Ueber ein einfaches Verfahren zur Fehlerortbestimmung bei alladrigem Isolationsfehler.

Von *H. Weber*, Bern 621.317.333.4

Bei neuern Kabeln hat man aus ökonomischen Gründen auf die Pilotadern unter Blei verzichtet. Tritt eine Undichtigkeit des Kabelmantels auf, so werden alle Adern in Mitleidenschaft gezogen. Allerdings weisen die Isolationswiderstände der einzelnen Adern gegen Erde meist erhebliche Unterschiede auf. Dieser Umstand gestattet eine relativ einfache Bestimmung des Fehlerortes mit Hilfe der überall vorhandenen normalen Kabelmessbrücken durch zwei Messungen, je einer von jedem Ende aus. Bemerkenswert ist der Umstand, dass die Methode bei relativ hohen Isolationswiderständen am Fehlerort gute Ergebnisse zeitigt. Es wird dabei vorausgesetzt, dass die Isolation, von der Fehlerstelle abgesehen, gleichmässig verteilt und normalen Wert hat ($>$ 10 000 M Ohm/km). Im folgenden wird die Ableitung der Formel für die Fehlerortberechnung angegeben, wobei auf die zu beachtenden Voraussetzungen für die Gültigkeit besonders hingewiesen wird.

Méthode simple pour localiser les défauts d'isolement affectant tous les conducteurs d'un câble.

Par *H. Weber*, Berne. 621.317.333.4

Pour des raisons d'économie, on a renoncé, dans les nouveaux câbles, aux fils pilotes sous plomb. En conséquence, lorsqu'un défaut se produit dans la gaine de plomb, tous les conducteurs sont touchés. Toutefois, les résistances d'isolement des divers conducteurs contre la terre accusent généralement de sensibles différences. Ce fait permet de localiser le défaut d'une façon relativement simple en faisant deux mesures, une à chaque extrémité du câble, au moyen des ponts de mesure ordinaires en usage partout. Il convient de relever le fait, que lorsque les résistances d'isolement à l'endroit du défaut sont relativement élevées, la méthode donne de bons résultats. En outre, il est nécessaire que l'isolement des fils ailleurs qu'à l'emplacement du défaut soit également réparti et normal ($>$ 10 000 MOhm/km). Nous donnons ci-après le développement de la formule pour la localisation des défauts, en attirant spécialement l'attention sur les conditions à observer pour qu'elle soit applicable.

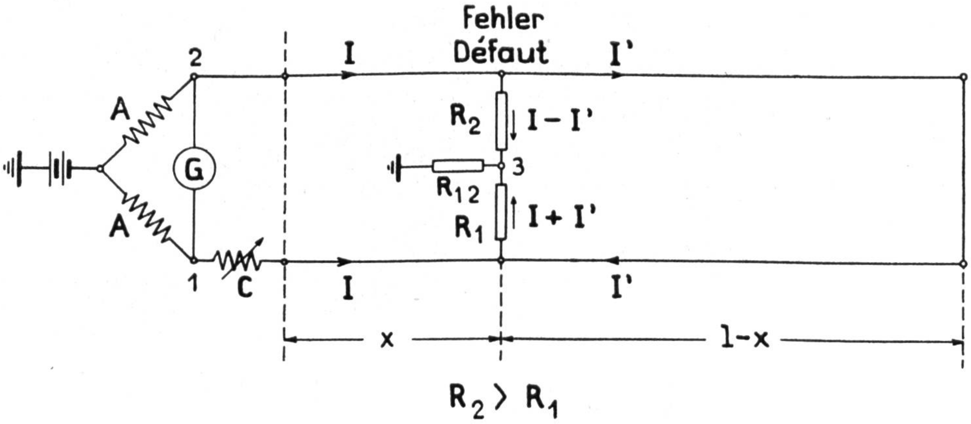

Fig. 1. Messung nach der Methode von Varley. — Mesure d'après la méthode de Varley.

