu ermöglichen, wenn der Isolationswiderstand grösser als 1 Megohm ist.

Wir stellen uns die Aufgabe, drei besonders einfache Methoden, die sich mit den Instrumenten, die den Netzgruppen zur Verfügung stehen, ausführen lassen, in leicht verständlicher Weise darzustellen. Eine derselben, die im besondern interessant ist, verdanken wir Herrn H. Weber; sie ist im einzelnen durch ihren Begründer in der vorliegenden Nummer (S. 51) beschrieben.

Diese Methoden verfolgen den Zweck, die ungenauen Werte der Methode Varley miteinander zu kombinieren, sobald die Voraussetzungen nicht derart sind, dass sie eine genaue Ermittlung der Fehlerstelle erlauben. Wir geben ebenfalls einige Beispiele über erhaltene Resultate bekannt.

Natürlich gibt es daneben noch andere Methoden, aber sie sind mit den Brücken der Netzgruppen im allgemeinen nicht verwendbar, weshalb sie für unsere Zwecke an Interesse verlieren.

*Die Methode Weber.*

Die Methode besteht in der Ausführung einer Messung nach Varley mit gleichen Brückenzweigen, von jedem Ende des Kabels. Sie erlaubt die Berechnung von  $l_x$  als einer direkten Funktion des Kompensationswiderstandes C. Für ein *nicht-pupinisiertes Kabel* ergibt sich:

$$l_{x_1} = 1 \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2} \tag{1}$$

$$l_{x_2} = 1 \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2} \tag{1a}$$

Diese beiden Formeln sind voneinander nicht unabhängig, da  $l_{x_1} + l_{x_2} = 1$  ist.

Für ein *pupinisiertes Kabel* ergibt sich:

$$l_{x_1} = l'_{x_1} + \frac{N R_p}{R_a - N \cdot R_p} \left[ l'_{x_1} - \frac{n \cdot l}{N} \right] \tag{2}$$

Eine ähnliche Formel würde sich für  $l_{x_2}$  ergeben.

- l = Länge des schlechten Drahtes a,
- C<sub>1</sub> = Kompensationswiderstand, gemessen am Ende 1,
- C<sub>2</sub> = Kompensationswiderstand, gemessen am Ende 2,
- l<sub>x<sub>1</sub></sub> = Entfernung des Fehlers vom Ende 1,
- l<sub>x<sub>2</sub></sub> = Entfernung des Fehlers vom Ende 2,
- l'<sub>x<sub>1</sub></sub> = ungefähre Entfernung des Fehlers (ohne die Pupinspulen in Rechnung zu stellen),
- l'<sub>x<sub>2</sub></sub> = ungefähre Entfernung des Fehlers (ohne die Pupinspulen in Rechnung zu stellen),
- n = Anzahl der Pupinspulen in l'<sub>x<sub>1</sub></sub> oder l'<sub>x<sub>2</sub></sub>,
- N = Gesamtzahl der Pupinspulen in l,
- R<sub>p</sub> = Widerstand des Drahtes einer Pupinspule.

Die Anwendung dieser Methode ist an die nachgenannten Voraussetzungen geknüpft:

- a) Die Widerstände R<sub>a</sub> und R<sub>b</sub> der die Schleife bildenden Drähte müssen annähernd gleich sein.
- b) Der Messdraht b muss einen Isolationswiderstand R<sub>2</sub> von mindestens 3- bis 4facher Grösse des Isolationswiderstandes R<sub>1</sub> des schlechten Drahtes a haben. Man kann indessen einen Fehler eingrenzen bis zu einem Werte R<sub>2</sub> gleich 1,5 · R<sub>1</sub>, doch erfordert dies eine gewisse Fertigkeit von seiten des Messenden.

Nous nous proposons d'en vulgariser trois spécialement simples, pouvant s'exécuter avec les instruments mis à disposition des réseaux. L'une d'entre elles, particulièrement intéressante, est due à M. H. Weber; elle est exposée en détail, par l'auteur, dans ce même bulletin (p. 51).

Ces méthodes ont pour but de combiner les valeurs inexactes obtenues avec Varley, lorsque les conditions d'emploi ne sont pas réalisées, pour pouvoir déterminer la position exacte du défaut. Nous donnerons aussi quelques exemples de résultats obtenus.

Il existe naturellement d'autres méthodes, mais elles ne sont généralement pas utilisables avec les ponts des réseaux et offrent, par conséquent, un intérêt moindre pour nos besoins.

*Méthode de Weber.*

Cette méthode consiste à exécuter une mesure en Varley à bras égaux, à chaque extrémité du câble. Elle permet de calculer  $l_x$  en fonction directe de la résistance de compensation C. Soit pour des câbles non pupinisés:

$$l_{x_1} = 1 \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2} \tag{1}$$

$$l_{x_2} = 1 \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2} \tag{1a}$$

Ces deux formules ne sont pas indépendantes puisque  $l_{x_1} + l_{x_2} = 1$ .

Et pour des câbles pupinisés:

$$l_{x_1} = l'_{x_1} + \frac{N R_p}{R_a - N R_p} \left[ l'_{x_1} - \frac{n \cdot l}{N} \right] \tag{2}$$

On aurait une formule semblable pour  $l_{x_2}$ .

- l = longueur du fil mauvais a,
- C<sub>1</sub> = résistance de compensation mesurée de l'extrémité 1,
- C<sub>2</sub> = résistance de compensation mesurée de l'extrémité 2,
- l<sub>x<sub>1</sub></sub> = distance du défaut depuis l'extrémité 1,
- l<sub>x<sub>2</sub></sub> = distance du défaut depuis l'extrémité 2,
- l'<sub>x<sub>1</sub></sub> = distance approximative du défaut (sans tenir compte des bobines Pupin),
- l'<sub>x<sub>2</sub></sub> = distance approximative du défaut (sans tenir compte des bobines Pupin),
- n = nombre de bobines Pupin dans l'x<sub>1</sub> ou l'x<sub>2</sub>,
- N = nombre total de bobines Pupin dans l,
- R<sub>p</sub> = résistance d'un fil d'une bobine Pupin.

L'application de cette méthode est subordonnée aux conditions suivantes:

- a) Les résistances R<sub>a</sub> et R<sub>b</sub> des fils composant la boucle doivent être sensiblement égales.
- b) Le fil de mesure b doit avoir une résistance d'isolement R<sub>2</sub> au minimum 3 ou 4 fois plus grande que celle R<sub>1</sub> du fil mauvais a. On peut cependant localiser un défaut jusqu'à une valeur de R<sub>2</sub> égale 1,5 R<sub>1</sub>, mais cela demande une certaine habileté de la part de l'opérateur.
- c) L'isolement des fils ailleurs qu'à l'emplacement du défaut doit être également répartie et accuser une valeur normale (> 10 000 mégohms/km).
- d) Le total de la résistance des défauts de chaque fil de la boucle doit être environ 40 fois plus grand que la résistance de la boucle.
- e) Le rapport des résistances d'isolement du défaut ne doit pas varier dans de trop grandes limites durant et entre les différentes mesures

- c) Die Isolation der Drähte ausserhalb der Fehlerstelle muss gleich verteilt sein und einen normalen Wert aufweisen ( $> 10\,000$  Megohm/km).
- d) Das Total des Widerstandes der Fehler jedes Drahtes der Schleife muss ungefähr 40mal grösser sein als der Widerstand der Schleife.
- e) Das Verhältnis des Isolationswiderstandes des Fehlers darf sich während und zwischen den verschiedenen Messungen nicht innerhalb grosser Grenzen verändern (max. 10%). Daraus folgt, dass die Messungen von jedem Ende aus rasch und in möglichst kurzer Zeit ausgeführt werden müssen.

*Die Methode Jannès und Simon.*

Sie beruht auf der Tatsache, dass zwei Fehler mit Isolationswiderständen  $R_1$  und  $R_2$ , die in einer Entfernung von  $d$  Ohm voneinander gelegen sind, Äquivalente eines einzigen Fehlers sind, der im Gravitationszentrum der beiden kombinierten Fehler liegt, wenn man annimmt, dass in jedem Angriffspunkte der letzteren eine Kraft wirkt, die proportional zu ihrer Admittanz  $\frac{1}{R_1}$  und  $\frac{1}{R_2}$  ist. Ausserdem müssen  $R_1 + R_2$  grösser sein als  $d$ . Wie die Methode Weber, erfordert auch diese eine Messung an jedem Ende.

Anwendung für die Eingrenzung von Fehlern.

Die Isolationswiderstände zwischen Draht und Erde zwischen den beiden Drähten der Schleife können, wie in Figur 3 veranschaulicht, dargestellt werden.

In den Schleifenmethoden kann der Widerstand  $R_3$  vernachlässigt werden, da er sich in der Diagonalen der Batterie befindet.

Für eine Messung von  $S_1$  aus, kann die Schleife wie folgt dargestellt werden:

(max. 10%). Par conséquent, les mesures à chaque extrémité devront être faites rapidement et à des intervalles aussi courts que possible.

*Méthode de Jannès et Simon.*

Elle repose sur le fait que deux défauts de résistance  $R_1$  et  $R_2$ , situés à une distance de  $d$  ohms l'un de l'autre, sont équivalents à un défaut unique appliqué au centre de gravité des défauts composants, si l'on suppose qu'à chaque point d'application de ces derniers agit une force proportionnelle à leur admittance  $\frac{1}{R_1}$  et  $\frac{1}{R_2}$ . Il faut, en outre, que  $R_1 + R_2$  soit grand par rapport à  $d$ . Comme la méthode de Weber, elle demande une mesure à chaque extrémité.

Application à la localisation des défauts.

Les résistances d'isolement entre fil et contre terre des fils de la boucle peuvent être représentées comme l'indique la figure 3.

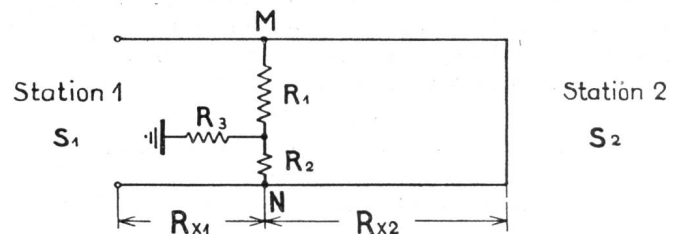


Fig. 3.

Dans les méthodes de la boucle, la résistance  $R_3$  peut être négligée, puisqu'elle se trouve dans la diagonale de la batterie.

Pour une mesure faite de  $S_1$ , la boucle peut être développée comme suit:

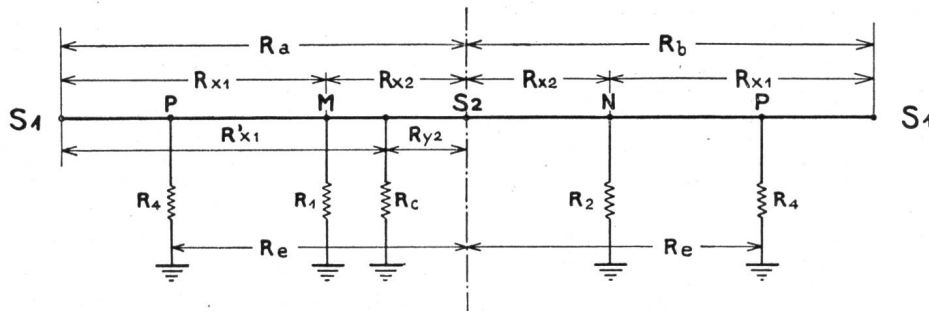


Fig. 4.

- $R_4$  = Isolationswiderstand der Drähte der Schleife ausserhalb der Fehlerstelle, von dem angenommen wird, er konzentrierte sich auf den Punkt P in einer Entfernung von  $R_e$ , in Ohm, von  $S_2$ . Die Widerstände müssen annähernd gleich sein und einen Normalwert aufweisen (wenigstens 10 000 Megohm/km).
- $R_c$  = resultierender Fehler,
- $R_{y_1}$  = Entfernung, in Ohm, von  $S_1$  auf den resultierenden Fehler,
- $R_{y_2}$  = Entfernung, in Ohm, von  $S_2$  auf den resultierenden Fehler.

