

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 35 (1957)

Heft: 1

Artikel: Der kathodische Schutz von Telephonkabeln = La protection cathodique des câbles téléphoniques

Autor: Meister, Hans

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-875061>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.05.2025

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

Der kathodische Schutz von Telephonkabeln

Von Hans Meister, Bern

620.197.5

La protection cathodique des câbles téléphoniques

Par Hans Meister, Berne

Zusammenfassung. Seit längerer Zeit werden die schweizerischen Telephonkabel durch elektrische Drainage gegen den korrodierenden Einfluss der vagabundierenden Bahnströme geschützt. In den letzten fünf Jahren wurde damit begonnen, auch Anlagen, die eine starke sogenannte «Phenolkorrosion» aufweisen, kathodisch zu schützen. Der Verfasser zeigt, wie dieser kathodische Schutz geplant wird und was bei der praktischen Ausführung beachtet werden muss. Er berichtet im weitern über die bisherigen Erfahrungen und die Kosten dieser Schutzmassnahme.

Résumé. Des drainages électriques protègent depuis longtemps les câbles téléphoniques de l'administration suisse des PTT contre l'influence corrosive des courants vagabonds des lignes de contact des chemins de fer. Durant les cinq dernières années, on a commencé à protéger également par le procédé cathodique les installations présentant une forte «corrosion sous l'effet du phénol». L'auteur montre comment cette protection cathodique est conçue et ce dont il faut tenir compte pour l'appliquer. Il renseigne, en outre, sur les expériences faites jusqu'ici et les frais résultant de ces mesures de protection.

Die Korrosion ist einer der schlimmsten Feinde unseres Kabelnetzes. Die durch sie verursachten Schäden sind nicht nur sehr zahlreich, sondern auch kostspielig, da ein Korrosionsfall meistens die Auswechslung grösserer Längen von Kabeln erfordert. Die Bekämpfung der Korrosion erfolgt am besten prophylaktisch, wobei die Einführung von bandarmierten gegenüber den unarmierten Kabeln in Zoreskanälen bereits einen grossen Fortschritt bedeutete. Den besten bekannten Korrosionsschutz stellt eine nahtlose Thermoplasthülle um das Kabel dar; in Zonen mit erhöhter Korrosionsgefahr lohnt sich dieser finanzielle Mehraufwand bestimmt.

Alle diese Massnahmen sind leider nur bei Neuanlagen anwendbar. Es ist jedoch sehr wichtig, die vielen bestehenden Kabel, an denen schon starke Korrosionsschäden aufgetreten sind, zu retten oder wenigstens ihre Lebensdauer um 10 bis 20 Jahre zu verlängern.

A. Grundlagen

Der Hauptteil aller Korrosionsfälle ist durch elektrochemische Vorgänge bedingt, deren Erforschung jedoch wegen ihrer komplizierten Natur oft auf grosse Schwierigkeiten stösst. Der Abklärung des Mechanismus der Korrosion kommt eine grosse Bedeutung zu. Ich möchte jedoch darauf verzichten, einen weitem Beitrag zu dieser umstrittenen Frage zu leisten und mich auf die Korrosionsbekämpfung durch kathodischen Schutz beschränken. Trotzdem ist es zweckmässig, einleitend die Vorgänge der Korrosion anhand eines stark vereinfachten Beispiels eines Korrosionselementes zu betrachten.

Auf dem Bleimantel nehmen zwei benachbarte Flächen aus irgendwelchen Gründen (zum Beispiel der unterschiedlichen Belüftung oder des ungleichartigen Zustandes der Bleioberfläche) gegenüber dem Elektrolyt (feuchte Erde oder Kabelumhüllung) ein verschiedenes Potential an. Der Spannungsunterschied kann ohne weiteres in der Grösse von 0,1 V liegen. Nimmt man nun einen stilisierten Fall an, in dem die anodische und die kathodische Fläche zwei angrenzende Quadrate mit der Seitenlänge a darstellen, so ergibt eine vereinfachte Rechnung in einem

La corrosion est un des pires ennemis du réseau des câbles téléphoniques. Les dommages qu'elle cause ne sont pas seulement très nombreux, ils coûtent aussi très cher, un cas de corrosion exigeant en général le remplacement d'importantes longueurs de câbles. La lutte contre la corrosion est avant tout prophylactique, l'introduction de câbles armés de feuillard signifiant déjà un grand progrès par rapport aux câbles non armés posés dans des caniveaux en fer zorès. Mais une gaine en thermoplast sans couture enrobant le câble représente certainement la meilleure protection contre la corrosion; cette dépense supplémentaire est tout indiquée dans les zones où le danger de corrosion est très grand.

Toutes ces mesures ne s'appliquent malheureusement qu'aux nouvelles installations. Il est néanmoins très important de sauver les nombreux câbles en service, que d'importants dommages dus à la corrosion affectent déjà, ou tout au moins de prolonger leur existence de 10 à 20 ans.

A. Principes généraux

Des phénomènes électrochimiques, dont la recherche se heurte à de grandes difficultés du fait de leur complexité, sont à la base de presque tous les cas de corrosion. La connaissance du mécanisme de la corrosion revêt une importance majeure. Je renonce toutefois à présenter une nouvelle contribution à cette question si controversée et me borne à traiter de la lutte contre la corrosion par la protection cathodique. Néanmoins, il est indiqué, pour commencer, d'examiner les phénomènes qui se produisent lors de la corrosion d'après l'exemple très simplifié d'un élément de corrosion.

Deux surfaces voisines de la gaine de plomb accusent, pour des motifs quelconques (par exemple l'aération différente ou l'état inégal de la surface de plomb), un potentiel différent par rapport à l'électrolyte. La différence de tension peut sans autre être de l'ordre de 0,1 volt. Prenons un cas idéal dans lequel les surfaces anodique et cathodique représentent deux carrés juxtaposés de côté a , on obtient, en simplifiant le calcul, une densité de courant de