Die Ersatzschaltung für den Fehler kann stets, wie in der Figur 1 gezeigt, dargestellt werden. Die beiden Messadern sollen möglichst den gleichen Widerstand besitzen, also Adern eines Paares oder eines Vierers sein. Im abgeglichenen Zustand der Brücke sind die in die beiden Adern hineinfliessenden Ströme gleich gross, da sich die Punkte 1 und 2 auf dem gleichen Potential befinden müssen. Der Potentialunterschied zwischen Punkt 1 und Erde ist gleich demjenigen zwischen Punkt 2 und Erde. Das gleiche gilt aber auch zwischen den Punkten 1—3 und 2—3. Die Kirchhoffschen Sätze liefern zwei Gleichungen:

$$(1)\quad I \cdot R \cdot x + (I - I')\, R_2 = I\,(C + R \cdot x) + (I + I')R_1$$

$$(2)\quad I'\, 2\,(1 - x)\, R + (I + I')\, R_1 = (I - I')\, R_2$$

R = Widerstand der Kabeladern pro Längeneinheit

Die Gleichungen umgeformt lauten:

$$(1)'\quad I\,(R_2 - R_1 - C) = I' \cdot (R_1 + R_2)$$

$$(2)'\quad I\,(R_2 - R_1) = I'\,[2(1 - x)\, R + R_1 + R_2];$$

Le schéma habituel de montage pour la localisation du défaut peut toujours être représenté de la manière indiquée à la figure 1. Les deux fils à mesurer doivent avoir autant que possible la même résistance, c'est-à-dire être les fils d'une même paire ou d'une quarte. Lorsque le pont est équilibré, les courants passant dans les deux conducteurs ont la même intensité du fait que les points 1 et 2 doivent avoir le même potentiel. La différence de potentiel entre le point 1 et la terre est égale à la différence entre le point 2 et la terre. Il en va de même des différences entre les points 1 et 3 et les points 2 et 3. Les lois de Kirchhof nous donnent les deux équations suivantes:

$$(1)\quad I \cdot R \cdot x + (I - I')R_2 = I\,(C + R \cdot x) + (I + I')R_1$$

$$(2)\quad I'\, 2\,(1 - x)\, R + (I + I')\, R_1 = (I - I')\, R_2$$

R représentant la résistance des conducteurs du câble par unité de longueur.

beide Seiten der Gleichungen durcheinander dividiert, ergibt:

$$(3) \quad \frac{R_2-R_1-C}{R_2-R_1} = \frac{R_1+R_2}{2\,(l-x)\,R+R_1+R_2}$$

Umgeformt kann man diese Gleichung folgendermassen schreiben:

$$(3)' \quad 2(l-x)R = C \cdot \frac{R_2+R_1}{R_2-R_1} \cdot \left[1+\frac{2\,(l-x)R}{R_1+R_2}\right]$$

R_1 und R_2 sind die Isolationswiderstände der Adern, wovon einer meist noch beträchtlich gross ist. Im allgemeinen wird es zutreffen, dass man

$R_1+R_2 \gg 2(l-x)R$ setzen darf.

Eine Methode, bei der dies nicht mehr zutrifft, ist in der Literatur zu finden [1]). Hier ist es jedoch *eine* wesentliche *Voraussetzung* für die Anwendbarkeit der Methode. Wenn diese Voraussetzung zutrifft, so kann in der Gleichung (3)' der Summand in der Klammer $\frac{2\,(l-x)R}{R_1+R_2}$ gegenüber 1 vernachlässigt werden und wir erhalten:

$$(3a) \quad 2(l-x)\,R = C \cdot \frac{R_2+R_1}{R_2-R_1}$$

Wir erhalten beim Brückenabgleich von links aus einen bestimmten Wert für den Widerstand C, sagen wir C_1, also