- $R_4$  = résistance d'isolement des fils de la boucle ailleurs qu'à l'emplacement du défaut, supposée concentrée au point P, à une distance  $R_e$ , en ohms, de  $S_2$ . Elles devraient être sensiblement égales et avoir une valeur normale (au moins 10 000 mégohms/km),
- $R_c$  = défaut résultant,
- $R_{y_1}$  = distance, en ohms, de  $S_1$  au défaut résultant,
- $R_{y_2}$  = distance, en ohms, de  $S_2$  au défaut résultant.

Wenn wir annehmen, dass  $R_1 < R_2$ , so haben wir  $\frac{1}{R_1} > \frac{1}{R_2}$  und der resultierende Fehler  $R_c$  wird näher bei M als bei N liegen. Wählt man  $S_2$  als Ausgangspunkt und nimmt die Abszisse zur Rechten als nega-

Si nous supposons  $R_1 < R_2$  on aura  $\frac{1}{R_1} > \frac{1}{R_2}$  et le défaut résultant  $R_c$  sera plus près de M que de N. En choisissant  $S_2$  comme origine et en admettant les abscisses de droite négatives (—) et celles de gauche positives (+), on peut poser:

tiv (—) und jene zur Linken als positiv (+) an, so kann man setzen:

$$R_{y_2} = \frac{R_{x_2} - \frac{R_{x_2}}{R_2} + \frac{R_0}{R_4} - \frac{R_0}{R_4}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} + \frac{2}{R_4}}$$

$$= R_{x_2} \cdot \frac{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} + \frac{2}{R_4}} \quad (1)$$

wonach  $R_{y_1} = R_{x_1} \cdot \frac{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{2}{R_4}} \quad (2)$

Dividiert man (1) durch (2), so erhält man

$$\frac{R_{x_1}}{R_{x_2}} = \frac{R_{y_1}}{R_{y_2}} \text{ und } \frac{R_{x_1}}{R_{x_1} + R_{x_2}} = \frac{R_{y_1}}{R_{y_1} + R_{y_2}}$$

Da die Widerstände proportional den Längen sind, kann man schreiben:

$$\frac{l_{x_1}}{l} = \frac{R_{x_1}}{R_{x_1} + R_{x_2}} \text{ und } \frac{l_{x_2}}{l} = \frac{R_{x_2}}{R_{x_1} + R_{x_2}}$$

wonach  $l_{x_1} = l \cdot \frac{R_{y_1}}{R_{y_1} + R_{y_2}} \quad (3)$

und  $l_{x_2} = l \cdot \frac{R_{y_2}}{R_{y_1} + R_{y_2}} \quad (4)$

wobei  $l$  = Länge des schlechten Drahtes,  
 $l_{x_1}$  = Entfernung  $S_1$  vom Fehler,  
 $l_{x_2}$  = Entfernung  $S_2$  vom Fehler.

Diese Formeln geben die wahre Lage des Fehlers an. Sie sind von einander nicht unabhängig, da

$$l_{x_1} + l_{x_2} = l.$$

Die Eingrenzung wird in folgender Weise vorgenommen:

Man misst und berechnet  $R_{x_1}$  und  $R_{x_2}$  durch die gewohnten Methoden, erhält aber einen Wert  $R'_{x_1}$  oder  $R'_{x_2}$ , der keine reelle Bedeutung hat.

Wenn  $R_a$  der Widerstand des schlechten Drahtes ist, so ergibt sich:

$$R_{y_1} = R_a - R'_{x_2}$$

$$R_{y_2} = R_a - R'_{x_1}$$

Den wirklichen Wert von  $l_{x_1}$  oder  $l_{x_2}$  berechnet man nach den Formeln (3) und (4).

Da die Verfasser den Anwendungsfall ihrer Methode nach Varley mit gleichen Brücken-Zweigen, sowie den Fall, da die Widerstände  $R_a$  und  $R_b$  ungleich sind, nicht behandelt haben, ist uns daran gelegen, diese nachstehend zu entwickeln.

Wenn die Messungen nach Varley mit gleichen Brücken-Zweigen gemacht sind, und wenn  $R_a = R_b = \frac{R_s}{2}$ , d. h. wenn die beiden Drähte der Schleife einen gleichen Widerstand haben, so ergibt sich

$$R_{y_1} = \frac{C_2}{2}$$

$$R_{y_2} = \frac{C_1}{2}$$

wonach, in die Formeln (3) und (4) eingesetzt,

$$l_{x_1} = l \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2} \text{ und } l_{x_2} = l \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

$$R_{y_2} = \frac{\frac{R_{x_2}}{R_1} - \frac{R_{x_2}}{R_2} + \frac{R_0}{R_4} - \frac{R_0}{R_4}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} + \frac{2}{R_4}}$$

$$= R_{x_2} \cdot \frac{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} + \frac{2}{R_4}} \quad (1)$$

on trouverait de même:

$$R_{y_1} = R_{x_1} \cdot \frac{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{2}{R_4}} \quad (2)$$

En divisant (1) par (2) on obtient

$$\frac{R_{x_1}}{R_{x_2}} = \frac{R_{y_1}}{R_{y_2}} \text{ et } \frac{R_{x_1}}{R_{x_1} + R_{x_2}} = \frac{R_{y_1}}{R_{y_1} + R_{y_2}}$$

Les résistances étant proportionnelles aux longueurs, on peut écrire:

$$\frac{l_{x_1}}{l} = \frac{R_{x_1}}{R_{x_1} + R_{x_2}} \text{ et } \frac{l_{x_2}}{l} = \frac{R_{x_2}}{R_{x_1} + R_{x_2}}$$

d'où  $l_{x_1} = l \cdot \frac{R_{y_1}}{R_{y_1} + R_{y_2}} \quad (3)$

et  $l_{x_2} = l \cdot \frac{R_{y_2}}{R_{y_1} + R_{y_2}} \quad (4)$

où

$l$  = longueur du fil défectueux,  
 $l_{x_1}$  = distance de  $S_1$  du défaut,  
 $l_{x_2}$  = distance de  $S_2$  du défaut.

Ces formules donnent la position vraie du défaut. Elles ne sont pas indépendantes puisque

$$l_{x_1} + l_{x_2} = l.$$

La localisation se fait de la manière suivante: On mesure et calcule  $R_{x_1}$  et  $R_{x_2}$  par les méthodes habituelles, mais on obtient en réalité, une valeur  $R'_{x_1}$  ou  $R'_{x_2}$ , qui donne une position fictive.

Si  $R_a$  est la résistance du fil mauvais, on aura:

$$R_{y_1} = R_a - R'_{x_2}$$

$$R_{y_2} = R_a - R'_{x_1}$$

On calculera la valeur réelle  $l_{x_1}$  ou  $l_{x_2}$  d'après les formules (3) et (4).

Les auteurs n'ayant pas traité le cas de l'application de leur méthode en Varley à bras égaux et le cas des résistances  $R_a$  et  $R_b$  inégales, nous avons tenu à les développer ci-dessous. Si les mesures sont faites en Varley à bras égaux et si  $R_a = R_b = \frac{R_s}{2}$ , c'est-à-dire si les 2 fils de la boucle ont une résistance égale, on aura:

$$R_{y_1} = \frac{C_2}{2}$$

$$R_{y_2} = \frac{C_1}{2}$$

d'où, en remplaçant dans (3) et (4)

$$l_{x_1} = l \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2} \text{ et } l_{x_2} = l \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

qui sont les relations obtenues par la méthode Weber.

was den durch die Methode Weber erhaltenen Beziehungen entspricht:

Wenn  $R_a \neq R_b$ , so erhält man nach Varley mit gleichen Brücken-Zweigen

$$R'_{x_1} = \frac{(R_a + R_b) - C_1}{2} \text{ und } R_{y_1} = \frac{(R_a - R_b) + C_2}{2}$$

$$R'_{x_2} = \frac{(R_a + R_b) - C_2}{2} \text{ und } R_{y_2} = \frac{(R_a - R_b) + C_1}{2}$$

$$\text{und } I_{x_1} = 1 \cdot \frac{C_2 + (R_a - R_b)}{C_1 + C_2 + 2(R_a - R_b)} \quad (5)$$

$$I_{x_2} = 1 \cdot \frac{C_1 + (R_a - R_b)}{C_1 + C_2 + 2(R_a - R_b)} \quad (6)$$

Die Anwendungsbedingungen dieser Methode sind die gleichen wie jene bei Weber, soweit man die Methode von Varley mit gleichen Brücken-Zweigen anwendet.

Ihre Anwendung zu ungleichen Zweigen, oder in der Methode Murray, ist möglich, doch sind die Bedingungen unzureichend festgelegt. Wir haben verschiedene Versuche durchgeführt, die gute Resultate zeitigten, doch können wir noch nicht jene Schlüsse ziehen, die eine allgemeine Anwendung erlauben würden.

#### Die Methode Behrend.

Diese Methode beruht, wie die vorhergehenden, auf der Kombination von zwei Messungen, unterscheidet sich aber von diesen in dem Sinne, dass die Messungen von einem Ende aus gemacht werden, nach Varley mit gleichen Brücken-Zweigen, das eine Mal im Kurzschluss, das zweite Mal, indem man die Schleife mit einem bekannten Widerstande schliesst.

K = Isolationswiderstand ausserhalb des Fehlers,  
W, F = Isolationswiderstände des Fehlers.

Durch die Umwandlung des Dreiecks in einen Stern kann man dieses Schema durch dasjenige der Figur 6 ersetzen und erhält im Kurzschluss:

$$W' = \frac{W \cdot 2 R_y}{W + F + 2 R_y} \approx \frac{W \cdot 2 R_y}{W + F} \quad (1)$$

$$F' = \frac{F \cdot 2 R_y}{W + F + 2 R_y} \approx \frac{F \cdot 2 R_y}{W + F} \quad (2)$$

$$E = \frac{W \cdot F}{W + F + 2 R_y} \approx \frac{W \cdot F}{W + F}$$

durch Addition von (1) und (2) resultiert

$$W' + F' = 2 R_y$$

und durch Subtraktion

$$W' - F' = 2 R_y \cdot \frac{W - F}{W + F}$$

mit  $R_o$  hätte man ebenfalls:

$$W' + F' = 2 R_y + R_o$$

$$W' - F' = 2 R_y + R_o \cdot \frac{W - F}{W + F}$$

In der Anordnung im Kurzschluss ist das Gleichgewicht der Brücke hergestellt mit:

$$A \cdot (C_c + R_x + F') = A \cdot (R_x + W'),$$

$$\text{woraus } C_c = W' - F' = 2 R_y \cdot \frac{W - F}{W + F} \quad (3)$$

und mit dem Widerstand  $R_o$  eingesetzt:

$$C_r = (2 R_y + R_o) \cdot \frac{W - F}{W + F} \quad (4)$$

Si  $R_a \neq R_b$ , on obtiendra en Varley à bras égaux

$$R'_{x_1} = \frac{(R_a + R_b) - C_1}{2} \text{ et } R_{y_1} = \frac{(R_a - R_b) + C_2}{2}$$

$$R'_{x_2} = \frac{(R_a + R_b) - C_2}{2} \text{ et } R_{y_2} = \frac{(R_a - R_b) + C_1}{2}$$

$$\text{et } I_{x_1} = 1 \cdot \frac{C_2 + (R_a - R_b)}{C_1 + C_2 + 2(R_a - R_b)} \quad (5)$$

$$I_{x_2} = 1 \cdot \frac{C_1 + (R_a - R_b)}{C_1 + C_2 + 2(R_a - R_b)} \quad (6)$$

Les conditions d'application de cette méthode sont les mêmes que celle de Weber, pour autant que l'on utilise la méthode de Varley à bras égaux.

Son application à bras inégaux ou en Murray est possible, mais les conditions sont mal déterminées. Nous avons fait plusieurs essais qui ont donné de bons résultats, mais nous ne saurions en tirer déjà des conclusions permettant d'en généraliser l'emploi.

#### Méthode de Behrend.

Cette méthode est, comme les précédentes, basée sur la combinaison de deux mesures, mais elle en diffère en ce sens qu'elles sont faites d'une seule extrémité en Varley à bras égaux, une fois en court-circuit; la seconde fois en fermant la boucle par une résistance connue.