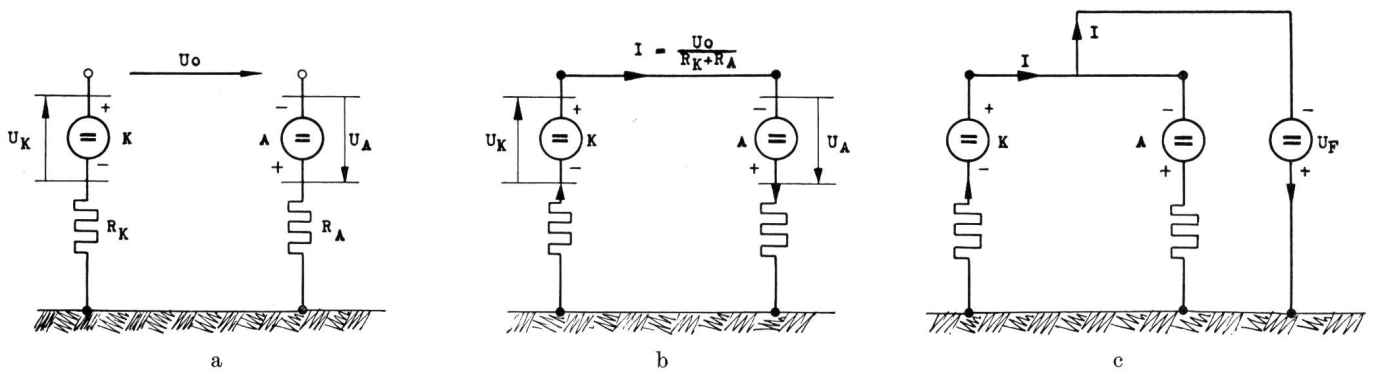


Fig. 1. Ersatzschema eines Korrosionselementes

- a = Im offenen Element entsteht die Spannung U_0 zwischen Anode und Kathode. Die Anode korrodiert nicht, weil kein Strom fließt. U_A und U_K sind die Spannungen der Anode und der Kathode gegen eine beliebige Fremdelektrode, R_A und R_K die Übergangswiderstände gegen Erde.
- b = Ist das Element kurzgeschlossen, wie es z. B. der Fall ist, wenn sich anodische und kathodische Stellen auf einem Kabelmantel befinden, so fließt ein Strom, mit dem die Korrosion der Anode verbunden ist.
- c = Durch die Fremdstromquelle U_F wird das Potential der Kathode auf das der Anode im offenen Element gebracht. Der Stromaustritt aus der Anode wird verhindert, die Korrosion unterbrochen

Fig. 1. Schéma équivalent d'un élément de corrosion

- a = Dans l'élément ouvert, la tension U_0 est produite entre l'anode et la cathode. L'anode ne se corrode pas, aucun courant ne passant. U_A et U_K sont les tensions de l'anode et de la cathode contre une électrode étrangère quelconque. R_A et R_K les résistances de passage à la terre.
- b = L'élément est-il court circuité, comme c'est, par exemple, le cas lorsque des points anodiques et cathodiques se trouvent sur une gaine de câble, un courant passe en provoquant en même temps la corrosion de l'anode.
- c = La source des courants étrangers U_F déplace le potentiel de la cathode sur celui de l'anode dans l'élément ouvert. Le courant est empêché de sortir de l'anode, la corrosion est interrompue

Elektrolyt mit dem spezifischen Widerstand ρ eine Stromdichte von:

$$j = \frac{U}{a \rho \pi}$$

Bei einer Spannung von 50 mV ergibt das in einem gutleitenden Boden (50 Ω m) für $a = 1$ mm eine Stromdichte von 0,32 A/m², was pro Jahr einem korrodierten Bleigewicht von 8,4 kg/m² oder 0,75 mm Tiefe entspricht!

Gerade bei den konzentrierten Korrosionsangriffen, wie sie beispielsweise bei der sogenannten Phenolkorrosion auftreten, sind die Stromdichten sehr gross. In Wirklichkeit bilden die anodischen Partien meist nur einen kleinen Bruchteil des ganzen Kabels, was noch verschlimmernd wirkt.

Wie kann man nun diesen zerstörenden Strom verhindern? Figur 1 zeigt ein Ersatzschema eines galvanischen Elementes, in Figur 1a mit offenen Klemmen, in Figur 1b mit kurzgeschlossenen Klemmen. Der durch die Anode fließende Strom bewirkt ihre Korrosion. Legt man nun zwischen Elektrolyt und Elektroden eine Spannung an, mit der man die Elektroden negativ polarisiert (Fig. 1c), so entlastet man die Anode. Bringt man das Potential der Kathode auf das der Anode, so hört der Strom und damit die Korrosion auf.

Praxis: Den erforderlichen Schutzstrom kann man auf zwei Arten erzeugen:

1. Mit Anoden aus einem unedlen Material (zum Beispiel Magnesium), die mit dem Blei ein Element bilden. Die Korrosion wird also gewissermaßen vom Blei auf das Magnesium verlagert.
2. Mit einer Gleichstromquelle. Zur Erdung des positiven Poles muss ein Erdungssystem (Anode)

$$j = \frac{U}{a \rho \pi}$$

dans un électrolyte de résistance spécifique ρ . Pour une tension de 50 mV, on a dans un sol bon conducteur (50 Ω m) pour $a = 1$ mm une densité de courant de 0,32 A/m², ce qui correspond par année à un poids de plomb corrodé de 8,4 kg/m² ou 0,75 mm de profondeur.

Lorsqu'il s'agit d'attaques corrosives concentrées, telles qu'elles apparaissent par exemple dans la corrosion due à l'effet du phénol, les densités de courant sont très grandes. En réalité, les parties anodiques ne constituent généralement qu'une faible fraction du câble entier, ce qui est encore plus grave.

Comment peut-on entraver ce courant destructeur? La figure 1 montre le schéma équivalent d'un élément galvanique dont les bornes sont ouvertes à la figure 1a et court-circuitées à la figure 1b. Le courant traversant l'anode provoque sa corrosion. En appliquant entre l'électrolyte et les électrodes une tension polarisant négativement les électrodes (fig. 1c), on décharge l'anode. En transposant le potentiel de la cathode sur celui de l'anode, on interrompt le courant et on supprime la corrosion.

Réalisation pratique: On peut produire de deux façons le courant de protection nécessaire:

1. Avec des anodes en matière plus électronégative (par exemple du magnésium) formant un élément avec le plomb. La corrosion se déplace alors dans une certaine mesure du plomb sur le magnésium.
2. Avec une source de courant continu. Pour mettre à la terre le pôle positif, il faut établir un système de mise à la terre (anode) de résistance

von genügend kleinem Ausbreitungswiderstand erstellt werden, das natürlich der Korrosion ausgesetzt ist. Man verwendet entweder eine ausreichende Menge Alteisen oder besser die sehr korrosionsbeständige Kohle oder Graphit.