$$(3a) \quad 2(l-x)\,R = C_1 \cdot \frac{R_2+R_1}{R_2-R_1}$$

Schliessen wir eine gleiche Brücke am andern Ende des Kabels in gleicher Weise an dasselbe Paar an, so messen wir einen andern Wert von C, nämlich C_2. Statt $(l-x)$ in der Formel (3a) muss man nun aber x setzen und erhält:

$$(3b) \quad 2x\,R = C_2 \cdot \frac{R_2+R_1}{R_2-R_1}$$

Werden beide Messungen zeitlich unmittelbar aufeinanderfolgend gemacht, so kann man annehmen, dass sich die Isolationswiderstände R_1 und R_2 nicht verändern, somit ändert auch der Quotient $\frac{R_2+R_1}{R_2-R_1}$ nicht. Ist diese *zweite Voraussetzung* erfüllt, so kann der Quotient $\frac{R_2+R_1}{R_2-R_1}$ aus 3a und 3b eliminiert werden und es ergibt sich folgende einfache Beziehung.

$$\frac{l-x}{x} = \frac{C_1}{C_2}$$

nach x aufgelöst: $$\boxed{x = l \cdot \frac{C_2}{C_1+C_2}} \quad (4)$$

Die Formel liefert den Fehlerort direkt aus zwei Messungen, je eine an jedem Ende des Kabels. Zwischenrechnungen von scheinbaren Fehlerabständen von jedem Ende aus werden vermieden [2]). Im allgemeinen genügt die Genauigkeit der Formel für die Fehlerortbestimmung auch bei pupinisierten Kabeln. Sind die Messbedingungen günstig, so ist es sehr vorteilhaft, die Korrektur infolge der Spulen zu berücksichtigen. Bei bespulten Adern setzt sich die linke Seite der Gleichungen (3a) und (3b) aus dem homogen verteilten Leiterwiderstand und dem Widerstand der in diesem Abschnitt sich befindenden Spulen zusammen.

En convertissant ces équations, on obtient

$$(1)' \quad I\,(R_2-R_1-C) = I'\,(R_1+R_2)$$

$$(2)' \quad I\,(R_2-R_1) = I'\,[2(l-x)\,R+R_1+R_2]$$

et, en divisant l'un par l'autre, les deux termes de ces équations:

$$(3) \quad \frac{R_2-R_1-C}{R_2-R_1} = \frac{R_1+R_2}{2\,(l-x)\,R+R_1+R_2}$$

qu'on peut convertir et écrire de la manière suivante:

$$(3)' \quad 2\,(l-x)\,R = C \cdot \frac{R_2+R_1}{R_2-R_1}\left[1+\frac{2\,(l-x)\,R}{R_1+R_2}\right]$$

R_1 et R_2 sont les résistances d'isolement des conducteurs, dont l'une est presque toujours très supérieure à l'autre. D'une manière générale, on pourra écrire

$R_1+R_2 \gg 2\,(l-x)\,R.$

Dans la bibliographie [1]), on trouve l'exemple d'une méthode où ce n'est plus le cas, mais pour l'application de celle que nous traitons ici, c'est une *condition essentielle.* Cette condition étant remplie, on peut, dans l'équation (3)', négliger le membre entre parenthèses $\frac{2\,(l-x)\,R}{R_1+R_2}$ par rapport à 1 et on obtient

$$(3a) \quad 2\,(l-x)\,R = C \cdot \frac{R_2+R_1}{R_2-R_1}$$

Le pont étant équilibré de gauche, nous obtenons une certaine valeur pour la résistance C, disons C_1, donc

$$(3a) \quad 2\,(l-x)\,R = C_1 \cdot \frac{R_2+R_1}{R_2-R_1}.$$

Si nous raccordons de la même façon, à la même paire de conducteurs, un même pont à l'autre extrémité du câble, nous mesurons une autre valeur de C, soit C_2. Dans la formule (3a), on doit alors remplacer $(l-x)$ par x et l'on obtient:

$$(3b) \quad 2x\,R = C_2 \cdot \frac{R_2+R_1}{R_2-R_1}$$

Si on fait les deux mesures immédiatement à la suite l'une de l'autre, on peut admettre que les résistances d'isolement R_1 et R_2 n'ont pas varié et que, par conséquent, le quotient $\frac{R_2+R_1}{R_2-R_1}$ ne change pas. Cette *deuxième condition* étant remplie, on peut éliminer de 3a et de 3b le quotient $\frac{R_2+R_1}{R_2-R_1}$, ce qui donne le rapport simple suivant:

$$\frac{l-x}{x} = \frac{C_1}{C_2}$$

d'où $$\boxed{x = l \cdot \frac{C_2}{C_1+C_2}} \quad (4)$$

L'application de cette formule, après deux mesures, une à chaque extrémité du câble, nous indique directement la place du défaut. On est ainsi dispensé de faire à chaque extrémité des calculs de distances apparentes [2]). En général, l'exactitude de la formule est suffisante pour qu'on puisse l'appliquer aussi à la localisation des défauts des câbles pupinisés.

Si les conditions de mesure sont favorables, on a avantage à tenir compte de la correction due à la présence des bobines. Pour les conducteurs pupinisés, le membre gauche des équations (3a) et (3b) se compose de la résistance de la ligne répartie d'une façon homogène et de la résistance des bobines se trouvant sur ce tronçon.

$$(3a)' \quad 2\,R(l-x) + 2R_P \cdot n_{l-x} = C_1 \frac{R_2 + R_1}{R_2 - R_1}$$

$$(3b)' \quad 2\,Rx \qquad + 2\,R_P \cdot n_x \quad = C_2 \frac{R_2 + R_1}{R_2 - R_1}$$

n_x = Zahl der im Abschnitt x befindlichen Pupinspulen
n_{l-x} = ,, ,, ,, ,, l—x ,, ,,
$n_x + n_{l-x}$ = N Gesamtzahl der Pupinspulen.

Bezeichnet man das Resultat der Formel (4) mit x_1 als erste Näherung, so lässt sich die Anzahl der in diesem Abschnitt x_1 befindlichen Pupinspulen ohne weiteres berechnen.

$n_x < \frac{x_1}{s} + 0{,}5$ d. h. n_x ist die nächst kleinere ganze Zahl des Ausdruckes rechts.

Durch Division von (3a)′ durch (3b)′ und Auflösen nach x erhält man nach verschiedenen Umformungen

$$x = x_1 + \frac{N \cdot R_P}{R_a - N \cdot R_P} \cdot \left[x_1 - \frac{n_x \cdot l}{N}\right] \quad (5)$$

worin $x_1 = \frac{l}{1 + \frac{C_1}{C_2}}$ und R_a = Widerstand des Drahtes mit der niedrigeren Isolation.
R_P = Pupinspulenwiderstand (nur ein Draht).

Das zweite Glied, das eine Korrektur $\triangle x$ darstellt, kann positiv oder negativ ausfallen, je nachdem x_1 grösser oder kleiner n_x mal Spulenfeldlänge s ist. Die Korrektur wird Null, wenn der Fehlerort genau in der Mitte eines Spulenfeldes liegt, d. h. mit einem C-Punkt zusammenfällt. Einfach ausgedrückt: Der wirkliche Fehler liegt immer näher bei der nächsten Pupinspule, als die Berechnung mit verteilt angenommenem Widerstand ergibt. Die Korrektur ist um so grösser, je näher der Fehler bei einer Spule liegt. Wird diese Ueberlegung zu Ende gedacht, so findet man, dass bei erfüllten Voraussetzungen die Berechnungsweise nach Formel (4) den Fehlerort stets in einiger Entfernung von einer Spule ergibt. Die Korrektur nach Formel (5) kann höchstens zur nächsten Spule heranführen, aber nicht darüber hinaus. Dies bedeutet eine Kontrollmöglichkeit der Messung. Die Grösse der Korrektur hängt nur von der Lage des Fehlers im Spulenfeld ab, ausserdem natürlich vom Verhältnis des Pupinspulenwiderstandes zum Widerstand der Kabelader einer Spulenfeldlänge. Die Formel (5) kann sehr einfach durch Fig. 2 erläutert werden.