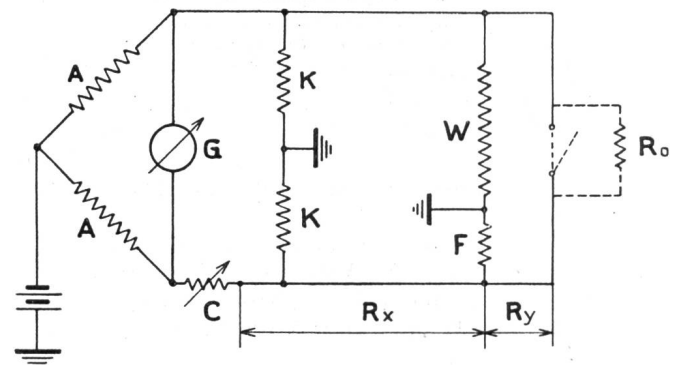


Fig. 5.

K = Résistance d'isolement des fils en dehors du défaut  
W, F = Résistances d'isolement du défaut

En transformant le triangle en étoile, on peut remplacer ce montage par celui de la figure 6 et l'on a:

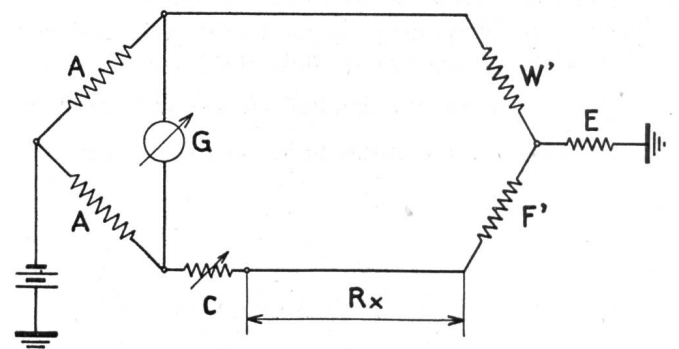


Fig. 6.

Indem man (3) durch (4) dividiert, erhält man

$$\frac{C_c}{C_r} = \frac{2 R_y}{2 R_y + R_o}$$

$$\text{und } R_y = \frac{R_o}{2} \cdot \frac{C_c}{C_r - C_c}$$

$$\text{und } R_x = R_a - R_y = R_a - \frac{R_o}{2} \cdot \frac{C_c}{C_r - C_c}$$

$$\text{und } I_x = 1 \cdot \left[ 1 - \frac{R_o}{2 R_a} \cdot \frac{C_c}{C_r - C_c} \right] \quad (5)$$

$C_c$  = Kompensationswiderstand im Kurzschluss,

$C_r$  = Kompensationswiderstand mit  $R_o$ ,

$R_a$  = Widerstand des schlechten Drahtes.

Ist  $R_o$  einmal eingesetzt, so muss sein Wert kontrolliert werden, indem man den Widerstand der neuen Schleife misst.

Die Anwendungsbedingungen dieser Methode sind die gleichen wie diejenigen für Weber. Ihr Gebrauch ist sehr praktisch für die von einer Meßstation ausstrahlenden Kabel. Es genügt, dass ein Beamter, selbst ein nicht eingeführter,  $R_o$  am andern Ende anbringt.

Als Widerstand  $R_o$  wählt man einen Wert von der Grösse des Widerstandes der Schleife.

Prüft man die Formeln (3) und (4), so stellt man fest, dass  $C_c$  und  $C_r$  veränderlich sind mit dem Ausdruck  $\frac{W-F}{W+F}$ . Je grösser die Differenz zwischen  $F$  und  $W$  ist, je kleiner ist der Fehler, der durch ihre Veränderung hervorgerufen wird.

Beispiele: Wenn man annimmt:  $W = 150 \Omega$ ,  $F = 10 \Omega$

$$\frac{W-F}{W+F} = \frac{150-10}{150+10} = 0,875$$

Verändert man  $W$  um 20% und  $F$  um 50%, so erhält man

$$\frac{W_1 - F_1}{W_1 + F_1} = \frac{180 - 15}{180 + 15} = 0,847$$

was einer Veränderung von 3,2% gleichkommt.

Wenn  $W = 50 \Omega$ ,  $F = 10 \Omega$

$$\frac{W-F}{W+F} = \frac{50-10}{50+10} = 0,667$$

$W_1 = 60 \Omega$ ,  $F_1 = 15 \Omega$

$$\frac{W_1 - F_1}{W_1 + F_1} = \frac{60-15}{60+15} = 0,600$$

was einer Veränderung von 10,4% gleichkommt.

*Durch die Verwendung der Instrumente, über die man in den Netzen verfügt, lassen sich mit Hilfe dieser drei Methoden die Eingrenzungen von Störungen mit Isolationswiderständen bis zu 50 Megohm mit genügender Genauigkeit durchführen.*

### III. Die Eingrenzung.

Wir halten es für nützlich, eingangs an die notwendigen Voraussetzungen für die Ausführung der Messungen mit der Wheatstone'schen Brücke zu erinnern. Mehrere derselben scheinen etwas elementar, doch haben sie nicht weniger beachtenswerten Einfluss auf die Genauigkeit des Resultates. Einige sind ausserdem für andere Methoden anwendbar, wie der Leser selbst erkennen wird.

*En court-circuit:*

$$W' = \frac{W \cdot 2 R_y}{W + F + 2 R_y} \approx \frac{W \cdot 2 R_y}{W + F} \quad (1)$$

$$F' = \frac{F \cdot 2 R_y}{W + F + 2 R_y} \approx \frac{F \cdot 2 R_y}{W + F} \quad (2)$$

$$E = \frac{W \cdot F}{W + F + 2 R_y} \approx \frac{W \cdot F}{W + F}$$

d'où, en additionnant (1) et (2)

$$W' + F' = 2 R_y$$

et en soustrayant

$$W' - F' = 2 R_y \cdot \frac{W - F}{W + F}$$

avec  $R_o$  on aurait de même

$$W' + F' = 2 R_y + R_o$$

$$W' - F' = 2 R_y + R_o \cdot \frac{W - F}{W + F}$$

En montage en court-circuit, l'équilibre du pont est réalisé avec

$$A \cdot (C_c + R_x + F') = A \cdot (R_x + W')$$

$$\text{d'où } C_c = W' - F' = 2 R_y \cdot \frac{W - F}{W + F} \quad (3)$$

et avec la résistance  $R_o$  intercalée

$$C_r = (2 R_y + R_o) \cdot \frac{W - F}{W + F} \quad (4)$$

en divisant (3) par (4), on obtient

$$\frac{C_c}{C_r} = \frac{2 R_y}{2 R_y + R_o}$$

$$\text{et } R_y = \frac{R_o}{2} \cdot \frac{C_c}{C_r - C_c}$$

$$\text{et } R_x = R_a - R_y = R_a - \frac{R_o}{2} \cdot \frac{C_c}{C_r - C_c}$$

$$\text{et } I_x = 1 \cdot \left[ 1 - \frac{R_o}{2 R_a} \cdot \frac{C_c}{C_r - C_c} \right] \quad (5)$$

$C_c$  = résistance de compensation en court-circuit,

$C_r$  = résistance de compensation avec  $R_o$ ,

$R_a$  = résistance du fil mauvais.

Une fois  $R_o$  intercalé, il y a lieu de contrôler sa valeur en mesurant la résistance de la nouvelle boucle.

Les conditions d'application de cette méthode sont les mêmes que pour la méthode de Weber. Son emploi sera très pratique sur les câbles rayonnant depuis une station de mesure. Il suffira qu'un agent, même non initié, place  $R_o$  à l'autre extrémité.

Pour la résistance  $R_o$ , on choisira une valeur de l'ordre de grandeur de la résistance de la boucle. Si l'on examine les formules (3) et (4), on constate que  $C_c$  et  $C_r$  sont variables avec l'expression  $\frac{W-F}{W+F}$ . Plus la différence entre  $F$  et  $W$  est grande, plus l'erreur provoquée par leurs variations est petite.

Exemples: Si l'on admet  $W = 150 \Omega$ ,  $F = 10 \Omega$

$$\frac{W-F}{W+F} = \frac{150-10}{150+10} = 0,875$$

Si  $W$  varie de 20% et  $F$  de 50% on a

$$W_1 = 180 \Omega, F_1 = 15 \Omega$$



### 1. Grundsätzliches.

- a) Weist das Kabel mehrere Fehler auf, so ist die Lösung des Problems der Eingrenzung ungewiss und man muss durch Unterteilung der Aufgabe vorgehen. Die erste Messung wird tatsächlich ein Resultat ergeben, das einem scheinbaren Fehler an einem bestimmten Punkte entspricht.
- b) Wo die Voraussetzungen erfüllt sind, drängen sich überall die Methoden nach Varley oder nach Murray (einfach) auf, da sie die genauesten Resultate auf rascheste Weise ergeben. Die Resultate der einen Methode wird man immer mit denjenigen der andern überprüfen.
- c) Die vorstehend beschriebenen neuen Methoden werden erst angewendet, wenn die Voraussetzungen zur Anwendung der einfachen Methoden nicht mehr erfüllt sind.
- d) Wenn es die Isolationswiderstände gestatten, bevorzugt man einer Messung gegen die Erde eine solche gegen einen dritten, schlechten Draht (Methode der Mischschleife gegen einen dritten Draht). Auf diese Weise eliminiert man im allgemeinen jene Ströme (tellurische, vagabundierende usw.), die von der Erde herrühren.

### 2. Aufstellen der Instrumente.

Die Batterie, das Galvanometer und die Anschlussdrähte müssen vollkommen von der Erde isoliert sein. Die Batterie muss in gutem Zustande sein, damit sie einen konstanten Strom liefert. Die verschiedenen Kontakte werden gereinigt und gut angezogen. Nicht zu vergessen sind diejenigen der Batterie, sowie diejenigen des Galvanometers, die die Empfindlichkeit merklich verringern, wenn sie zu grosse Widerstände haben. Die nicht sichtbaren Kontakte der Widerstandsdekaden werden ebenfalls von Zeit zu Zeit nachgesehen.

### 3. Auswahl der Drähte für die Schleife.

Die Schleife wird mit Drähten, deren Isolationswiderstände so verschieden wie möglich sind, gebildet, wobei derjenige des schlechten Drahtes den geringsten von allen hat.

In einem Kabel mit Vierern sucht man die Schleife mit einem Draht des gleichen Vierers zu bilden — im paarverseilten Kabel mit einem Draht des gleichen Paares —, sofern der Isolationswiderstand es erlaubt. Auf diese Weise weist das System die grösste Symmetrie auf. Der Einfluss der Induktiv- und Kapazitivströme, die durch die Brücke an die Erde zurückfliessen, werden auf ein Minimum herabgesetzt. Die Längsspannungen, die sie verursachen, werden tatsächlich ungefähr die gleichen und haben das Bestreben, sich auszugleichen.

In einem Kabel, das Drähte von verschiedenem Durchmesser hat, wählt man Drähte vom kleinsten und gleichen Durchmesser. Der relative Fehler, der durch den Messenden und das Instrument verursacht wird, ist um so geringer, je grösser der Widerstand des Drahtes ist.

Wenn man zwischen pupinisierten und nicht-pupinisierten Drähten die Wahl hat, so nimmt man die letzteren. Die Fehlerquellen, die von der Unkenntnis der genauen Werte des Widerstandes der Pupinspulen herrühren, werden ausgeschaltet. Sind

$$\frac{W_1 - F_1}{W_1 + F_1} = \frac{180 - 15}{180 + 15} = 0,847,$$

soit une variation de 3,2%.

Si  $W = 50 \sim$  et  $F = 10 \sim$

$$\frac{W - F}{W + F} = \frac{50 - 10}{50 + 10} = 0,667$$

$$W_1 = 60 \sim, F_1 = 15 \sim$$

$$\frac{W_1 - F_1}{W_1 + F_1} = \frac{60 - 15}{60 + 15} = 0,600$$

soit une variation de 10,4%.

*En employant les instruments dont disposent les réseaux, ces trois méthodes permettent de localiser, avec une précision suffisante, des dérangements ayant des résistances d'isolement jusqu'à 50 mégohms.*

### III. La localisation.

Nous croyons utile de rappeler les conditions préalables nécessaires à l'exécution d'une bonne mesure, avec les méthodes du pont Wheatstone. Plusieurs d'entre elles paraissent quelque peu élémentaires, mais elles n'en ont pas moins une influence considérable sur l'exactitude du résultat. Certaines sont, en outre, applicables à d'autres méthodes. Le lecteur appréciera lui-même.