B. Ausbreitungsverhältnisse

Der Abstand der Speisepunkte für den Schutzstrom muss aus wirtschaftlichen Gründen möglichst gross gewählt werden. Es ist daher sehr interessant zu wissen, wie die Ausbreitungsverhältnisse der «Übertragungsleitung» Kabelmantel-Erde sind. Sie hängen ab vom Längswiderstand des Kabels, vom spezifischen Widerstand des Bodens und vor allem vom Widerstand der Kabelumhüllung. Sind diese drei Faktoren bekannt, so lässt sich die Dämpfung der «Leitung» ohne weiteres berechnen. Leider ist aber der Einfluss der Umhüllung von Fall zu Fall derart verschieden, dass eine Berechnung keinen praktischen Wert hat. Ein Beispiel illustriert die Verhältnisse:

Kabel: $22 \times 2 \times 1$, unarmiert, juteumhüllt, $1,45 \Omega/\text{km}$;

Verlegung: in Zoreskanal;

Boden: $350 \Omega\text{m}$ (kiesig).

Für ein nacktes Kabel, direkt im Boden verlegt, errechnet man eine Dämpfung von $0,85 \text{ N/km}$. Gemessen wurde an verschiedenen Stellen $0,27$ bis $0,5 \text{ N/km}$, was zeigt, dass die Umhüllung von entscheidendem Einfluss ist.

Die Ausbreitungsverhältnisse können demnach nur empirisch ermittelt werden.

C. Dimensionierung der Anode

Bei der Ausbreitungsmessung wird bestimmt, wie gross der Schutzstrom sein muss, um die gewünschte Potentialverschiebung zu erreichen. Nun kommen entweder Magnesiumanoden in Frage, die eine einigermaßen definierte Spannung (etwa $0,9 \text{ V}$) gegen Blei entwickeln, oder es steht ein normalisierter Gleichrichter, dessen Spannung nur beschränkt verändert werden kann, zur Verfügung. Auf alle Fälle müssen wir die Zahl der Magnesiumelektroden oder die Grösse der Kohleanode berechnen können.

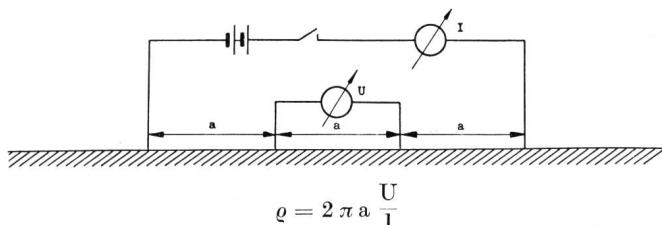


Fig. 2. Messung des spezifischen Erdwiderstandes nach Wenner. Durch Ändern des Abstandes a erfasst man verschiedene Volumina des Bodens und kann deshalb ein Tiefenprofil von q aufnehmen.

Mesure de la résistance spécifique de la terre selon Wenner. En modifiant la distance a , on atteint divers volumes du sol et peut, de ce fait, relever un profil des profondeurs de q .

de diffusion assez petite, qui soit naturellement exposé à la corrosion. On utilise soit une quantité suffisante de vieux fer, soit mieux encore le charbon ou le graphite très résistants à la corrosion.

B. Conditions de propagation

La distance séparant les points d'alimentation du courant de protection doit, pour des motifs économiques, être aussi grande que possible. C'est pourquoi il est très intéressant de connaître quelles sont les conditions de propagation de la «ligne de transmission» gaine de câble-terre. Elles dépendent de la résistance longitudinale du câble, de la résistance spécifique du sol et surtout de la résistance de la gaine de jute du câble. Lorsqu'on connaît ces trois facteurs, on peut sans autre calculer l'affaiblissement de la «ligne». Malheureusement, l'influence de l'enveloppe du câble varie dans chaque cas à tel point qu'un calcul n'a aucune valeur pratique. Un exemple illustre les conditions:

Câble: $22 \times 2 \times 1$, non armé, gaine de jute, $1,45 \Omega/\text{km}$;

Pose: dans un caniveau en fer zorcés;

Sol: $350 \Omega\text{m}$ (graveleux).

Pour un câble sans armure posé directement dans le sol, on calcule un affaiblissement de $0,85 \text{ N/km}$.

On a mesuré en différents endroits $0,27 \dots 0,5 \text{ N/km}$, ce qui montre que l'enveloppe a une influence décisive.

Les conditions de propagation ne peuvent, par conséquent, être obtenues que de façon empirique.

C. Calcul des dimensions de l'anode

Lorsqu'on mesure la propagation, on détermine quel doit être le courant de protection pour obtenir le déplacement de potentiel désiré. On utilise soit des anodes au magnésium qui développent une tension en quelque sorte définie (à peu près $0,9 \text{ volt}$) contre le plomb, soit un redresseur normalisé dont la tension ne peut varier que dans des limites bien définies. En tout cas, nous devons pouvoir calculer le nombre des électrodes au magnésium ou la grandeur de l'anode au charbon.

La mesure de la résistance spécifique de la terre selon Wenner [1], expliquée à la figure 2, sert de base à ce calcul. En mesurant avec diverses distances fondamentales a , on peut établir un pronostic sur la stratification du sol. Nous nous intéressons aux valeurs pour les profondeurs de $0,5 \dots 10 \text{ m}$, c'est pourquoi nous mesurons avec des distances fondamentales de $0,25 \dots 20 \text{ m}$. Les résultats sont résumés dans une valeur déterminante pour la profondeur de pose variant entre $0,5$ et 2 m , valeur qui permet de calculer la résistance de propagation du système de mise à la terre [2].

Pour les anodes, on emploie uniformément des bâtons de graphite ou de magnésium recouverts d'une enveloppe en matière bonne conductrice permettant

von genügend kleinem Ausbreitungswiderstand erstellt werden, das natürlich der Korrosion ausgesetzt ist. Man verwendet entweder eine ausreichende Menge Alteisen oder besser die sehr korrosionsbeständige Kohle oder Graphit.

B. Ausbreitungsverhältnisse

Der Abstand der Speisepunkte für den Schutzstrom muss aus wirtschaftlichen Gründen möglichst gross gewählt werden. Es ist daher sehr interessant zu wissen, wie die Ausbreitungsverhältnisse der «Übertragungsleitung» Kabelmantel-Erde sind. Sie hängen ab vom Längswiderstand des Kabels, vom spezifischen Widerstand des Bodens und vor allem vom Widerstand der Kabelumhüllung. Sind diese drei Faktoren bekannt, so lässt sich die Dämpfung der «Leitung» ohne weiteres berechnen. Leider ist aber der Einfluss der Umhüllung von Fall zu Fall derart verschieden, dass eine Berechnung keinen praktischen Wert hat. Ein Beispiel illustriert die Verhältnisse:

Kabel: $22 \times 2 \times 1$, unarmiert, juteumhüllt, $1,45 \Omega/\text{km}$;

Verlegung: in Zoreskanal;

Boden: $350 \Omega\text{m}$ (kiesig).