$$x = x_1 + \frac{R_P}{s \cdot R} \cdot y_1 \qquad (5)'$$

Die Interpretation stimmt natürlich nur, wenn die Anlauflängen des Kabels genau eine halbe Spulenfeldlänge betragen.

$$(3a)' \quad 2\,R(l-x) + 2\,R_P \cdot n_{l-x} = C_1 \frac{R_2 + R_1}{R_2 - R_1}$$

$$(3b)' \quad 2\,Rx \qquad + 2\,R_P \cdot n_x = C_2 \frac{R_2 + R_1}{R_2 - R_1}$$

n_x = nombre des bobines Pupin intercalées sur le tronçon x.
n_{l-x} = nombre des bobines Pupin intercalées sur le tronçon l_{-x}
$n_x + n_{l-x}$ = N = nombre total des bobines Pupin.

Si l'on désigne le résultat de la formule (4) par x_1 comme première approximation, on peut calculer sans autres le nombre des bobines Pupin intercalées sur ce tronçon x_1.

$n_x < \frac{x_1}{s} + 0{,}5$, c'est-à-dire que n_x est le premier plus petit nombre entier de l'expression de droite.

En divisant (3a)′ par (3b)′ et en réduisant le quotient, on obtient après diverses transformations

$$x = x_1 + \frac{N \cdot R_P}{R_a - N \cdot R_P} \cdot \left[x_1 - \frac{n_x \cdot l}{N}\right] \quad (5)$$

d'où $x_1 = \frac{l}{1 + \frac{C_1}{C_2}}$ R_a = la résistance du fil à l'isolement le plus bas.
R_P = la résistance des bobines Pupin (un seul fil).

Le deuxième membre, qui représente une correction $\triangle x$, peut être positif ou négatif suivant que x_1 est plus grand ou plus petit que n_x fois la longueur de la section de pupinisation s. La correction devient zéro quand le lieu du défaut se trouve exactement au milieu d'une section de pupinisation, c'est-à-dire quand il coïncide avec un point C. Autrement dit, le défaut réel se trouve toujours plus près de la prochaine bobine Pupin que ne l'indiquent les calculs faits avec une résistance supposée répartie. Plus la correction est grande, plus le défaut se trouve près d'une bobine. Cette considération une fois admise, on trouve que, les conditions voulues étant remplies, le calcul d'après la formule (4) indique toujours le lieu du défaut à quelque distance d'une bobine. La correction selon la formule (5) peut conduire au maximum jusqu'à la prochaine bobine, mais pas plus loin. Ce qui signifie que la mesure peut être contrôlée. L'importance de la correction dépend seulement de la position du défaut dans la section de pupinisation, mis à part naturellement le rapport de la résistance des bobines Pupin à la résistance des conducteurs du câble d'une longueur de section de pupinisation. La formule (5) s'explique très facilement d'après la figure 2.

$$x = x_1 + \frac{R_P}{s \cdot R} \cdot y_1 \qquad (5)'$$

Naturellement, cette interprétation n'est juste que si la longueur d'amenée du câble correspond exactement à une demi-longueur de section de pupinisation.