#### 1. Principes.

- a) Si le câble présente plusieurs défauts, la solution du problème de la localisation est indéterminée et il faut alors procéder par sectionnement. La première mesure donnera évidemment un résultat correspondant à un défaut composant, placé en un point fictif.
- b) Partout où les conditions sont remplies, l'emploi des méthodes de Varley et de Murray simples s'impose, car ce sont elles qui livrent les résultats les plus exacts et les plus rapides. On contrôlera toujours le résultat d'une des méthodes par celui de l'autre.
- c) Les méthodes nouvelles décrites ci-dessous ne seront mises en pratique que lorsque les conditions pour l'emploi des méthodes de Varley et Murray ne seront plus remplies.
- d) Si les résistances d'isolement le permettent, on exécutera, de préférence à la mesure contre terre, une mesure contre un troisième fil mauvais (méthode du mélange-boucle contre troisième fil). On éliminera ainsi généralement les courants en provenance de la terre (telluriques, vagabonds, etc.).

#### 2. Montage des instruments.

La batterie, le galvanomètre et les fils de raccordement doivent être parfaitement isolés du sol. La batterie doit être en bon état afin de donner un courant constant. Les contacts divers seront nettoyés et bien serrés. Ne pas oublier ceux de la pile ainsi que ceux du galvanomètre, qui diminuent la sensibilité s'ils ont des résistances trop grandes. Les contacts, non visibles, des décades de résistances seront aussi vérifiés de temps à autre.

#### 3. Choix des fils de la boucle.

La boucle sera formée avec des fils ayant des résistances d'isolement aussi différentes que possible, celle du fil mauvais étant la plus faible de toutes.

sie dagegen pupinisiert, so wählt man jene mit der kleinsten Pupinisierung.

Die Anschlussdrähte zwischen Brücke und Kabel müssen so kurz wie möglich sein — 5 Meter im Maximum — und einen Querschnitt von 2,5 mm<sup>2</sup> haben. Ihr Einfluss kann unter diesen Voraussetzungen vernachlässigt werden.

#### 4. Wahl der Spannung.

Die Stabilität des Isolationswiderstandes des Fehlers ist eine der wesentlichen Voraussetzungen für die Ausführung einer genauen Messung mit den beschriebenen neuen Methoden. Sie verändert sich hauptsächlich mit der Erwärmung des Fehlers oder durch die Erscheinung der Polarisation, Ursachen, die direkte Wirkungen der Klemmenspannung sind.

Die Regel ist somit:

Verwendung der kleinsten Spannung, die noch eine richtige Messung erlaubt;  
das System nie länger unter Spannung lassen, als es die äusserst notwendige Zeit zur Messung erfordert.

Im allgemeinen sind die Spannungen von folgender Grösse:

Widerstand des Fehlers	Spannung
bis zu 5000 Ohm . . .	6—30 Volt
bis zu 500 000 Ohm . . .	30—150 Volt
bis zu 1 Megohm . . .	150—180 Volt
bis zu 4 Megohm . . .	180—300 Volt
mehr als 4 Megohm . . .	300—480 Volt

Für die Messung von Fehlern mit grossem Isolationswiderstand wählt man im weitem ein Galvanometer von grosser Empfindlichkeit.

In den Netzausrüstungen verwendet man bei Widerständen bis zu 4 Megohm das eingebaute Galvanometer, darüber hinaus das grosse.

Wenn in dem System Störströme auftreten, so tut man gut, eine grössere Spannung als normal zu verwenden, damit ihr Einfluss verhältnismässig verringert wird. Bei der Verwendung von selbst geringen Spannungen zur Eingrenzung von Fehlern auf pupinisierten Kabeln von kurzer Länge ist darauf zu achten, dass durch eine versehentliche Erdung eines Drahtes nicht ein zu starker Strom auf die Pupinspulen gelangt.

#### 5. Wahl der Vergleichsweige der Brücke.

Man beweist, dass bei gleicher Spannung und gleicher Empfindlichkeit des Galvanometers, die maximale Empfindlichkeit der Wheatstone-Brücke dann erreicht ist, wenn

$$A = B = C = R_x = G = P,$$

wobei G = Widerstand des Galvanometers,

P = Widerstand der Batterie.

Diese Bedingung lässt sich kaum je verwirklichen, da G und P gegeben sind. Im Gebrauch der Brücke zur Eingrenzung eines Fehlers, sind  $R_s$  und  $R_x$  ebenfalls gegeben. Man sucht sich deshalb den Bedingungen für Varley zu nähern:

$$A = B = C + R_x = R_s - R_x.$$

Fast immer lassen sich für A und B Werte von der Grösse  $C + x$  oder  $R_s - x$  wählen und damit  $A = B$  machen.

Dans un câble en quartes, on cherchera à former la boucle avec des fils d'une même quarte — dans les câbles en paires, d'une même paire — chaque fois que la résistance d'isolement le permettra. De cette manière, le système sera le plus symétrique. L'influence des courants à base inductive ou capacitive qui retournent à la terre au travers du pont sera réduite au minimum. En effet, les tensions longitudinales qu'ils provoquent seront sensiblement les mêmes et auront tendance à s'annuler.

Dans un câble ayant des fils de différents diamètres, on choisira ceux ayant le plus petit et le même diamètre. L'erreur relative due à l'opérateur et à l'instrument sera d'autant plus faible que la résistance du fil sera grande.

Si l'on a le choix entre des fils pupinisés ou non, on prendra ces derniers. Les sources d'erreur dues à la méconnaissance de la valeur exacte de la résistance des bobines Pupin seront éliminées. S'ils sont pupinisés, on choisira ceux à charge la plus faible.

Les fils de raccordement pont-câble seront aussi courts que possible — 5 mètres au maximum — et d'une section d'au moins 2,5 mm<sup>2</sup>. Leur influence pourra alors être négligée.

#### 4. Choix de la tension.

La stabilité de la résistance d'isolement du défaut est une des conditions essentielles pour exécuter une mesure exacte avec les nouvelles méthodes décrites. Elle varie principalement avec l'échauffement du défaut ou par des phénomènes de polarisation, causes qui sont fonctions directes de la tension aux bornes. La règle sera donc:

utiliser la tension la plus petite permettant encore une mesure correcte;

ne laisser le système sous tension que le temps strictement nécessaire à la mesure.

En général, les tensions seront de l'ordre de grandeur suivant:

Résistance du défaut	Tension
jusqu'à 5000 ohms . . .	6—30 volts
jusqu'à 500 000 ohms . . .	30—150 volts
jusqu'à 1 mégohm . . .	150—180 volts
jusqu'à 4 mégohms . . .	180—300 volts
plus de 4 mégohms . . .	300—480 volts.

Pour les mesures de défauts avec grandes résistances d'isolement, on choisira, en outre, un galvanomètre à grande sensibilité.

Dans l'équipement des réseaux, on emploiera le galvanomètre fixe jusqu'à des résistances atteignant 4 mégohms; en dessus, le grand galvanomètre. S'il y a des courants perturbateurs dans le système, on aura intérêt à choisir une tension plus forte que la normale, afin de diminuer leur influence relative. Lors de l'emploi de tensions même peu élevées pour localiser des défauts sur des câbles pupinisés de courte longueur, il faudra prendre garde que, par la mise à terre accidentelle d'un fil, un courant trop intense ne passe dans les bobines Pupin.

#### 5. Choix des bras de proportion du pont.

On démontre, à tension égale et à sensibilité égale du galvanomètre, que la sensibilité maximum du

Für Murray:  $B = C = R_x = R_s - R_x$ .

Für B lässt sich in den meisten Fällen ein Wert von der Grösse C oder  $R_x$ , oder auch  $R_s - R_x$  wählen. Ein Teil der Voraussetzungen ist damit gegeben.

Mit unserer Brücke, die Widerstandsdekaden von  $\frac{1}{10}$ , 1, 10, 100 und 1000 Ohm besitzt, lassen sich die Messungen nach Varley mit gleichen Brücken- zweigen  $\frac{10}{10}$ ,  $\frac{100}{100}$  und  $\frac{1000}{1000}$  immer mit der gewünschten Genauigkeit durchführen. Auf diese Weise wird sie unter den günstigsten Empfindlichkeitsbedingungen verwendet.

Man geht dabei in folgender Weise vor:

Eine erste Messung erlaubt den ungefähren Wert von  $R_x$  zu bestimmen ( $R_s$  ist gegeben). Für die zweite Messung wählt man die dienlichen Werte von A und B.

#### 6. Die Messung.

Einer der Faktoren, die für die Genauigkeit in der Fehlerortbestimmung von wesentlicher Bedeutung sind, ist eine sehr kurze Zeitdauer der Messungen. Der Einfluss der Störströme aller Art, sowie die Veränderung des Isolationswiderstandes, werden auf diese Weise auf ein Minimum herabgesetzt; man geht dabei in folgender Weise vor:

Ist die Schleife einmal gebildet — man schliesst mit einem sichern Kontakt (Lötstelle, Bügel, die Drähte eingeklemmt in Klemmen usw.) — so handelt es sich darum, den Widerstand jedes einzelnen Drahtes und der Schleife zu ermitteln. Es genügt nicht, die letztere zu messen und den Wert durch zwei zu dividieren, denn es ist keineswegs sicher, dass die Widerstände der beiden Drähte gleich sind. Die Widerstände werden durch eine Kompensationsmessung in folgender Weise bestimmt:

$$\begin{aligned} 1. \text{ Messung: } & R_a + R_b = D \\ 2. \text{ Messung: } & + R_a + R_c = E \\ & \frac{2 R_a + R_b + R_c = D + E}{2 R_a = D + E - F} \\ 3. \text{ Messung: } & - R_b + R_c = F \\ & R_a = \frac{D + E - F}{2} \end{aligned}$$

wobei

D = Widerstand der Schleife =  $R_s$ ,  
 $R_a$  = Widerstand des schlechten Drahtes,  
 $R_b$  = Widerstand des Messdrahtes,  
 $R_c$  = Widerstand des Hilfsdrahtes.

Verwendete Spannung 3 — 9 Volt.

Wenn die Isolationswiderstände von a und b sehr schwach sind, so nimmt man an Stelle von b einen andern Hilfsdraht. Hierauf wiederholt man die Operation, um  $R_b$  zu bestimmen und den Widerstand der Schleife zu berechnen.

Um ein genaueres Resultat zu erhalten, müssen der oder die Hilfsdrähte mit a und b einen Isolationswiderstand von wenigstens einigen Tausend Ohm haben.

Durch dieses Vorgehen erhält man die wirklichen Werte des Widerstandes, unter Berücksichtigung aller dauernden Einflüsse, wie Verseilung, Fabrikationstoleranzen der Drähte und der Pupinspulen, sowie die Einflüsse vorübergehender Art, wie Tem-

pont de Wheatstone est atteinte lorsque

$$\begin{aligned} A &= B = C = R_x = G = P \\ \text{où } G &= \text{résistance du galvanomètre,} \\ P &= \text{résistance de la batterie.} \end{aligned}$$

Cette condition est presque toujours irréalisable puisque G et P sont donnés. Dans l'utilisation du pont pour localiser un défaut,  $R_s$  et  $R_x$  sont aussi donnés. On cherchera donc à s'approcher de la condition pour Varley:

$$A = B = C + R_x = R_s - R_x.$$

On pourra presque toujours choisir pour A et B des valeurs de l'ordre de grandeur de  $C + R_x$  ou  $R_s - R_x$  et faire  $A = B$ .

Pour Murray:  $B = C = R_x = R_s - R_x$ .

On pourra presque toujours choisir pour B une valeur de l'ordre de grandeur de C ou  $R_x$  ou encore de  $R_s - R_x$ . Une partie de la condition sera ainsi réalisée.

Avec notre pont, qui possède des décades de résistances de  $\frac{1}{10}$ , 1, 10, 100 et 1000 ohms, les mesures en Varley peuvent toujours être faites à bras égaux  $\frac{10}{10}$ ,  $\frac{100}{100}$  et  $\frac{1000}{1000}$  avec une précision suffisante. Il sera ainsi employé avec la condition de sensibilité la plus favorable.

On procédera de la manière suivante:

Une première mesure permettra de déterminer la valeur approximative de  $R_x$  ( $R_s$  étant connu). La seconde sera faite en choisissant des valeurs de A et B qui conviennent.