Für ein nacktes Kabel, direkt im Boden verlegt, errechnet man eine Dämpfung von $0,85 \text{ N/km}$. Gemessen wurde an verschiedenen Stellen $0,27$ bis $0,5 \text{ N/km}$, was zeigt, dass die Umhüllung von entscheidendem Einfluss ist.

Die Ausbreitungsverhältnisse können demnach nur empirisch ermittelt werden.

C. Dimensionierung der Anode

Bei der Ausbreitungsmessung wird bestimmt, wie gross der Schutzstrom sein muss, um die gewünschte Potentialverschiebung zu erreichen. Nun kommen entweder Magnesiumanoden in Frage, die eine einigermaßen definierte Spannung (etwa $0,9 \text{ V}$) gegen Blei entwickeln, oder es steht ein normalisierter Gleichrichter, dessen Spannung nur beschränkt verändert werden kann, zur Verfügung. Auf alle Fälle müssen wir die Zahl der Magnesiumelektroden oder die Grösse der Kohleanode berechnen können.

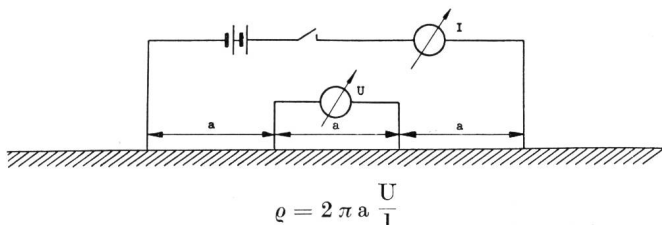


Fig. 2. Messung des spezifischen Erdwiderstandes nach Wenner. Durch Ändern des Abstandes a erfasst man verschiedene Volumina des Bodens und kann deshalb ein Tiefenprofil von q aufnehmen

Mesure de la résistance spécifique de la terre selon Wenner. En modifiant la distance a , on atteint divers volumes du sol et peut, de ce fait, relever un profil des profondeurs de q

de diffusion assez petite, qui soit naturellement exposé à la corrosion. On utilise soit une quantité suffisante de vieux fer, soit mieux encore le charbon ou le graphite très résistants à la corrosion.

B. Conditions de propagation

La distance séparant les points d'alimentation du courant de protection doit, pour des motifs économiques, être aussi grande que possible. C'est pourquoi il est très intéressant de connaître quelles sont les conditions de propagation de la «ligne de transmission» gaine de câble-terre. Elles dépendent de la résistance longitudinale du câble, de la résistance spécifique du sol et surtout de la résistance de la gaine de jute du câble. Lorsqu'on connaît ces trois facteurs, on peut sans autre calculer l'affaiblissement de la «ligne». Malheureusement, l'influence de l'enveloppe du câble varie dans chaque cas à tel point qu'un calcul n'a aucune valeur pratique. Un exemple illustre les conditions:

Câble: $22 \times 2 \times 1$, non armé, gaine de jute, $1,45 \text{ ohm/km}$;

Pose: dans un caniveau en fer zorcés;

Sol: $350 \Omega\text{m}$ (graveleux).

Pour un câble sans armure posé directement dans le sol, on calcule un affaiblissement de $0,85 \text{ N/km}$.

On a mesuré en différents endroits $0,27 \dots 0,5 \text{ N/km}$, ce qui montre que l'enveloppe a une influence décisive.

Les conditions de propagation ne peuvent, par conséquent, être obtenues que de façon empirique.

C. Calcul des dimensions de l'anode

Lorsqu'on mesure la propagation, on détermine quel doit être le courant de protection pour obtenir le déplacement de potentiel désiré. On utilise soit des anodes au magnésium qui développent une tension en quelque sorte définie (à peu près $0,9 \text{ volt}$) contre le plomb, soit un redresseur normalisé dont la tension ne peut varier que dans des limites bien définies. En tout cas, nous devons pouvoir calculer le nombre des électrodes au magnésium ou la grandeur de l'anode au charbon.

La mesure de la résistance spécifique de la terre selon Wenner [1], expliquée à la figure 2, sert de base à ce calcul. En mesurant avec diverses distances fondamentales a , on peut établir un pronostic sur la stratification du sol. Nous nous intéressons aux valeurs pour les profondeurs de $0,5 \dots 10 \text{ m}$, c'est pourquoi nous mesurons avec des distances fondamentales de $0,25 \dots 20 \text{ m}$. Les résultats sont résumés dans une valeur déterminante pour la profondeur de pose variant entre $0,5$ et 2 m , valeur qui permet de calculer la résistance de propagation du système de mise à la terre [2].

Pour les anodes, on emploie uniformément des bâtons de graphite ou de magnésium recouverts d'une enveloppe en matière bonne conductrice permettant

Als Grundlage dient die Messung des spezifischen Erdwiderstandes nach Wenner [1], die in Figur 2 erläutert ist. Misst man mit verschiedenen Grundabständen a , so ist eine Prognose über die Schichtung des Bodens möglich. Uns interessieren die Werte in Tiefen von 0,5...10 m, weshalb mit Grundabständen von 0,25...20 m gemessen wird. Die Resultate werden in einen für die Verlegungstiefe zwischen 0,5...2 m massgebenden Wert zusammengefasst. Mit diesem lässt sich der Ausbreitungswiderstand des Erdungssystems berechnen [2].