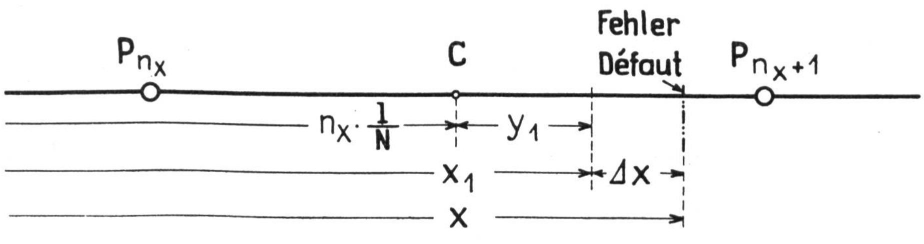

Fig. 2. Interpretation der Formel (5). — Interprétation de la formule (5).

Ueber die *Fehlermöglichkeiten* der beschriebenen Methode ist folgendes zu sagen:

1. In der Gleichung (3)′ hat man das Glied $\frac{2(l-x)R}{R_1+R_2}$ gegenüber 1 vernachlässigt, ebenso bei der Messung vom andern Ende aus das Glied $\frac{2\,x\,R}{R_1+R_2}$ gegen 1. Die Fehlerrechnung zeigt folgendes Resultat:

$$\triangle\, x = -\, x\,(l-x)\cdot\frac{2\,(l-2x)\,R}{l\,(R_1+R_2)} \qquad (6)$$

Für $x = 0$, $\frac{l}{2}$ und l ist $\triangle x = 0$;

$$\triangle x_{\max} = l\cdot\frac{R_s}{3\sqrt{3}\,(R_1+R_2)} \text{ an den Orten}$$

$$x_{1,2} = \frac{l}{2}\left(1 \pm \frac{1}{\sqrt{3}}\right)$$

Damit also $\frac{\triangle\, x_{\max}}{l} < 0{,}5\%$ sein soll, muss

$$R_1 + R_2 > \frac{200\cdot R_s}{3\cdot\sqrt{3}} = \text{ca. } 40\cdot R_s \text{ sein,}$$

z. B. $R_s = 2000$ Ohm, $R_1 + R_2 > 80\,000\ \Omega$

R_1+R_2 ist der gemessene Isolationswiderstand zwischen den beiden Messdrähten.

2. Die zweite Voraussetzung lautete, dass sich das Verhältnis $\frac{R_2+R_1}{R_2-R_1}$ während der Messungen nicht verändern dürfe. Dieses Verhältnis kann auch geschrieben werden $\frac{R_2+R_1}{R_2-R_1} = \frac{1+\frac{R_1}{R_2}}{1-\frac{R_1}{R_2}}$. Man sieht, es soll $\frac{R_1}{R_2}$ konstant sein. Entsteht beim Anlegen der Messbatterie Polarisation an der Fehlerstelle, so ändern die beiden Fehler-Widerstände in gleicher Weise, so dass sich das Verhältnis kaum ändert.

Setzen wir $\frac{R_1}{R_2} = q$ und nehmen an, dieses Verhältnis ändere sich um $\pm\, dq$ bei der zweiten Messung am andern Ende, so wird der Fehler

$dx = \pm\,\frac{2x\,(l-x)}{l}\;\frac{dq}{1-q^2}$, bei $x = 0$ und $x = l$ wird $dx = 0$. Der Fehler wird am grössten bei $\frac{l}{2}$ und beträgt

$$dx_{\max} = \pm\,\frac{l}{2}\cdot\frac{dq}{1-q^2} \text{ oder } \frac{dx}{l} < \frac{\frac{dq}{q}}{2\left(\frac{1}{q}-q\right)} \qquad (7)$$

$\frac{dq}{q}$ ist die prozentuale Aenderung des Verhältnisses z. B. $R_1 = 10$ M Ohm, $R_2 = 2$ M Ohm, $q = 5$; $\frac{dq}{q} < 0{,}10$, d. h. man nimmt an, dass das Verhältnis

Concernant les *possibilités d'erreurs* de la méthode décrite, il convient de relever ce qui suit:

1. Dans l'équation (3)′, on a négligé le membre $\frac{2\,(l-x)\,R}{R_1+R_2}$ par rapport à 1; on en a fait de même du membre $\frac{2\,x\,R}{R_1+R_2}$ par rapport à 1 pour la mesure à l'autre extrémité. Le calcul de l'erreur donne le résultat suivant:

$$\triangle x = -\, x\,(l-x)\,.\,\frac{2\,(l-2\,x)\,R}{l\,(R_1+R_2)} \qquad (6)$$

Pour $x = 0$, $\frac{l}{2}$ et l, on a $\triangle x = 0$;

$$\triangle x_{\max} = l\cdot\frac{R_s}{3\sqrt{3}\,(R_1+R_2)} \text{ aux endroits}$$

$$x_{1,2} = \frac{l}{2}\left(1 \pm \frac{1}{\sqrt{3}}\right)$$

Or, comme il faut que $\frac{\triangle x_{\max}}{l}$ soit $< 0{,}5\%$, on doit avoir $R_1 + R_2 > \frac{200\cdot R_s}{3\cdot\sqrt{3}}$ = environ $40\cdot R_s$, par exemple $R_s = 2000$ ohms, $R_1 + R_2 > 80\,000\ \Omega$, $R_1 + R_2$ étant la résistance d'isolement mesurée entre les deux fils.

2. La deuxième condition était que le rapport $\frac{R_2+R_1}{R_2-R_1}$ ne devait pas varier pendant les mesures.

Ce rapport peut aussi s'écrire $\frac{R_2+R_1}{R_2-R_1} = \frac{1+\frac{R_1}{R_2}}{1-\frac{R_1}{R_2}}$.

On voit que $\frac{R_1}{R_2}$ doit être constant. Si, au moment où l'on raccorde la batterie de mesure, il se produit une polarisation à l'endroit du défaut, les deux résistances varient de la même façon, de sorte que le rapport change à peine.

Posons $\frac{R_1}{R_2} = q$ et supposons que ce rapport varie de $\pm\, dq$ à la seconde mesure, faite à l'autre extrémité. L'erreur sera $dx = \pm\,\frac{2x\,(l-x)}{l}\;\frac{dq}{1-q^2}$;

avec $x = 0$ et $x = l$, on a $dx = 0$. C'est avec $\frac{l}{2}$ que l'erreur est la plus importante; elle atteint

$$dx_{\max} = \pm\,\frac{l}{2}\cdot\frac{dq}{1-q^2} \text{ ou } \frac{dx}{l} < \frac{\frac{dq}{q}}{2\left(\frac{1}{p}-q\right)} \qquad (7)$$

$\frac{dq}{q}$ est la modification en pour-cent du rapport, par exemple: $R_1 = 10$ M ohms, $R_2 = 2$ M ohms, $q = 5$; $\frac{dq}{q} < 0{,}10$, c'est-à-dire qu'on admet que, entre les sich bis zu 10% im Werte ändern kann zwischen beiden Messungen, dann wäre

$$\frac{dx}{l} < \frac{0,1}{2 \cdot 4,8} = 0,0104 \sim 1\%.$$

Mehrere, abwechslungsweise an beiden Enden durchgeführte Messungen erlauben eine Kontrolle der Konstanz des Verhältnisses $\frac{R_1}{R_2}$, indem sich der Abgleichwiderstand C_1, resp. C_2, bei diesen wiederholten Messungen nicht verändern soll. Der Einfluss der Genauigkeit der Messwerte von C_1 und C_2 ist im folgenden Abschnitt 3 behandelt.

