

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: 50 (1972)

Heft: 10

Artikel: Probleme der Bleikabelkorrosion. 16. Mitteilung, das Verhalten von Kabeln mit Mänteln aus verschiedenen Bleiqualitäten und Aluminium gegenüber Gleich- und Wechselstrombeeinflussungen = Problèmes de la corrosion des câbles sous plomb. 16e communication, ...

Autor: Vögtli, Kurt

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-874677>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 07.02.2026

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

Problèmes de la corrosion des câbles sous plomb (16^e communication)

Comportement des câbles à gaine de plomb de différentes qualités ou à gaine d'aluminium soumis à l'influence de courants continus ou alternatifs

Kurt VÖGTLI, Bern

620.193.7:621.315.221.5
620.193.7:621.315.221.7:669.71
621.315.221:620.193

Zusammenfassung. Korrosionsversuche mit Gleich- und Wechselstrombelastung haben ergeben, dass vor allem Kabel mit Aluminiummänteln gefährdet sind. Bei den Bleimantelkabeln erwies sich das Antimonblei empfindlicher als andere Bleiqualitäten.

Résumé. Des essais de corrosion avec charges continues et alternatives ont montré que ce sont les câbles à gaine d'aluminium qui sont le plus exposés. Pour les câbles à gaine de plomb, le plomb combiné à l'antimoine est plus sensible que les autres qualités d'alliage.

Problemi della corrosione delle guaine di piombo (16^a comunicazione)

Il comportamento delle guaine di piombo di qualità diverse e di alluminio sottoposte all'influenza di correnti continue e alternate

Riassunto. Prove di corrosione con correnti elettriche continue e alternante hanno rivelato che i cavi particolarmente minacciati a questo proposito sono quelli con guaine d'alluminio. Tra le guaine di varie qualità di piombo, le più sensibili si rivelarono quelle costituite da piombo antimoniale.

1. Einleitung

Untersucht man Korrosionsschäden bei Bleimantelkabeln, so ist das Blei oft entlang den Korngrenzen besonders stark angegriffen. In andern Fällen findet man steilwandige, teilweise unterschrittene Korrosionskrater mit mehr oder weniger gleichmässig aufgerauhten Wänden. Die Korngrenzen des Bleigefüges sind dann unter Umständen gar nicht erkennbar, weil sie sich während des Korrosionsvorgangs offenbar nicht anders verhielten als die inneren Teile der Bleikristallite. Derart glattrandige Kraterformen entstehen bei Kabeln, die von Streuströmen einer Gleichstrombahn beeinflusst werden. Kraterähnliche Anfressungen gelten daher als typisch für die sogenannte Fremdstromelektrolyse. Es wäre nun aber falsch zu folgern, dass eine interkristalline Korrosion, das heisst eine mit verstärkter Korngrenzenkorrosion, in keinem Fall eine Fremdstromelektrolyse als Korrosionsursache haben könnte. Man kann nämlich interkristalline Korrosionen nicht nur erzeugen, indem man Blei mit gewissen, aggressiven Lösungen zusammenbringt [1], sondern, wie die *Figur 1* zeigt, auch durch reine Potentialbeeinflussung. Interkristalline Korrosionen beweisen daher in keiner Weise die Abwesenheit von Potentialverschiebungen und Streustromeinflüssen. Will man aber untersuchen, ob verschiedene, zur Kabelummantelung gebräuchliche Bleilegierungen gegenüber Streustromeinflüssen (Gleich- und Wechselstrom) unterschiedlich korrosionsanfällig sind, so bilden die interkristallinen Korrosionsformen einen unangenehmen Unsicherheitsfaktor. Ob ein interkristalliner Korrosionsangriff rasch an Tiefe gewinnt, hängt nämlich sehr stark von der Korngrösse ab.

In einer früheren Veröffentlichung [2] wurde begründet, weshalb weder Gewichtsverluste noch mittlere Abtragungen als Mass für die Korrosionsstärke geeignet sind. Den Praktiker interessiert vielmehr die maximale Eindringtiefe der am weitesten fortgeschrittenen Anfressungen. Sind bei einer Korrosion nun aber interkristalline Spalten vorhanden, so kann es schwierig werden, ihre Eindringtiefe genau zu bestimmen. Zudem wurde ebenfalls schon darauf hingewiesen [3], dass am Grunde derartiger Spalten ein