Für die Anoden werden einheitliche Graphit- oder Magnesiumstäbe verwendet, die mit einem Mantel aus gutleitendem Material versehen werden, wodurch der Erdungswiderstand eines Stabes etwa auf die Hälfte sinkt; so lässt sich der Aufwand stark beschränken. Wir verwenden als Einheitstypen folgende Anoden:

- a) *Graphitstab*: 100 mm Durchmesser, 1500 mm Länge, mit einem Koksmantel von 500 mm Durchmesser zur Verkleinerung des Ausbreitungswiderstandes und Erhöhung der Lebensdauer. Den Widerstand eines Stabes erhält man durch Multiplikation des spezifischen Erdwiderstandes ρ (Ωm) mit 0,23. Meistens ist die Verlegung mehrerer Stäbe nötig, deren Abstand mindestens einige Meter betragen muss. Bei zwei Stäben in 6 m gegenseitigem Abstand ist der Proportionalitätsfaktor 0,13. Ein Stab ergibt bei 100 Ωm demnach 23 Ω , zwei Stäbe, in 6 m Abstand, 13 Ω . Die Berechnung lässt sich natürlich auch für eine grössere Zahl von Stäben durchführen. Die Anschlussleitung der Graphitstäbe muss sehr sorgfältig gegen das Eindringen von Feuchtigkeit geschützt sein, sonst korrodiert sie infolge des hohen Potentials in kurzer Zeit.
- b) *Magnesiumstab*: 100 mm Durchmesser, 1000 mm Länge (14 kg). Die Stäbe werden einzeln in gewissen Abständen längs des zu schützenden Kabels eingebaut. Als Mantel dient ein Gemisch aus 150 kg Bentonit (einem feingemahlenen Ton), 30 kg Gips und etwa 200 l Wasser. Die Auffüllung, die einen Raum von etwa 500 mm Durchmesser und 1400 mm Länge einnimmt, hat einen sehr kleinen spezifischen Widerstand (etwa 2 Ωm) und erzwingt durch ihre Homogenität eine gleichmässige Ausnützung der Anode. Der Ausbreitungswiderstand eines Stabes im Mantel berechnet man durch Multiplikation von ρ mit 0,24, so dass bei 50 Ωm (12 Ω) und einer EMK von 0,9 V etwa 75 mA fließen. Enthält die Anode keine die Selbstkorrosion begünstigenden Legierungsbestandteile wie Cu, Ni oder Fe [3], so kann für unsere Anode mit einer Ausbeute von etwa 1100 Ah/kg, also 15 400 Ah gerechnet werden. Bei 75 mA (also in einem Boden von ρ 50 [Ωm]) beträgt dann die Lebensdauer 23 Jahre. Diese Überlegungen



Fig. 3. Mischen der Bentonitmasse für eine Magnesiumelektrode
Mélange de la masse de bentonite pour une électrode de magnésium
Photographie: F. Fehlmann, Luzern

de réduire de moitié environ la résistance de mise à la terre d'un bâton; on peut ainsi fortement limiter les dépenses.

Nous utilisons les types unitaires d'anodes suivantes:

- a) *Bâton de graphite*, 100 mm de diamètre, 1500 mm de longueur, avec une enveloppe de coke de 500 mm de diamètre permettant de diminuer la résistance de propagation et d'augmenter la durée de vie. On obtient la résistance d'un bâton en multipliant la résistance de terre spécifique ρ (Ωm) par 0,23. En règle générale, il est nécessaire de poser plusieurs bâtons à intervalles d'au moins quelques mètres. Le facteur de proportionnalité de deux bâtons se trouvant à 6 mètres l'un de l'autre est de 0,13. Par conséquent, pour une résistance de 100 Ωm , un bâton donne 23 ohms, deux bâtons placés à 6 mètres l'un de l'autre 13 ohms. On peut naturellement faire aussi le calcul pour un plus grand nombre de bâtons. La ligne de raccordement des bâtons de graphite doit être très soigneusement protégée contre l'infiltration de l'humidité, sinon elle se corrode en peu de temps du fait du potentiel élevé.
- b) *Bâton de magnésium*, 100 mm de diamètre, 1000 mm de longueur (14 kg). Les bâtons sont placés à une certaine distance les uns des autres le long du câble à protéger. Un mélange composé de 150 kg de bentonite (argile finement moulue), 30 kg de gypse et à peu près 200 l d'eau sert d'enveloppe. Le remblai, qui occupe un espace d'à peu près 500 mm de diamètre et de 1400 mm de longueur, a une très petite résistance spécifique (environ 2 Ωm) et provoque, du fait de son homogénéité, une usure uniforme de l'anode. On calcule la résistance de propa-

zeigen, dass die Mg-Anoden in Böden von mehr als etwa 70 Ωm zu kleine Ströme ergeben und daher unwirtschaftlich sind.

D. Erforderliche Potentialverschiebung

Die Festlegung des Schutzpotentials ist für Bleikabel schwieriger als allgemein angenommen wird. Nach *Pourbaix* [4] ist ein Bleikabel geschützt, wenn sein Potential, gemessen gegen eine Kupfersulfatelektrode, negativer als $-0,55\text{ V}$ ist (der entsprechende Wert für Eisen ist $-0,85\text{ V}$).

Leider liegen die Verhältnisse in Wirklichkeit aus folgenden Gründen nicht so einfach:

1. Fast alle unsere Kabel liegen entweder in einem Eisenkanal (Zoreskanal) oder tragen eine Eisenarmatur. Nun ist nicht das Potential des Kabels gegen irgendeinen entfernten Punkt des Bodens massgebend, sondern gegen das nächste Molekül des Elektrolytes, das innerhalb der Armatur oder des Kanals liegt, wo jedoch die Placierung einer Sonde nicht möglich ist.
2. Fliesst zwischen Kabel und Boden ein Strom, so tritt an den Übergangs- und Ausbreitungswiderständen ein erheblicher Spannungsabfall auf, der eine grössere Potentialverschiebung vortäuscht als vorhanden. Diese Schwierigkeit liesse sich jedoch durch Messung in kurzen, stromlosen Perioden, zum Beispiel mit einem Oszillographen, umgehen.
3. Ein Kabel korrodiert normalerweise nur auf einer relativ kleinen Fläche; der überwiegende Teil ist kathodisch. Das sich einstellende Mischpotential ist sicher nicht das der anodischen Bezirke.
4. Es ist möglich, dass unter bestimmten Verhältnissen das Potential von $-0,55\text{ V}$ (für Blei) gegen eine Kupfersulfatelektrode für den Korrosionsschutz nicht ausreicht. So wurde gefunden, dass zum Beispiel Eisen in Anwesenheit sulfatreduzierender Keime nur bei einem Potential von $-0,95\text{ V}$ (statt $-0,85\text{ V}$) geschützt ist [5].