3. Der Einfluss der Messgenauigkeit der verwendeten Kabelmessbrücken und des Abgleiches kann aus der Formel (5) durch totale Differenzierung ermittelt werden

$$x = \frac{l}{1+\frac{C_1}{C_2}}$$

$$dx = \frac{l}{(C_1 + C_2)^2} \cdot (\pm C_1 \cdot dC_2 \pm C_2 \cdot dC_1).$$

Da gleiche Brücken verwendet werden, kann man annehmen, dass die Messgenauigkeit auf beiden Seiten die gleiche sei, also

$$dC_1 = dC_2 = dC.$$

Die Fehler können sich addieren. Wird dies berücksichtigt, so findet man schliesslich

$$dx = \pm l \cdot \frac{dC}{C_1 + C_2} \qquad (8)$$

Die Summe C_1+C_2 entspricht etwa dem Schleifenwiderstand R_s, so dass man zur Abschätzung des maximalen Fehlers die Formel findet

$$dx = \pm \frac{dC}{R_s} \cdot l \qquad (9)$$

z. B. $R_s = 1000$ Ohm, $l = 60$ km, $dC = \pm 1$ Ohm,

$dx = \pm 0,06$ km.

C_1+C_2 ist etwas kleiner als R_s, so dass der Fehler etwas grösser wird.

Damit sind die Fehlermöglichkeiten des Verfahrens und ihre quantitative Abschätzung erschöpfend behandelt.

Ueber die praktische Anwendung und Erfahrung des beschriebenen und eines Verfahrens nach einem Aufsatz von A. Jannès und L. Simon [2]) wird in einem besonderen Artikel berichtet.

deux mesures, la valeur du rapport peut changer jusqu'à 10% et on a alors

$$\frac{dx}{l} < \frac{0,1}{2 \cdot 4,8} = 0,0104 \sim 1\%.$$

Plusieurs mesures faites alternativement aux deux extrémités permettent de contrôler la constance du rapport $\frac{R_1}{R_2}$, la résistance d'équilibrage C_1 ou C_2 ne devant pas varier au cours de ces mesures répétées. L'influence de l'exactitude des valeurs mesurées de C_1 et C_2 est exposée sous chiffre 3.

3. L'influence de la précision des ponts de mesure employés et de l'équilibrage peut être calculée de la formule (5) par la différenciation totale

$$x = \frac{l}{1+\frac{C_1}{C_2}}$$

$$dx = \frac{l}{(C_1 + C_2)^2} \cdot (\pm C_1 \cdot dC_2 \pm C_2 \cdot dC_1).$$

Comme on emploie des ponts identiques, on peut admettre que la précision des mesures est la même des deux côtés, soit

$$dC_1 = dC_2 = dC.$$

Les erreurs peuvent s'additionner. Ceci considéré, on trouve finalement

$$dx = \pm l \cdot \frac{dC}{C_1 + C_2} \qquad (8)$$

La somme C_1+C_2 correspond à peu près à la résistance de la boucle R_s, de sorte que, pour évaluer l'erreur maximum, on peut appliquer la formule

$$dx = \pm \frac{dC}{R_s} \cdot l \qquad (9)$$

par exemple: $R_s = 1000$ ohms, $l = 60$ km, $dC = \pm 1$ ohm; $dx = \pm 0,06$ km.

C_1+C_2 est un peu plus petit que R_s; par conséquent, l'erreur devient un peu plus grande.

Nous avons ainsi examiné à fond les possibilités d'erreurs de la méthode et leur évaluation quantitative.

Nous parlerons dans un article spécial de l'application pratique de cette méthode et des expériences faites, ainsi que d'une autre méthode exposée dans un article de H. Jannès et L. Simon[2]).

Literatur — Littérature.

1) *Henneberger, T. C.* and *P. G. Edwards.* Bridge Methods for Locating Resistance Faults on Cable Wires. Bell System Technical Journal 10, 1931, p. 382.

2) *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.

3) *Behrend, P.* Ein Messverfahren zur Bestimmung von Isolationsfehlern in Kabeln mit allgemeinem Nebenschluss. Telegraphenpraxis 1939, S. 135.

4) *Poleck, Hans.* Ein neues Gleichstrom-Messverfahren zur Bestimmung des Ortes eines alladrigen Isolationsfehlers. Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus den Siemens-Werken 18, 1939, H. 2, S. 1.