#### 6. La mesure.

Un des facteurs jouant un rôle important dans l'exactitude de la détermination de l'emplacement du défaut réside dans une durée très courte des mesures. De cette manière, l'influence des courants perturbateurs de tous genres et de la variation de la résistance d'isolement sera réduite au minimum. On procédera comme suit:

Une fois la boucle formée — on la fermera de manière à avoir un contact sûr (soudure, étrier, fils serrés dans une borne, etc.) — il s'agira d'obtenir la résistance de chaque fil et de la boucle. Il ne suffira pas de mesurer cette dernière et de la diviser par deux, car il n'est aucunement certain que les résistances des deux fils soient égales. Elles seront déterminées au moyen d'une mesure de compensation de la forme:

$$\begin{aligned} 1^{\text{ère}} \text{ mesure: } & R_a + R_b = D \\ 2^{\text{e}} \text{ mesure: } & + R_a + R_c = E \\ & \frac{2 R_a + R_b + R_c = D + E}{3^{\text{e}} \text{ mesure: } - R_b + R_c = F} \\ & \frac{2 R_a = D + E - F}{R_a = \frac{D + E - F}{2}} \end{aligned}$$

D = résistance de la boucle =  $R_s$ ,  
 $R_a$  = résistance du fil mauvais,  
 $R_b$  = résistance du fil de mesure,  
 $R_c$  = résistance du fil auxiliaire,

avec une tension de 3 à 9 volts.

Si les résistances d'isolement de a et b sont très faibles, on choisira, à la place de b, un autre fil



peratur usw.; diese Faktoren können zwischen den Drähten Widerstandsunterschiede bis zu 4% hervorrufen.

Wenn die Anschlussdrähte lang und von kleinem Querschnitt sind, wie z. B. in den festen Messstationen, so muss ihrem Widerstand in der Berechnung des schlechten Drahtes, sowie von  $R_x$ , Rechnung getragen werden. Sobald diese Widerstände ermittelt sind, geht man zur Bestimmung des Fehlers über.

In jedem Falle beginnt man die Messung unter Verwendung des eingebauten Galvanometers mit dem kleinsten Shunt, um dann, wenn nötig (Widerstand  $> 4 M\Omega$ ), mit dem grossen Galvanometer fortzufahren, damit das vollkommene Gleichgewicht der Brücke erlangt wird.

Überall wo es möglich ist, verwendet man das kleine Galvanometer, da es den wesentlichen Vorteil hat, die Messungen sehr rasch ausführen zu können. Bei der Handhabung der Instrumente ist darauf zu achten, dass zuerst der Batteriekreis geschlossen wird und erst nachher derjenige des Galvanometers und umgekehrt; das letztere wird bei jedem Wechsel der Verbindungen ausgeschaltet.

Wie wir bereits früher erwähnten, können im allgemeinen sämtliche Messungen nach Varley mit gleichen Brücken-Zweigen ausgeführt werden, da die Dekade von 0,1 Ohm eine Annäherung bis auf 0,05 Ohm erlaubt. Ein Widerstand von 50 Ohm kann mit einer Genauigkeit von  $\frac{0,05}{50} = 1/1000$  gemessen werden, was der Genauigkeit der Brücke gleichkommt. Für die Ermittlung von kleineren Widerständen hilft man sich mit Ablesungen am Galvanometer, die mit zwei verschiedenen Widerständen zu 0,1 Ohm gemacht werden, indem man die festgestellten Abweichungen als diesen Widerständen proportional annimmt.

Der Wert des Widerstandes nach Varley zu gleichen Brücken-Zweigen, oder nach Murray wäre

$$C = C' + r \cdot \frac{\alpha}{\alpha + \alpha'}$$

wobei

- C = genauer Widerstand,
- r = Widerstand einer Stufe der Dekade,
- $\alpha$  = Ablenkung nach der einen Seite von Null, in Uebereinstimmung mit der Stellung d der Dekade,
- $\alpha'$  = Ablenkung auf die andere Seite von Null, in Uebereinstimmung mit der Stellung d + 1 der Dekade,
- C' = Widerstand, in Uebereinstimmung mit der Stellung d.

*Beispiel.* Wenn sich die Brücke nicht abgleichen lässt:

mit  $C' = 8,4$  Ohm,  $\alpha = 3$  Ablenkung,  
mit  $C' + r = 8,5$  Ohm,  $\alpha = 7$  Ablenkung,

woraus  $C = 8,4 + 0,1 \cdot \frac{3}{3 + 7} = 8,43$  Ohm.

Machen sich Einflüsse von Störströmen bemerkbar, so lassen sich diese, vorausgesetzt, dass sie konstant sind, eliminieren, indem man sich der *Methode des falschen Nullpunktes* bedient, d. h. man betrachtet die Stellung, die der Zeiger des Galvanometers vor dem Einschalten der Batterie eingenommen hat, als Nullpunkt der Skala. Nach dem Einschalten der Spannung regliert man das Gleichgewicht der Brücke auf diesen fiktiven Nullpunkt.

auxiliaire. On pourra alors répéter l'opération pour déterminer  $R_b$  et calculer la résistance de la boucle.

Pour obtenir un résultat exact, le ou les fils auxiliaires devront avoir une résistance d'isolement avec a et b d'au moins quelques milliers d'ohms.

Par cette façon de procéder, on obtiendra la valeur réelle de la résistance, compte tenu de toutes les influences permanentes telles que toronnage, tolérances de fabrication du fil et des bobines Pupin, ainsi que des influences momentanées: température, etc.; ces facteurs peuvent produire des différences de résistance entre fils jusqu'à 4%.

Si les fils de raccordement sont longs et de petite section, par exemple dans les stations de mesures fixes, il faudra tenir compte de leur résistance dans le calcul de celle du fil mauvais et de  $R_x$ . Une fois ces résistances obtenues, on passera à la détermination du défaut.

Dans tous les cas, on commencera la mesure en employant le galvanomètre fixe, avec le plus petit shunt, et, si nécessaire (résistance  $> 4 M\Omega$ ), on continuera avec le grand galvanomètre pour obtenir l'équilibre parfait du pont.

Partout où cela sera possible, on choisira le petit galvanomètre, car il offre l'immense avantage de permettre des mesures très rapides. Dans les manipulations des instruments, il faudra prendre soin de fermer d'abord le circuit de batterie, puis celui du galvanomètre et inversement; ce dernier sera mis hors circuit avant chaque changement de connexions. Comme nous l'avons déjà mentionné, toutes les mesures en Varley pourront généralement se faire à bras égaux, la décade de 0,1 ohm permettant une approximation de 0,05 ohm. Une résistance de 50

ohms pourra être mesurée avec une précision de  $\frac{0,05}{50} = 1/1000$ , égale à celle du pont. Pour la détermination de résistances plus petites, on pourra interpoler les lectures du galvanomètre faites avec deux résistances différentes de 0,1 ohm, en considérant les déviations obtenues comme étant proportionnelles à ces résistances.

La valeur de la résistance sera, en Varley bras égaux ou Murray

$$C = C' + r \cdot \frac{\alpha}{\alpha + \alpha'}$$

où

- C = résistance exacte,
- r = résistance d'un pas de la décade,
- $\alpha$  = déviation d'un côté du zéro, correspondant à la position d de la décade,
- $\alpha'$  = déviation de l'autre côté du zéro, correspondant à la position d + 1 de la décade,
- C' = résistance correspondant à la position d.

*Exemple:* Le pont n'a pas pu être équilibré: avec  $C = 8,4$  ohms,  $\alpha = 3$  dév.  
avec  $C' + r = 8,5$  ohms,  $\alpha' = 7$  dév.

d'où  $C = 8,4 + 0,1 \cdot \frac{3}{3 + 7} = 8,43$  ohms.

Si l'influence des courants perturbateurs se fait sentir, on pourra l'éliminer, à condition qu'elle soit sensiblement constante, en procédant par la *méthode du faux zéro*; on considère la position que prend l'aiguille du galvanomètre avant l'intercalation de la batterie comme le zéro de l'échelle. Une fois la

Die Messung wird mehrere Male wiederholt, indem man abwechselungsweise die Stromrichtung ändert. Von den Resultaten nimmt man das Mittel.

Je länger das Kabel ist, um so grösser sind die Einflüsse von Induktiv-, Kapazitiv- und tellurischen Strömen usw. Diese letztern sind in der Regel weder in ihrer Dauer noch in ihrem Werte konstant und lassen sich deshalb nur dadurch etwas unterdrücken, indem man einen Widerstand auf den Erddraht schaltet, oder indem man die Empfindlichkeit des Galvanometers durch das Einschalten eines Shuntes reduziert. Leider wird damit auch die Empfindlichkeit der ganzen Messvorrichtung herabgesetzt. Die beste Lösung für derartige Fälle ist immer der Versuch, die Messung mit einem dritten Draht, an Stelle der Erde, durchzuführen.

Bei der Eingrenzung von Fehlern mit hohem Uebergangswiderstand können sich auf thermischer Basis Spannungen bilden, die einen beachtlichen Wert erreichen können. Die dadurch erzeugten Ströme sind in der Regel nach Ablauf einer gewissen Zeit konstant. Die Methode der falschen Nullpunktes erlaubt deren Messung. Die Nullstellung ist dabei wiederholt zu prüfen.

Sind keine Störströme vorhanden, so müssen die Messresultate übereinstimmen, auch wenn die Messungen mit gewechselten Polen ausgeführt werden.

Bei den Messungen mit zwei Brücken ist wichtig:

1. dass die Instrumente dieselben sind,
2. dass der Prüfende mit derselben Genauigkeit arbeitet,
3. dass die Messungen in der gleichen Weise ausgeführt werden (kurze Dauer usw.).

#### 7. Berechnung des Fehlerortes.

Die Bestimmung des Fehlerortes lässt sich auf sehr einfache Weise durchführen. Wenn die Kabel nicht pupinisiert sind, und wenn der schlechte Draht  $a$  überall den gleichen Ohmschen Widerstand (gleicher Durchmesser) hat, so ist es klar, dass der Widerstand proportional der Länge ist. Man hat somit die folgende Beziehung:

$$I_x = \frac{l \cdot R_x}{R_a} \quad (1)$$

und nach Varley mit gleichen Brücken-Zweigen

$$I_x = \frac{l \cdot (R_s - C)}{2 R_a} \quad (2)$$

Es wird nicht notwendig sein, die Kilometerwiderstände, wie sie in den „Baubestimmungen für Kabelanlagen“, oder in der Tabelle „Aufbau und elektrische Daten der Fern- und Bezirkskabel“ enthalten sind, zu gebrauchen, ausser wenn a nicht einen homogenen Widerstand hat (verschiedene Durchmesser) oder wenn seine Länge nicht bekannt ist.

Dieses Rechnungsverfahren gibt nur angenäherte Resultate. Tatsächlich ist der in den „Baubestimmungen für Kabelanlagen“ vorgesehene Kilometerwiderstand ein Maximalwert, während jener der Tabelle das Mittel des Widerstandes aller im Kabel befindlichen Drähte angibt. Im weitern sind sie unter Berücksichtigung einer Temperatur von  $15^{\circ}$  für Abonnentenkabel von 0,6 und 0,8 mm Durchmesser, und  $20^{\circ}$  für Bezirks- und Fernkabel, berechnet.

tension mise, on règle l'équilibre du pont sur cette position. La mesure sera répétée plusieurs fois, en changeant alternativement le sens du courant, et l'on prendra la moyenne.

Plus le câble sera long, plus l'influence des courants inductifs, capacitifs, telluriques, etc., sera grande. Ces derniers étant généralement peu constants en durée et valeurs, on pourra les diminuer quelque peu en intercalant une résistance sur le fil de terre ou en diminuant la sensibilité du galvanomètre en choisissant un shunt plus petit. La sensibilité de tout le système en sera, malheureusement, aussi diminuée.

La meilleure solution sera toujours d'essayer de faire la mesure avec un troisième fil en place du fil de terre.

Lors de la localisation de défauts élevés, il pourra se produire des tensions à base thermique qui pourront atteindre une certaine valeur. Les courants engendrés par celles-ci seront, généralement au bout d'un certain temps, sensiblement constants. La méthode du faux zéro permettra d'exécuter la mesure. Il sera nécessaire de vérifier souvent la position de ce zéro.

S'il n'y a pas de courants perturbateurs, les mesures faites en inversant les pôles devront être identiques.

Dans les mesures avec deux ponts, il est important

- que les instruments soient identiques,
- que les opérateurs travaillent avec la même précision,
- que les mesures soient faites de la même manière (courte durée, etc.).