Alle diese Gründe machen es zu einer Ausnahme, dass wir in unsern Verhältnissen ein korrodiertes Kabel antreffen, das ein höheres (positiveres) Potential als $-0,55\text{ V}$ hat. Sehr oft beträgt das Potential stark korrodierter Kabel $-0,60$, ja $-0,65\text{ V}$. Das Kriterium eines Schutzpotentials von $-0,55\text{ V}$ kann deshalb für uns leider nicht massgebend sein. Die Festlegung des Schutzstromes wird dadurch wesentlich erschwert; sie geschieht vorderhand auf folgende Weise:

Eine zu schützende Anlage weist meistens einen vorwiegend gefährdeten Abschnitt, eine Hauptkorrosionszone auf. Vor dem Einschalten des Schutzstromes wird längs des Kabels das Potential des Mantels gegen eine auf der Erdoberfläche stehende Kupfersulfatelektrode gemessen. Der Schutzstrom wird nun so festgesetzt, dass in der Hauptkorrosionszone eine

gation d'un bâton protégé par une enveloppe en multipliant ρ par 0,24, de sorte que pour 50 Ωm (12 ohms) et une force électromotrice de 0,9 volt il passe 75 mA. Si l'anode ne contient aucun constituant d'alliage favorisant la corrosion instantanée, tel que le cuivre, le nickel ou le fer [3], on peut compter pour notre anode avec une production de 1100 Ah/kg, soit 15 400 Ah. Pour 75 mA (donc dans un sol de ρ 50 [Ωm]), la durée de vie est de 23 ans. Ces constatations montrent que les anodes de magnésium produisent des courants trop faibles dans des sols de plus de 70 Ωm environ et ne sont, par conséquent, pas économiques.

D. Déplacement de potentiel nécessaire

Il est plus difficile de déterminer le potentiel de protection pour le câble sous plomb qu'on ne l'admet généralement. Selon *Pourbaix* [4], un câble sous plomb est protégé lorsque son potentiel, mesuré contre une électrode de sulfate de cuivre, est plus négatif que $-0,55\text{ volt}$ (la valeur correspondante pour le fer est $-0,85\text{ volt}$).

En réalité, les conditions ne sont, pour les motifs suivants, pas aussi simples:



Fig. 4. Fertig montierte Magnesiumanode. Vorne sieht man den Anschluss der Anode an das Kabel, im Hintergrund direkt über der Anode ein Standrohr mit einer Trennstelle, in der jährlich einmal der Strom kontrolliert wird.
Anode de magnésium montée définitivement. A l'avant, on voit le raccordement de l'anode au câble, à l'arrière, directement au-dessus de l'anode, un tube vertical avec point de coupure dans lequel on peut contrôler le courant une fois par année

Photographie: F. Fehlmann, Luzern

«Potentialverschiebung» (einschliesslich Spannungsabfall in Umhüllung und Erde) von etwa 150...300 mV erzielt wird.

Unter dem Einfluss des Schutzstromes polarisiert sich das Kabel langsam, so dass das Potential im Laufe der Zeit immer negativer wird; der Grenzwert wird, je nach Verhältnissen, erst nach längerer Zeit (ein bis mehrere Jahre) erreicht. Wird der Schutzstrom ausgeschaltet, so ändert sich die zwischen

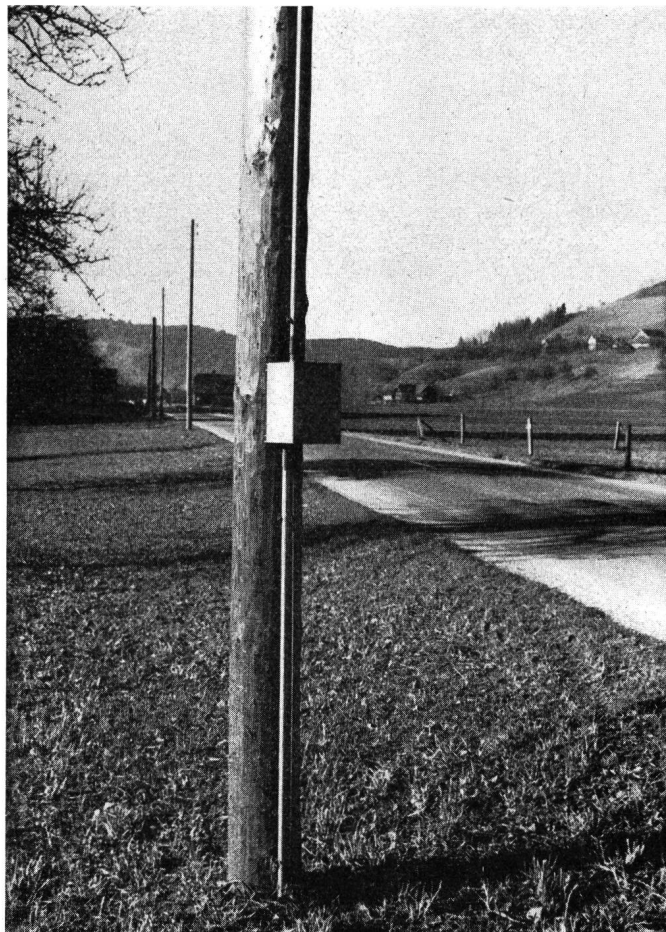


Fig. 5. Gleichrichter für 20 V und 1,2 oder 2,4 A, an eine Stange des Niederspannungsnetzes montiert

Redresseur pour 20 V et 1,2 ou 2,4 A, monté sur un poteau du réseau à basse tension

Photographie: F. Fehlmann, Luzern

Kupfersulfatelektrode und Kabel gemessene Spannung sprunghaft um den Spannungsabfall in Umhüllung und Erde. Der sofort nach dem Ausschalten abgelesene Wert kann mit dem vor dem Einschalten des kathodischen Schutzes gemessenen Potential verglichen werden. Diese Differenz kann nach einigen Jahren das Mehrfache der bei der Einschaltung erzielten «Potentialverschiebung» erreichen.

Eine übertrieben hohe negative Polarisierung des Kabels kann eine kathodische Korrosion zur Folge haben. Da aber das kritische Potential (etwa $-2,3$ V gegen eine CuSO_4 -Elektrode) sehr tief liegt, darf die Gefahr nicht überschätzt werden.

1. Presque tous les câbles téléphoniques se trouvent dans des caniveaux en fer (fers zorès), ou alors sont revêtus d'une armure en fer. Ce n'est pas contre un point éloigné quelconque du sol que le potentiel du câble est déterminant, mais contre la prochaine molécule de l'électrolyte qui se trouve à l'intérieur de l'armure ou du caniveau où il est cependant impossible de placer une sonde.
2. Lorsqu'un courant circule entre le câble et le sol, une chute de tension importante, simulant un déplacement de potentiel plus grand que dans la réalité, apparaît aux résistances de contact et de propagation. Mais on peut tourner cette difficulté en faisant les mesures dans les courtes périodes sans courant, par exemple avec un oscillographe.
3. Un câble ne se corrode normalement que sur une surface assez petite; la partie principale est cathodique. Le potentiel moyen qui apparaît n'est certainement pas celui des zones anodiques.
4. Il est possible que, dans des conditions déterminées, le potentiel de $-0,55$ volt (pour le plomb) contre une électrode de sulfate de cuivre ne suffise pas pour protéger le câble contre la corrosion. Par exemple, on a trouvé que, en présence de germes réducteurs de sulfate, du fer n'est protégé qu'à un potentiel de $-0,95$ volt (au lieu de $-0,85$ volt) [5].