1. Introduction

En examinant les dégâts provoqués par la corrosion sur les câbles à gaine de plomb, on remarque que le plomb est souvent très fortement attaqué le long des arêtes cristallines. Dans d'autres cas, on rencontre des cratères de corrosion écrénés, aux parois raides et plus ou moins régulièrement

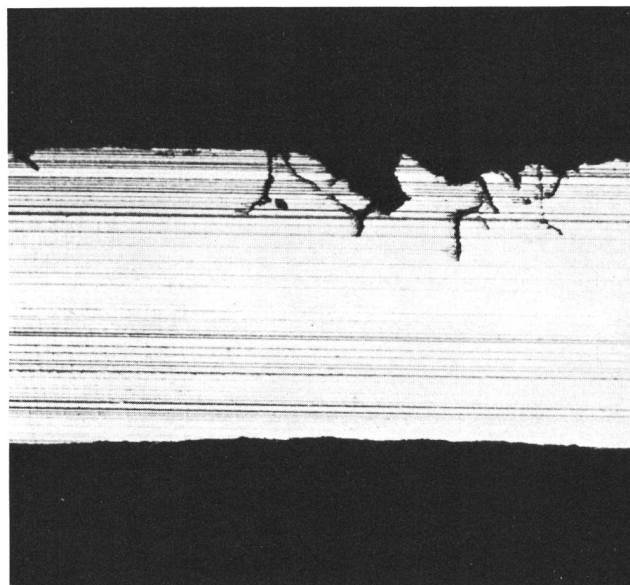


Fig. 1

Querschnitt durch einen grobkristallinen, 2 mm dicken Reinbleimantel eines Kabels vom alten B-Typ, bei dem der Korrosionsschutz aus 2 Bitumengüssen, 3 bitumenimprägnierten Papieren und einer Lage bitumenimprägnierter Jute bestand. Das Kabel war während 2 Monaten mit 2 V = anodisch belastet. Elektrolyt: destilliertes Wasser. Man beachte die starke, interkristalline Korrosion.

Coupe à travers la gaine de plomb pur, grossièrement cristalline, de 2 mm d'épaisseur, d'un câble d'ancien type B, pour lequel la protection contre la corrosion était constituée de 2 couches de bitume, 3 couches de papier imprégné de bitume et une couche de jute imprégné de bitume.

Le câble a été chargé anodiquement pendant 2 mois par 2 V = Electrolyte: eau distillée. On remarque la forte corrosion inter-cristalline.

von der Metalloberfläche ausgehendes elektrisches Feld unwirksam ist. Das heisst aber, dass interkristalline Korrosionen wohl durch äussere Potentialeinflüsse ausgelöst werden können, ihr Vordringen in das Bleigefüge aber durch sekundäre Prozesse bestimmt wird, deren Mechanismen wir im einzelnen nicht kennen. Zudem wird der Korrosionsfortschritt, ausgedrückt in Millimetern durchdrungener Bleiwandung, stark von der Korngrösse abhängen. Bei einem feinkörnigen Bleigefüge wird die Korrosion einem Zickzackweg folgen müssen, während bei einem grobkörnigen Blei die Spalten mehr oder weniger gestreckt eine Bleiwandung durchstossen können. Wir haben daher für diese Versuche auch beim Reinblei einen Mantel mit einem ähnlich feinen Korngefüge gewählt, wie es bei legierten Mänteln erhalten wird. Dadurch konnte die interkristalline Korrosionskomponente weitgehend unterdrückt werden, und die Korrosionsformen stimmten beim Reinbleimantel mit denen der legierten Mäntel überein. Die maximale Eindringtiefe wurde allerdings durch diese Massnahme auf etwa die Hälfte des Wertes reduziert, der bei einem grobkörnigen Reinbleimantel zu erwarten wäre.

2. Untersuchte Kabeltypen

Folgende Bleiarten wurden untersucht:

- Reinblei
- Antimonblei
- Tellurblei und
- Blei vom Typ $\frac{1}{2}$ C (Cd-Sn legiert).

Der Gehalt an Legierungszusätzen und Fremdmetallen ist aus *Tabelle 1* ersichtlich.