#### 7. Calcul de l'emplacement du défaut.

La détermination de l'emplacement se fera d'une manière très simple. Si les câbles ne sont pas chargés et si le fil mauvais a partout la même résistance ohmique (même diamètre), il est clair que la résistance est proportionnelle à la longueur. On aura donc la relation:

$$I_x = \frac{l \cdot R_x}{R_a} \quad (1)$$

et en Varley à bras égaux

$$I_x = \frac{l \cdot (R_s - C)}{2 R_a} \quad (2)$$

Il ne sera nécessaire d'utiliser la résistance kilométrique des cahiers des charges ou de la table „Aufbau und elektrische Daten der Fern-Bezirkskabel“ que si a n'a pas une résistance homogène (différents diamètres) ou que si sa longueur n'est pas connue. Ce procédé de calcul ne conduira qu'à des résultats approximatifs. En effet, la résistance kilométrique stipulée dans le cahier des charges est une résistance limite maximum, tandis que celle de la table est la moyenne de la résistance de tous les fils du câble. En outre, elles sont établies pour une température de  $15^{\circ}$  lorsqu'il s'agit de câbles d'abonnés 0,6 et 0,8 mm de diamètre et de  $20^{\circ}$  pour les câbles régionaux et interurbains.

Une correction exacte de la résistance en fonction de la température momentanée du câble est pratique-



Eine genaue Korrektur des Widerstandes in Beziehung zur augenblicklichen Temperatur des Kabels ist praktisch unmöglich. Die Temperatur eines in einer Tiefe von 70 bis 80 cm verlegten Kabels erleidet sozusagen keine Aenderungen durch die täglichen Temperaturschwankungen der Luft. Man kann sich somit nicht auf die letztere beziehen. Würde man sie berücksichtigen, so wäre ein Fehler von  $10^0$  wohl möglich, was einem Fehler in der Widerstandsbestimmung von

$E\% = R_a \cdot [1 - (1 \pm 0,00393 \cdot 10)] =$  ungefähr  $\pm 4\%$  von  $R_a$  gleichkäme.

#### 8. Der Einfluss der Pupinspulen.

Für pupinisierte Kabel sind die Formeln (1) und (2) nicht mehr genau, da durch das Vorhandensein von Pupinspulen ein weiterer Widerstand, der auf gewisse Punkte konzentriert ist, eingeführt wird. Der Widerstand der Leitung ist somit nicht mehr proportional ihrer Länge. Um den Einfluss der Pupinspulen auszuschalten, setzt man:

$$l_x = 1 \cdot \frac{R_x - n \cdot R_p}{R_a - N \cdot R_p} \quad (3)$$

wobei

$R_p$  = Widerstand des Drahtes einer Pupinspule, gemäss Tabelle,

$n$  = Anzahl der Pupinspulen in  $R_x$ ,

$N$  = Anzahl der Pupinspulen in  $R_a$ .

Man geht dabei in folgender Weise vor:

Die ungefähre Entfernung des Fehlers wird durch die Formel (1) oder (2) berechnet, als wären die Spulenwiderstände gleichmässig verteilt.

Man hat  $l'_x = \frac{l \cdot R_x}{R_a}$

Hierauf wird die Anzahl  $n$  der Pupinspulen, die in  $R_x$  enthalten sind, bestimmt und die Rechnung beginnt von neuem mit der Formel (3). Man muss sich alsdann überzeugen, dass  $l_x$  ebenso gut leitet wie  $l'_x$  im gleichen Pupinstück, andernfalls die Rechnung wiederholt werden muss, indem man  $n$  um 1 vermindert oder vermehrt.

Der maximale Fehler der daraus resultieren kann, dass man den Pupinspulen nicht Rechnung trägt, wird tatsächlich gleich der Länge des Drahtes, entsprechend dem Widerstand einer Wicklung.

Die Eingrenzung von Fehlern in pupinisierten Kabeln wird immer weniger genau sein, als diejenige in einem nicht pupinisierten Kabel, da der Widerstand der Spulenwicklungen bis zu  $\pm 0,5 \sim$  variieren kann. Die Daten der Tabelle stellen nur Mittelwerte dar. Man sucht deshalb die letzte Messung auf einem Leitungsabschnitt ohne Pupinspulen zu machen.

Weber behandelt die Frage des Einflusses der Pupinspulen in der vorliegenden Nummer (S. 51) eingehend. Die Anwendung der von ihm entwickelten Formel ist sehr praktisch in den Messungen mit zwei Brücken. Wir wiederholen die Formel:

$$l_x = l'_x + \frac{N \cdot R_p}{R_a - N \cdot R_p} \left[ l'_{x_1} - \frac{n \cdot l}{N} \right] \quad (4)$$

#### 9. Genaue Bestimmung des Fehlerortes für Isolationsfehler im Gelände.

Wird die Störung durch sichtbare Ursachen, wie Grabarbeiten (Pickelhiebe usw.), Erdsenkungen, Na-

ment impossible. En effet, la température d'un câble enterré à une profondeur de 70 à 80 cm ne subit presque plus les variations de la température journalière de l'air. On ne pourra donc pas se baser sur cette dernière. En l'estimant, une erreur de  $10^0$  sera très possible, ce qui correspond à une erreur dans la détermination de la résistance de

$E\% = R_a \cdot [1 - (1 \pm 0,00393 \cdot 10)] =$  env.  $\pm 4\%$  de  $R_a$ .

#### 8. Influence des bobines Pupin.

Sur des câbles chargés, les formules (1) et (2) ne seront plus exactes, car la présence des bobines Pupin introduit des résistances supplémentaires concentrées en certains points. La résistance du fil n'est donc plus proportionnelle à sa longueur. Pour supprimer leur influence, on devra poser:

$$l_x = 1 \cdot \frac{R_x - n \cdot R_p}{R_a - N \cdot R_p} \quad (3)$$

où

$R_p$  = Résistance d'un fil d'une bobine Pupin selon la tablelle,

$n$  = nombre de bobines Pupin contenues dans  $R_x$ ,

$N$  = nombre de bobines Pupin contenues dans  $R_a$ .

On procédera de la manière suivante:

La distance approximative du défaut sera calculée comme si les résistances des bobines étaient uniformément réparties, par la formule (1) ou (2).

On aura  $l'_x = \frac{l \cdot R_x}{R_a}$

Puis le nombre  $n$  de bobines Pupin contenues dans  $R_x$  sera déterminé et l'on recommencera le calcul avec la formule (3). Il faudra alors s'assurer si  $l_x$  conduit bien dans la même section Pupin que  $l'_x$ , sinon le calcul devra être refait en diminuant ou augmentant  $n$  de 1.

L'erreur maximum qui peut résulter si l'on ne tient pas compte des bobines Pupin, sera évidemment égale à la longueur de fil correspondant à la résistance d'un enroulement.

La localisation de défauts sur des câbles chargés sera toujours moins exacte que celle sur un câble non chargé, car la résistance des enroulements peut varier de  $\pm 0,5 \sim$ ; celle contenue dans la tablelle n'est qu'une moyenne. Il faudra donc chercher à faire la dernière mesure sur un tronçon n'ayant plus de bobines Pupin.

Weber a traité en détail la question de l'influence des bobines Pupin dans l'article qui précède. L'emploi de la formule qu'il a établie est très pratique dans les mesures avec deux ponts. Nous la rappelons:

$$l_x = l'_x + \frac{N \cdot R_p}{R_a - N \cdot R_p} \left[ l'_{x_1} - \frac{n \cdot l}{N} \right] \quad (4)$$

#### 9. Détermination de l'emplacement exact du défaut dans le terrain, pour des défauts d'isolement.

Si le dérangement est provoqué par une cause visible: travaux de fouille (coup de pioche, etc.), affaissement du terrain, rongeurs, etc., il sera facilement repéré. Dans le cas contraire: fissure du plomb, gaine poreuse, nombreuses traces de corrosion, on pourra s'aider avantageusement en employant les procédés suivants:

getiere usw. hervorgerufen, so ist die Instandstellung leicht. In gegenteiligen Fällen, wie Bleirissen, porösem Kabelmantel, zahlreichen Korrosionsspuren usw., hilft man sich vorteilhaft mit dem folgenden Vorgehen:

a) Das Galvanometer wird an den oder die schlechten Drähte geschaltet, wie für eine Isolationsmessung. Hierauf erhitzt man das Kabel an der Stelle, wo sich der Fehler voraussichtlich befindet, mit einer Lötlampe oder einem Acetylenbrenner. Sobald man mit der Flamme in die unmittelbare Nähe der Fehlerstelle kommt, verursacht die Wasserdampfung eine Verringerung der Isolation und der Zeiger des Galvanometers ändert rasch seine Stellung. Mit dieser Arbeitsweise lässt sich der Fehler bis auf 10 cm genau bestimmen.

b) Das Galvanometer wird, wie unter a) angegeben, verwendet. Dann klopft man das Kabel an der verdächtigen Stelle mit einem leichten Instrument (leichter Hammer, Griff eines Schraubenziehers usw.) ab. Wenn die Schläge in unmittelbarer Nähe der Fehlerstelle auffallen, so ändert sich der Isolationswiderstand unter der Wirkung der Schwingungen, indem sie die Drähte unter sich oder mit dem Bleimantel näherbringen oder entfernen, und das Galvanometer schwingt. Dieses Vorgehen wird vornehmlich für die Feststellung von Fehlern mit hohem Widerstand oder ohne Feuchtigkeit angewendet und gestattet die Ermittlung des Fehlerortes bis auf 20 cm genau.

c) Durch Verwendung des Kabelsuchers. Man isoliert das eine Ende des oder der schlechten Kabel und verbindet das andere Ende mit einem Summer. Man folgt dem Draht mit der Induktionsspule auf die verdächtige Stelle, indem man vom Summer gegen das isolierte Ende des Kabels läuft. Sobald man sich mit der Induktionsspule auf der Fehlerstelle befindet, so verschwindet der Summton im Hörer. Dieses Verfahren gestattet die Fehlerengrenzung bis auf nahezu 50 cm genau. Es hat gegenüber andern Verfahren den bedeutenden Vorteil, dass es den Fehlerort zu erkennen erlaubt, ohne vorher den Graben öffnen zu müssen. Wenn sich indessen mehrere Kabel in einem Kanal, oder wenn sich elektrische oder metallische Leiter in der Erde befinden, so ist es nicht mehr ganz zuverlässig. Das Verfahren kann nur für Fehler mit kleinem Übergangswiderstand verwendet werden.

#### 10. Schlussmessungen.

Ist die Hebung des Fehlers beendet, so prüft man die Isolation des Kabels, indem man jeden Leiter gegen alle andern an Erde und an den Metallschirm des Piloten oder der Musikadern verbindet. Der Wert muss mit demjenigen vor dem Auftreten des Fehlers übereinstimmen und im Minimum 10 000 Megohm pro Kilometer betragen. Die Isolationsmessung kann erst dann ausgeführt werden, wenn die Installation erkaltet ist, d. h. frühestens drei Stunden nach der Beendigung des Lötens.

Ferner prüft man den Widerstand und die Stetigkeit der Drähte, die geöffnet werden mussten.

#### IV. Praktische Resultate.

Mit Hilfe dieser vorstehend beschriebenen Methoden haben wir zahlreiche Eingrenzungen mit Erfolg

a) Le galvanomètre sera monté sur le ou les fils mauvais comme pour une mesure d'isolement. On chauffera ensuite le câble avec la lampe à souder ou le brûleur à acétylène dans la partie où doit se trouver le défaut. Dès que la flamme arrivera à proximité immédiate de ce dernier, la vaporisation de l'eau provoquera une diminution de l'isolement, l'aiguille du galvanomètre se déplacera rapidement. Avec cette manière d'opérer, le défaut pourra être décelé à 0,10 cm près.

b) Le galvanomètre sera placé comme pour a). On frappera le câble dans la partie suspecte avec un instrument léger (marteau léger, manche de tournevis, etc.). Lorsque les coups arriveront à proximité immédiate du défaut, le galvanomètre oscillera, la résistance d'isolement variant sous l'effet des vibrations rapprochant ou éloignant les fils entre eux ou de la gaine de plomb.