Tous ces motifs conduisent à l'anomalie que nous trouvons, dans les conditions données, un câble corrodé ayant un potentiel plus élevé (plus positif) que $-0,55$ volt. Le potentiel de câbles fortement corrodés est très souvent de $-0,60$, voire de $-0,65$ volt. C'est pourquoi le critère d'un potentiel de protection de $-0,55$ volt ne peut malheureusement pas être déterminant pour nous. Il est, de ce fait, très difficile de déterminer le courant de protection; mais on y arrive pour le moment de la façon suivante:

Une installation à protéger présente, en règle générale, un tronçon particulièrement exposé, une zone de corrosion principale. Avant d'enclencher le courant de protection, on mesurera le long du câble le potentiel de la gaine contre une électrode de sulfate de cuivre se trouvant à la surface de la terre. Le courant de protection est fixé de telle sorte que, dans la zone de corrosion principale, un «déplacement de potentiel» (y compris la chute de tension dans l'enveloppe et la terre) de 150 à 300 mV environ soit atteint.

Sous l'influence du courant de protection, le câble se polarise lentement, de sorte que le potentiel devient de plus en plus négatif au fur et à mesure que le temps passe; la valeur limite n'est, selon les circonstances, atteinte qu'après un temps assez long (une à plusieurs années). Le courant de protection est-il déclenché, la tension mesurée entre l'électrode de sulfate de cuivre et le câble se transforme instantanément par la chute de tension dans l'enveloppe et la

E. Schutz fremder Anlagen

Der kathodische Schutz bedingt naturgemäss die Erzeugung von Streuströmen, wodurch für fremde Anlagen die Gefahr elektrolytischer Korrosionen entstehen kann. Die Korrosionsgefahr kann einesteils bei Annäherungen an geschützte Kabel auftreten, andernteils besteht die Möglichkeit des Stromeintritts in der Nähe von Anoden, wodurch entferntere Partien zu Austrittszonen und damit gefährdet werden. Es ist deshalb wichtig, die Anode in einiger Entfernung (bei 1 A Polarisierungsstrom mindestens etwa 50 m) von fremden unterirdischen Leitern zu verlegen; ebenso muss eine gewisse Entfernung von den geschützten Anlagen eingehalten werden. Der Einfluss von geschützten auf benachbarte ungeschützte Leitungen muss in jedem Fall untersucht werden; wenn nötig ist die fremde Leitung in den Schutz einzubeziehen oder teilweise zu isolieren. Bei Anlagen mit Magnesiumelektroden sind die Gefahren für fremde Leitungen meistens unbedeutend.

F. Erfahrungen

Den ersten Gleichrichter für den kathodischen Schutz eines durch «Phenolkorrosion» beschädigten Kabels haben wir im Sommer 1952 eingeschaltet.

Dieses Bezirkskabel wurde im Jahr 1932 verlegt. In den Jahren 1938, 1945 und 1950 wurden je etwa 225 m wegen Phenolkorrosion ausgewechselt, daneben wurden 1946 und 1952 kleinere Reparaturen von durchkorrodierten Abschnitten vorgenommen. Das Kabel war beim Einschalten des Schutzstromes in einem Zustand, der es als ratsam erscheinen liess, eine weitere Fabrikationslänge auszuwechseln; trotzdem verzichtete man darauf.

In den letzten 4½ Jahren, seit Bestehen des kathodischen Schutzes, traten keine neuen Durchbrüche des Mantels mehr auf.

Auch die übrigen Erfahrungen, allerdings von kürzerer Dauer, sind gut. Bei stark korrodierten Kabeln sind allerdings vielfach schon Durchbrüche vorhanden, die oft noch mit Bitumen oder Korrosionsprodukten ausgefüllt sind. Man muss daher nach dem Einschalten des Schutzstromes noch 1 bis 1½ Jahre lang mit weitem vereinzelt Isoliationsfehlern rechnen.

Die Kosten des kathodischen Schutzes sind natürlich von den Verhältnissen abhängig. Als Einrichtungskosten kann man mit etwa 250...500 Fr./km rechnen, und zwar für Anlagen mit Magnesiumanoden oder Gleichrichter. Die Stromkosten der netzgespeisten Anlagen sind gering (etwa Fr. 5.— pro km und Jahr). Mit einem Ampère können mehrere Kilometer eines Kabels geschützt werden; der Schutzbereich einer Magnesiumanode liegt im allgemeinen zwischen 400 und 1000 Metern Kabellänge. Der kathodische Schutz eines Kabels kostet also nur wenige Prozente des Anlagewertes und eignet sich demnach sehr gut zur Rettung korrodierter Kabelstrecken.

terre. La valeur relevée immédiatement après le déclenchement peut être comparée au potentiel mesuré avant l'enclenchement de la protection cathodique. Au bout de quelques années, cette différence peut atteindre un multiple du «déplacement de potentiel» obtenu au moment de l'enclenchement.

Une polarisation négative excessive du câble peut entraîner une corrosion cathodique. Mais le potentiel critique (environ —2,3 volts contre une électrode de sulfate de cuivre) étant très bas, ce danger ne doit pas être surestimé.

E. Protection des installations étrangères

La protection cathodique implique naturellement la production de courants vagabonds, pouvant créer le danger de corrosions électrolytiques pour les installations étrangères. D'une part, le danger de corrosion peut apparaître à proximité des câbles protégés; d'autre part, il y a possibilité que le courant passe au voisinage d'anodes, les parties plus éloignées devenant des zones de sortie et étant ainsi exposées au danger de corrosion. C'est pourquoi il est important de poser l'anode à quelque distance (au minimum à environ 50 mètres pour un courant de polarisation de 1 ampère) de conducteurs étrangers souterrains; de même, il faut observer une certaine distance à l'égard des installations protégées. En tout cas, on contrôlera l'influence des lignes protégées sur des lignes voisines non protégées; au besoin, on inclura la ligne étrangère dans la protection ou on l'isolera partiellement. Dans les installations à électrodes de magnésium, les dangers auxquels sont exposées les lignes étrangères sont, en règle générale, insignifiants.