Ce procédé sera surtout employé pour des défauts à haute résistance ou sans humidité. Ils pourront être décelés à 0,20 cm près.

c) Avec le chercheur de câble (Kabelsucher). On isole une des extrémités du ou des fils mauvais et on relie l'autre au ronfleur. On suit le fil avec la bobine d'induction sur la partie suspecte, en marchant du ronfleur vers l'extrémité isolée. Lorsque la bobine se trouve sur le défaut, le bruit cesse dans l'écouteur. Ce procédé permet de déterminer le défaut à 0,50 cm près. Il présente l'immense avantage sur les autres procédés de permettre de reconnaître l'emplacement avant de devoir ouvrir les fouilles. Cependant, si plusieurs câbles se trouvent dans la même canalisation ou s'il y a des conduites électriques ou métalliques dans le sol, il est peu sûr. Ce procédé ne peut être employé que pour des défauts avec de faibles résistances d'isolement.

#### 10. Mesures finales.

Une fois la réparation terminée, on contrôlera si l'isolement du câble est bon en mesurant chaque conducteur contre tous les autres reliés ensemble à la terre et à l'écran métallique du pilote ou des fils musicaux. La valeur devra correspondre à celle qu'il avait avant le défaut et avoir au minimum 10 000 mégohms/km. La mesure d'isolement ne pourra être faite que lorsque l'installation sera refroidie, c'est-à-dire au minimum trois heures après la fin du soudage.

On contrôlera aussi la résistance et la continuité des lacets qui auraient dus être dessoudés.

#### IV. Résultats pratiques.

Nous avons procédé avec succès, par ces méthodes, à de nombreuses localisations. Nous en donnerons quelques-unes comme exemples.

#### V. Conclusion.

Cet exposé et les différents exemples qu'il contient montrent que les nouvelles méthodes sont simples. Appliquées à bon escient, elles permettent de déceler en temps utile des défauts dont la localisation échappait, dans bien des cas, aux méthodes classiques, car dans ce domaine aussi „prévenir vaut mieux que guérir“. La mise en pratique de ces méthodes est de nature à faciliter la tâche du personnel responsable du bon état de notre réseau de câbles et contri-

vorgenommen. Wir geben im Anhang einige Beispiele bekannt. Von einer Uebersetzung des französischen Textes glauben wir Umgang nehmen zu dürfen, da die Berechnungen, gestützt auf die vorstehenden Erläuterungen, verständlich sein werden (siehe Anhang).

**V. Schlussbetrachtung.**

Diese Darstellungen, sowie die anschliessenden Beispiele zeigen, dass die neuen Messverfahren einfach sind. Mit Bedacht angewendet, erlauben sie die Bestimmung der Fehler, deren Eingrenzung mit den klassischen Methoden uns in vielen Fällen entgehen würde, innert kürzester Frist. Auch auf dem Gebiet der Kabeltechnik gilt das alte Sprichwort: vorbeugen ist leichter als heilen. Die praktische Anwendung der beschriebenen Methoden wird dazu beitragen, die Aufgabe des für den guten Stand unseres Kabelnetzes verantwortlichen Personals zu erleichtern und dieses in vollkommener Betriebssicherheit zu erhalten.

**Beispiele - Exemples**

**I. Méthode de Weber**

1. *Câble La Chaux-de-Fonds — St-Imier, pupinisé à 177 mH.*

*Première localisation.*

Fil 1 mm Cu . . . . . l = 5,938 km  
 Isolement fil a: 7,7 mégohms R<sub>a</sub> = 133,7 ohms  
 Isolement fil b: 59 mégohms R<sub>b</sub> = 133,8 ohms  
 Tension: 330 volts . . . . . R<sub>s</sub> = 267,5 ohms  
 R<sub>p</sub> = 3,9 ohms

R<sub>a</sub> et R<sub>b</sub> sont sensiblement égaux.

*Mesure de La Chaux-de-Fonds*

$$\frac{A}{B} = \frac{100}{100} \quad C_1 = 127 \text{ ohms}$$

$$l_{x1} = 5938 \cdot \frac{60,5}{127 + 60,5} = 1916 \text{ m}$$

*de E. 150*

$$\frac{A}{B} = \frac{100}{100} \quad C_2 = 60,5 \text{ ohms}$$

$$l_{x2} = 5938 \cdot \frac{127}{127 + 60,5} = 4022 \text{ m}$$

1916 + 4022 = 5938 m, évidemment, et avec la correction pour bobines Pupin:

$$n = 1 \quad N = 3$$

$$l_{x1} = 1916 + \frac{3 \cdot 3,9}{133,7 - 3 \cdot 3,9} \left[ 1916 - \frac{1}{3} \cdot 5938 \right]$$

$$l_{x1} = 1916 - 6 = 1910 \text{ m}$$

Le défaut était à 1873 m

$$\text{Erreur } \Delta l = 37 \text{ m}$$

soit 0,62%

La correction pour bobines Pupin est faible car l<sub>x1</sub> conduit près d'un point C.

*Deuxième localisation.*

Fil 1 mm Cu . . . . . l = 453 m  
 Isolement fil a: 10,5 mégohms R<sub>a</sub> = 9,4 ohms  
 Isolement fil b: 44,5 mégohms R<sub>b</sub> = 9,5 ohms  
 Tension: 360 volts

buera à le maintenir dans de parfaites conditions d'exploitation.

**Bibliographie.**

Prache, M. Les lignes souterraines à grande distance. Paris 1930.  
 Jannès, H. et L. Simon. Localisation des défauts d'isolement sur les câbles par la méthode du double Murray ou du double Varley. Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones, 1932, Juin, p. 489.  
 Behrend, P. Ein Messverfahren zur Bestimmung von Isolationsfehlern in Kabeln mit allgemeinem Nebenschluss. Telegraphenpraxis 1939, S. 135.  
 Hector, W. Ein Messverfahren zur Bestimmung hochohmiger Isolationsfehler. Telegraphen-Fernsprech- und Funktechnik. 1938, S. 327.  
 Weber, H. Über ein einfaches Verfahren zur Fehlerortbestimmung bei alladrigem Isolationsfehler.  
 — Méthode simple pour localiser les défauts d'isolement affectant tous les conducteurs d'un câble. Bull. techn. Adm. suisse télégr. et téléph. 1945, N° 2, p. 51.

*Mesure de E. 169*

$$\frac{A}{B} = \frac{10}{10} \quad C_1 = 4,8 \text{ ohms}$$

$$l_{x1} = 453 \cdot \frac{6,4}{4,8 + 6,4} = 259 \text{ m}$$

*de E. 167*

$$\frac{A}{B} = \frac{10}{10} \quad C_2 = 6,4 \text{ ohms}$$

$$l_{x2} = 453 \cdot \frac{4,8}{4,8 + 6,4} = 194 \text{ m}$$

Le défaut était à 182,6 m

$$\text{Erreur } \Delta l = 11,4 \text{ m}$$

soit 2,5%

En Varley simple, on aurait obtenu

$$l_{x1} = 453 \cdot \frac{18,9 - 4,8}{18,8} = 339 \text{ m}$$

Le défaut était à 270,4 m

$$\text{Erreur } \Delta l = 68,6 \text{ m}$$

soit 15,1%

$$l_{x2} = 453 \cdot \frac{18,9 - 6,4}{18,8} = 302 \text{ m}$$

Erreur Δl = 119,4 m

soit 26,4%

En essayant de faire la moyenne arithmétique de l<sub>x1</sub> et l<sub>x2</sub>, on obtiendrait:

$$l_{x1} = \frac{453 - 339 + 302}{2} = 208 \text{ m}$$

Le défaut était à 182,6 m

$$\text{Erreur } \Delta l = 25,4 \text{ m}$$

soit 5,6%

Cette manière de procéder est fausse puisque le défaut ne se trouve pas au milieu de la distance.

## 2. Câble Bâle — Zurich, type Krarup.

## Première localisation.

Fil 1,8 mm Cu	l = 36,486 km
Isolement fil a (21a): 0,14 mégohms	R <sub>a</sub> = 191,9 ohms
Isolement fil b (23b): 1,7 mégohms	R <sub>b</sub> = 192,3 ohms
Tension: 120 volts	R <sub>s</sub> = 384,2 ohms

Calcul de R<sub>a</sub>, R<sub>b</sub> et R<sub>s</sub>

21a + 23a = 384,3	R <sub>a</sub> et R <sub>b</sub> différent de 0,4 ohms, valeur rela- tivement grande pour un fil de 1,8 mm de diamètre.
+ 21a + 23b = 384,2	
<u>768,5</u>	
- 23a + 23b = 384,7	
2 × 21a = 383,8	23b = 384,2 - 191,9
21a = 191,9 ohms	= 192,3 ohms

## Mesure

de E. 105		de Bâle	
$\frac{A}{B} = \frac{100}{100}$	C <sub>1</sub> = 334 ohms	$\frac{A}{B} = \frac{100}{100}$	C <sub>2</sub> = 5 ohms
$l_{x_1} = 36486 \cdot \frac{5 + (191,9 - 192,3)}{334 + 5 + 2 \cdot (191,9 - 192,3)} = 496 \text{ m}$			
Le défaut était à $\frac{664 \text{ m}}$			
Erreur Δl = $\frac{168 \text{ m}}$			
soit 0,46%			

En Varley simple, on aurait obtenu

$$l_{x_1} = 36486 \cdot \frac{384,2 - 334}{383,8} = 4772 \text{ m}$$

$$\text{— } \frac{664 \text{ m}}$$

$$\text{Erreur } \Delta l = \frac{4108 \text{ m}}$$

$$\text{soit } 11,2\%$$

## Deuxième localisation.

Fil 1,8 mm Cu	l = 693,4 m
Isolement fil a: 0,09 mégohm	R <sub>a</sub> = 3,72 ohms
Isolement fil b: 1,1 mégohm	R <sub>b</sub> = 3,74 ohms
Tension: 60 volts	R <sub>s</sub> = 7,46 ohms

## Mesure

de E. 105		de E. 106a	
$\frac{A}{B} = \frac{10}{10}$	C <sub>1</sub> = 0,25 ohm	$\frac{A}{B} = \frac{10}{10}$	C <sub>2</sub> = 5,7 ohms
$l_{x_1} = 693,4 \cdot \frac{5,7}{0,25 + 5,7} = 664,4 \text{ m}$			
$l_{x_2} = 693,4 \cdot \frac{0,25}{0,25 + 5,7} = 29,0 \text{ m}$			
le défaut était à $\frac{29,8 \text{ m}}$			
Erreur Δl = $\frac{0,8 \text{ m}}$			
soit 0,12%			

En Varley simple, on aurait obtenu:

$$l_{x_2} = 693,4 \cdot \frac{7,46 - 5,7}{2 \cdot 3,72} = 164 \text{ m}$$

$$\text{— } \frac{29,8 \text{ m}}$$

$$\text{Erreur } \Delta l = \frac{134,2 \text{ m}}$$

$$\text{soit } 19,3\%$$

## 3. Câble d'abonnés à Ostermundigen.

Fil 0,8 mm Cu	l = 852 m
Isolement fil a: 26 mégohms	R <sub>a</sub> = 27,5 ohms
Isolement fil b: 20 000 mégohms	R <sub>b</sub> = 27,6 ohms
Tension: 480 volts	R <sub>s</sub> = 55,1 ohms

## Mesure

## de l'extrémité 1

$$\frac{A}{B} = \frac{100}{100} \quad C_1 = 3,5 \text{ ohms}$$

$$l_{x_1} = 852 \cdot \frac{52,2}{3,5 + 52,2} = 798,5 \text{ m}$$

## de l'extrémité 2

$$\frac{A}{B} = \frac{100}{100} \quad C_2 = 52,2 \text{ ohms}$$

$$l_{x_2} = 852 \cdot \frac{3,5}{3,5 + 52,2} = 53,5 \text{ m}$$

$$\text{Le défaut était à } \frac{54 \text{ m}}$$

$$\text{Erreur } \Delta l = \frac{0,5 \text{ m}}$$

$$\text{soit } 0,06\%$$

En Varley simple, on aurait obtenu

$$l_{x_2} = 852 \cdot \frac{55,1 - 52,2}{2 \cdot 27,5} = 44,9 \text{ m}$$

$$\text{Erreur } \Delta l = \frac{9,1 \text{ m}}$$

$$\text{soit } 1,1\%$$

## 4. Câble d'abonnés à Ostermundigen.

Fil 0,8 mm Cu	l = 852 m
Isolement fil a: 500 ohms	R <sub>a</sub> = 27,6 ohms
Isolement fil b: 1000 ohms	R <sub>b</sub> = 27,6 ohms
Tension: 6 volts	R <sub>s</sub> = 55,2 ohms