F. Expériences

Nous avons connecté, en été 1952, le premier redresseur pour la protection cathodique d'un câble endommagé par la «corrosion sous l'effet du phénol».

Ce câble rural a été posé en 1932. Au cours des années 1938, 1945 et 1950, on a remplacé chaque fois environ 225 mètres de longueur par suite de la corrosion sous l'effet du phénol; en outre, en 1946 et 1952, on a fait des réparations de moindre importance sur des tronçons corrodés. Au moment de l'enclenchement du courant de protection, le câble était dans un état tel qu'il semblait être indiqué de remplacer une nouvelle longueur de fabrication; malgré cela, on y a renoncé.

Durant les 4½ dernières années, soit depuis que la protection cathodique existe, aucune nouvelle rupture de la gaine ne s'est plus manifestée.

Les autres expériences, bien que de plus courte durée, sont aussi bonnes. Lorsqu'il s'agit de câbles fortement corrodés, les ruptures sont déjà, la plupart du temps, encore remplies de bitume ou de produits de corrosion. C'est pourquoi, après avoir enclenché le courant de protection, on doit encore compter une année à une année et demie avec quelques nouveaux défauts d'isolement.

Weniger geeignet ist er zum Schutz von Anlagen in grösseren Ortschaften. In stark verzweigten Kabelnetzen ist der Aufwand für die Schutzeinrichtung beträchtlich, ausserdem ist es schwierig, eine Gefährdung fremder Anlagen durch die grossen Schutzströme zu verhüten.

Bibliographie

- [1] *Sunde, E. D.* Earth Conduction Effects in Transmission Systems. New York 1949, p. 45.
- [2] *Sunde, E. D.* loc. cit., p. 75.
- [3] *Sautner, K.* Korrosionsschutz durch gegossene Anoden. Z. VDI **96** (1954), 951...954.
- [4] *Pourbaix, M.* Corrosion, passivité et passivation au point de vue thermodynamique. Journée des états de surface. Paris, octobre 1948. Edition de l'office professionnel de la transformation des métaux.
- [5] *Shreir, L. L.* Corrosion Technology **1** (1954), 63...65 and 103...106.

Etude de la liaison Monte Generoso-Monte Ceneri

Par *F. Grandchamp*, Berne

621.396.43.029.6

Le plan de Stockholm 1952 accorde à la Suisse trois fréquences pour des émetteurs de télévision situés au Tessin, à savoir pour les trois régions suivantes:

- pour le Sopra-Ceneri (région de Bellinzona et de Locarno)
- pour le Sotto-Ceneri (région de Lugano) et
- pour le Mendrisiotto (région de Mendrisio et de Chiasso).

Par son message du 8 mars 1955, le Conseil fédéral demandait aux Chambres fédérales d'accorder le crédit nécessaire à la construction de deux émetteurs au Tessin et à l'établissement des liaisons à faisceaux dirigés destinées à les relier au réseau suisse, crédit qui fut accordé en juin 1955. Les stations projetées seront situées l'une au San Salvatore et l'autre au Monte Ceneri. Ce choix s'impose si l'on songe que, d'une part, le San Salvatore domine Lugano et que, d'autre part, des tours de l'émetteur du Monte Ceneri on voit très bien Locarno et Bellinzona. Cette dernière station étant occupée en permanence par du personnel de l'administration, nous sommes en mesure de lui faire assurer le service des installations de télévision.

Si la liaison du Monte Generoso au San Salvatore ne pose pas de problème, il n'en est pas de même de celle du Monte Generoso au Monte Ceneri. Nous n'avons pas de visibilité directe entre ces deux stations. En revanche, cette visibilité existe entre le sommet de la tour ouest et le Generoso, comme on peut le constater à l'examen de la coupe de terrain, figure 1. Plusieurs solutions ont été proposées, à savoir:

Les frais de la protection cathodique dépendent naturellement des circonstances. On peut compter à peu près 250 à 500 fr./km de frais d'établissement pour des installations équipées d'anodes de magnésium ou de redresseurs. Les frais de courant des installations alimentées par le secteur sont modiques, environ 5 francs par km et par année. Un ampère permet de protéger plusieurs kilomètres de câble; la zone de protection d'une anode de magnésium est, en général, comprise entre 400 et 1000 mètres de longueur de câble. La protection cathodique d'un câble ne représente qu'un minime pour-cent de la valeur d'établissement et est, par conséquent, à même de sauver les tronçons de câble corrodés. Elle convient moins bien pour la protection d'installations dans de grandes localités. Dans les réseaux de câbles très ramifiés, les frais du dispositif de protection sont considérables; en outre, il est difficile d'empêcher que les grands courants de protection mettent en danger les installations étrangères.

Studio del collegamento televisivo Monte Generoso-Monte Ceneri

Di *F. Grandchamp*, Berna

Il piano di Stoccolma del 1952 accorda alla Svizzera tre frequenze per trasmettitori di televisione situati nel Ticino e più precisamente nel Sopraceneri (regione di Bellinzona e Locarno), nel Sottoceneri (regione di Lugano) e nel Mendrisiotto (regione di Mendrisio e Chiasso).

Nel suo messaggio dell' 8 marzo 1955, il Consiglio Federale domandava alle Camere di concedere il credito necessario alla costruzione di due trasmettenti e all'attivazione dei collegamenti su microonda per l'allacciamento alla rete svizzera, credito che fu poi accordato in giugno 1955. E' stato progettato di costruire una stazione sul San Salvatore e una altra sul Monte Ceneri. La scelta di questi due luoghi è soprattutto motivata dalla loro posizione favorevole: il San Salvatore domina Lugano e dalle torri della stazione radiotrasmittente del Monte Ceneri esiste un'ottima visibilità con Bellinzona e Locarno; inoltre quest'ultima stazione è occupata in permanenza da personale tecnico dell'amministrazione, al quale potremo far assicurare anche il servizio delle installazioni televisive.

Il collegamento fra il Monte Generoso e il San Salvatore non presenta difficoltà alcuna, contrariamente a quello tra il Monte Generoso e il Monte Ceneri per i quali non esiste visibilità diretta. Questa esiste invece tra il culmine della torre ovest e il Generoso, come si rileva esaminando il profilo rappresentato dalla figura 1. Diverse soluzioni sono state proposte:

1. Stabilire il collegamento diretto fra le due stazioni, considerando una certa curvatura del fascio hertziano;