## Mesure

## de l'extrémité 1

$$\frac{A}{B} = \frac{100}{100} \quad C_1 = 14,5 \text{ ohms}$$

$$l_{x_1} = 852 \cdot \frac{34,1}{14,5 + 34,1} = 597,8 \text{ m}$$

## de l'extrémité 2

$$\frac{A}{B} = \frac{100}{100} \quad C_2 = 34,1 \text{ ohms}$$

$$l_{x_2} = 852 \cdot \frac{14,5}{14,5 + 34,1} = 254,2 \text{ m}$$

$$\text{Le défaut était à } \frac{252 \text{ m}}$$

$$\text{Erreur } \Delta l = \frac{2,2 \text{ m}}$$

$$\text{soit } 0,26\%$$

En Varley simple, on aurait obtenu:

$$l_{x_2} = 852 \cdot \frac{55,2 - 34,1}{2 \cdot 27,6} = 325,7 \text{ m}$$

$$\text{Erreur } \Delta l = \frac{73,7 \text{ m}}$$

$$\text{soit } 8,7\%$$

## II. Méthode de Jannès et Simon.

## 1. Câble Berne—Münsingen, pupinisé à 177 mH.

## Première localisation.

Fil 2 mm Cu	l = 14,005 km
Isolement fil a: 6 mégohms	R <sub>a</sub> = 105,3 ohms
Isolement fil b: 29 mégohms	R <sub>b</sub> = 104,8 ohms
Tension: 330 volts	R <sub>s</sub> = 210,1 ohms
	R <sub>P</sub> = 3,7 ohms



*Mesure en Varley  
de Berne*

$$\frac{A}{B} = \frac{100}{100} \quad C_1 = 57,5 \text{ ohms}$$

$$R_{x_1} = \frac{210,1 - 57,5}{2} = 76,3 \text{ ohms}$$

$$R_{y_2} = 105,3 - 76,3 = 29,0 \text{ ohms}$$

$$l_{x_1} = 14,005 \cdot \frac{58,25}{29,0 + 58,25} = 9,350 \text{ km}$$

*de Münsingen*

$$\frac{A}{B} = \frac{100}{100} \quad C_2 = 116 \text{ ohms}$$

$$R_{x_2} = \frac{210,1 - 116}{2} = 47,05 \text{ ohms}$$

$$R_{y_1} = 105,3 - 47,05 = 58,25 \text{ ohms}$$

$$l_{x_2} = 14,005 \cdot \frac{29,0}{29,9 + 58,25} = 4,655 \text{ km}$$

$$l_{x_1} + l_{x_2} = 9,350 + 4,655 = 14,005 \text{ km} = l$$

et avec la correction pour bobines Pupin:

$$\frac{n}{N} = \frac{5}{7}$$

$$l_{x_1} = 9,350 + \frac{7 \cdot 3,7}{105,3 - 7 \cdot 3,7} \left[ 9,350 - \frac{5 \cdot 14,005}{7} \right]$$

$$l_{x_1} = 9,350 - 0,213 = 9,137 \text{ km}$$

Le défaut était à  $\frac{9,659 \text{ km}}{0,522 \text{ km}}$   
soit 3,7%

La résistance d'isolement du câble, ailleurs qu'au défaut, n'est pas également répartie et n'atteint que 1500 ohms/km; ce qui explique la valeur assez grande de  $\Delta l$ .

La mesure ayant été faite en Varley à bras égaux, on aurait pu calculer  $l_{x_1}$  par la formule de Weber, adaptée à des résistances inégales ( $R_a \neq R_b$ ).

$$l_{x_1} = 14,005 \cdot \frac{116 + (105,3 - 104,8)}{116 + 57,5 + 2 \cdot (105,3 - 104,8)} = 9,350 \text{ km}$$

La correction pour les bobines Pupin est la même.

*Deuxième localisation.*

Fil 2 mm Cu  $l = 529 \text{ m}$   
Isolement fil a: 14 mégohms  $R_a = 2,89 \text{ ohms}$   
Isolement fil b: 38 mégohms  $R_b = 2,84 \text{ ohms}$   
Tension: 330 volts  $R_s = 5,73 \text{ ohms}$

L'augmentation de la résistance d'isolement de a et b dans la section de 529 m, montre bien que l'isolement du câble dans les autres sections est encore médiocre.

*Mesure en Murray  
de l'extrémité 1*

$$B = 100 \quad C_1 = 49 \text{ ohms}$$

$$R_{x_1} = \frac{5,73 \cdot 49}{149} = 1,88 \text{ ohm}$$

$$R_{y_2} = 2,89 - 1,88 = 1,01 \text{ ohm}$$

$$l_{x_1} = 529 \cdot \frac{1,01}{1,01 + 1,01} = 264,5 \text{ m}$$

*de l'extrémité 2*

$$B = 100 \quad C_2 = 49 \text{ ohms}$$

$$R_{x_2} = \frac{5,73 \cdot 49}{149} = 1,88 \text{ ohm}$$

$$R_{y_1} = 2,89 - 1,88 = 1,01 \text{ ohm}$$

$$l_{x_2} = 529 \cdot \frac{1,01}{1,01 + 1,01} = 264,5 \text{ m}$$

Le défaut était à 264,5 m, c.-à-d. au milieu de la section, ce qui explique que  $l_{x_1}$  et  $l_{x_2}$  soient égaux.  
Erreur  $\Delta l = 0$

En Murray simple, on aurait eu:

$$l_{x_1} = 5,29 \cdot \frac{1,88}{2,89} = 344 \text{ m et } l_{x_2} = 344 \text{ m}$$

Erreur  $\Delta l = 79,5 \text{ m}$   
soit 15%

La moyenne arithmétique aurait pu être appliquée. En effet,  $l_{x_1}$  et  $l_{x_2}$  ayant des valeurs égales, le défaut doit se trouver au milieu de la distance. On aurait aussi obtenu  $l_{x_1} = \frac{529 - 344 + 344}{2} = 264,5 \text{ m}$

**III. Méthode de Behrend.**

*1. Câble Interlaken—Leissigen, non pupinisé.*

Fil 1,2 mm Cu  $l = 8,343 \text{ km}$   
Isolement fil a: 4 mégohms  $R_a = 119,4 \text{ ohms}$   
Isolement fil b: 69 mégohms  $R_b = 119,4 \text{ ohms}$   
Tension: 300 volts  $R_s = 238,8 \text{ ohms}$   
 $R_o = 400 \text{ ohms}$

*Mesure de Leissigen  
en court-circuit*

$$\frac{A}{B} = \frac{100}{100} \quad C_c = 210 \text{ ohms}$$

avec  $R_o$  intercalé

$$\frac{A}{B} = \frac{100}{100} \quad C_r = 575 \text{ ohms}$$

$$l_x = 8343 \cdot \left[ 1 - \frac{400 \cdot 210}{2 \cdot 119,4 \cdot (575 - 210)} \right] = 303 \text{ m}$$

de Leissigen

Le défaut se trouvait à  $\frac{283 \text{ m}}{20 \text{ m}}$   
Erreur  $\Delta l =$   
soit 0,24 %

En Varley simple, on aurait eu:

$$l_x = 8343 \cdot \frac{238,8 - 210}{2 \cdot 119,4} = 1006 \text{ m de Leissigen}$$

Erreur  $\Delta l = 723 \text{ m}$   
soit 12%

*2. Câble Berne—Olten, pupinisé à 177—107 mH.*

Fil 1,5 mm Cu  $l = 65,712 \text{ km}$   
Isolement fil a: 1 mégohm  $R_a = 768 \text{ ohms}$   
Isolement fil b: 120 mégohms  $R_b = 768 \text{ ohms}$   
Tension: 120 volts  $R_s = 1536 \text{ ohms}$   
 $R_o = 2017 \text{ ohms}$   
 $R_p = 5,0 \text{ ohms}$



*Mesure de Berne*

$$\frac{A}{B} = \frac{1000}{1000} C_c = 595 \text{ ohms} \quad \left| \quad \frac{A}{B} = \frac{1000}{1000} C_r = 2550 \text{ ohms} \right.$$

$$l_{x_1} = 65,712 \cdot \left[ 1 - \frac{2017 \cdot 595}{2 \cdot 768 \cdot (2550 - 595)} \right]$$

$$= 39,447 \text{ km}$$

avec correction Pupin:

$$n = 22 \quad N = 36$$

$$l_{x_1} = 39,447 + \frac{36 \cdot 5}{768 - 36 \cdot 5} \left[ 39,447 - \frac{22 \cdot 65,712}{36} \right]$$

$$= 39,230 \text{ km}$$

Le défaut se trouvait à 39,211 km

$$\text{Erreur } \Delta l = 0,019 \text{ km}$$

soit 0,03%

La correction Pupin est grande, car  $l_{x_1}$  conduit près d'une bobine Pupin.

## Die Automatisierung des Glarner Hinterlandes.

Von H. Michel, Rapperswil St. G.

621.395.34 (494.25)

Die Teilnehmer im hintersten Teile des Glarnerlandes, dem sogenannten Grosstal, waren bis anhin an die LB-Zentralen Hätzingen, Linthal und Braunwald angeschlossen. Die Zentrale Hätzingen umfasste das Gebiet von Hätzingen, Luchsingen, Leuggelbach, Diesbach und Betschwanden, mit insgesamt 86 Teilnehmern. An die Zentrale Linthal waren die 142 Teilnehmer von Linthal, Rüti/Glarus und auf dem Urnerboden (Selektorenbetrieb) angeschlossen. Die Zentrale Braunwald umfasste die auf einer Höhe von 1009 m (Niederschwändi) bis 1782 m (Ortstockhaus) gelegenen 102 Teilnehmer von Braunwald.

Mit der Automatisierung von Glarus, die am 11. Juni 1942 erfolgte, war vorgesehen, je ein Endamt in Hätzingen und Linthal zu errichten, während die Teilnehmer von Leuggelbach, mit ihrem ausgesprochen nach Schwanden gerichteten Verkehr, an das Knotenamt Schwanden angeschlossen werden sollten. Die Bereitstellung geeigneter Lokale zur Unterbringung der automatischen Zentralen in Hätzingen, wie in Linthal, wäre aber auf Schwierigkeiten gestossen. Zudem ergaben eingehende vergleichende Berechnungen, dass es wirtschaftlicher sei, wenn alle drei Netze (Hätzingen, Linthal und Braunwald) an eine gemeinschaftliche Zentrale angeschlossen würden.

Mit Rücksicht auf das neue Ortskabelnetz, sowie auf das Bezirkskabel ab Schwanden, war der gegebene Standort für die neue Zentrale im Gebiete von Rüti/Gl. Da jedoch hier keine Möglichkeit bestand, die neue Anlage in vorhandenen Lokalen unterzubringen, erstellte die eidg. Bauinspektion Zürich im Auftrage der Telegraphen- und Telephonverwaltung an geeigneter Stelle einen Zweckbau.

In der sogenannten „Steinhoschet“ auf der linken, sonnigen Seite der Linth, unterhalb Braunwald, konnte ein günstig gelegener Bauplatz erworben werden. Der gefällige Neubau fügt sich gut in das Landschaftsbild ein, wie aus der nachstehenden Abbildung hervorgeht. Rechts oben liegt Braunwald und im Hintergrund erhebt sich der 2720 m hohe Ortstock.

Wie glücklich der gewählte Bauplatz ausgesucht war, das zeigte sich bereits im Herbst 1944 bei der Hochwasserkatastrophe, die die Gegend heimsuchte. Trotzdem die Kantonsstrasse und das Bahngleise zwischen Rüti und Linthal verschüttet waren und die Linth ein ausserordentliches Hochwasser führte, bestand nie eine Gefährdung, weder der neuen Tele-

phonzentrale, noch der Bezirks- und Ortskabel nach Linthal, Braunwald und Schwanden. Die Telephonanlagen leisteten, gerade in dieser gefahrvollen Zeit, wertvolle Dienste.

Die neue automatische Telephonzentrale Rüti/Gl. ist als Endamt 1000er-Typ HS 31 an das Knotenamt Schwanden (Anrufdurchschaltung) und dieses an das Fernamt Glarus angeschlossen. Der erste Aus-



Nr. 6040 BRB 3. 10. 1939

bau beträgt 500 Teilnehmeranschlüsse, von denen 360 belegt sind.

Wie günstig sich das neue Betriebssystem auf die Verkehrsabwicklung auswirkt, das zeigt ein Vergleich der Einnahmen aus dem Gesprächsverkehr gegenüber dem Vorjahre, der um 30% zugenommen