Neben der Bleizusammensetzung und der Korngrösse beeinflussen noch weitere Faktoren den Korrosionsverlauf massgeblich. So wurde bereits früher [4] auf die Bedeutung von Schichten hingewiesen, welche die Diffusion hemmen. Je nachdem der äussere Korrosionsschutz eines Kabels aufgebaut ist, wird der Stoffaustausch zwischen der Bleioberfläche und dem Elektrolyten mehr oder weniger stark gehemmt. Derartige Unterschiede werden sich auch im Korrosionsverhalten zeigen. Wichtig ist unter Umständen auch der Einfluss korrosionshemmender Teerstoffe [5]. Will man mit einer kleinen Zahl von Versuchen, das heisst auf nichtstatistischer Basis, den Einfluss von Legierungszusätzen zum Blei auf das Korrosionsverhalten untersuchen, ist man deshalb gezwungen, die verschiedenen Kabelproben möglichst gleich aufzubauen, damit als einzige Variable die Bleiart übrigbleibt.

Die *Kabelwerke Brugg* übernahmen in verdankenswerter Weise die Herstellung des nötigen Kabelmaterials. Ein dünnes Ader-Bündel ($5 \times 4 \times 0,6$) wurde mit verschiedenen Bleiarten umpresst und dann auf derselben Maschine und

rugueuses. Les arêtes cristallines de la structure métallique ne sont alors, dans certaines conditions, plus reconnaissables, parce que s'étant manifestement comportées durant le processus d'attaque comme les parties intérieures de la cristallite de plomb. De telles formes de cratères à bords lisses apparaissent dans les câbles qui ont été soumis à l'influence de courants vagabonds dus aux installations de chemins de fer à courant continu. Les attaques prenant l'allure d'un cratère sont de ce fait considérées comme la conséquence typique d'une électrolyse par courants parasites. Il serait cependant erroné de déduire qu'une corrosion intercrystalline, c'est-à-dire présentant des dégâts importants au niveau des arêtes cristallines, ne pourrait avoir en aucun cas pour cause une électrolyse par courants parasites. On peut en effet provoquer des corrosions intercrystallines, non seulement en mettant le plomb en contact avec certaines solutions agressives [1], mais encore, comme l'illustre la *figure 1*, par la seule influence d'un potentiel. Les corrosions intercrystallines ne prouvent donc en aucune façon l'absence de décalages de potentiel ou d'influences de courants vagabonds. Lorsque l'on veut cependant examiner si les différents alliages de plomb utilisés à la fabrication des gaines de câbles sont plus ou moins sujets à la corrosion sous l'influence de courants vagabonds (continus ou alternatifs), les formes de corrosions intercrystallines représentent un facteur d'insécurité fâcheux dans l'appréciation des résultats. La vitesse de pénétration d'une attaque par corrosion intercrystalline dépend en effet très fortement de la dimension des cristaux.

Dans une publication précédente [2], nous avons démontré pourquoi ni les pertes de poids, ni la valeur moyenne des transferts de matériel ne pouvaient être prises en considération en tant que grandeurs caractérisant l'importance de la corrosion. Le praticien s'intéresse beaucoup plus à la profondeur de pénétration de l'attaque la plus avancée. Lorsque pour une corrosion donnée, des fissures intercrystallines apparaissent, il peut être difficile d'en déterminer la profondeur de pénétration avec exactitude. De plus, comme déjà indiqué dans [3], un champ électrique partant de la surface métallique n'a pas d'effet sur la cause de telles fissures. Cela revient à dire cependant que des corrosions intercrystallines peuvent être déclenchées par l'influence de potentiels mais que leur pénétration dans la structure métallique est déterminée par des processus secondaires dont nous ne connaissons pas les mécanismes en détail. En outre, la progression de la corrosion, exprimée en millimètres de paroi de plomb percée, dépend fortement de la dimension des cristaux. Dans une structure cristalline fine, la pénétration prendra plutôt la forme d'une ligne brisée, alors que pour une structure plus grossière, le chemin parcouru sera plus direct. C'est pourquoi nous avons choisi pour les essais des gaines de plomb pur de structure

Tabelle I – Tableau I. Legierungszusätze (chemisch bestimmt) und Fremdmetallgehalte (spektrographisch bestimmt) der untersuchten Bleimäntel – Composants de l'alliage (déterminés chimiquement) et teneur en métaux étrangers (déterminés spectrographiquement) des gaines de câble examinées

Metall Métal	Bleiart Genre de plomb Reinblei Plomb pur	Antimonblei Plomb à l'antimoine	Tellurblei Plomb au tellure	Blei ½ C Plomb ½ C
Bi	0,03%	0,01%	0,03%	0,03%
Cd	0,003%	< 0,001%	< 0,001%	0,06%
Sn	< 0,002%	< 0,002%	< 0,002%	0,19%
Sb	< 0,005%	0,64%	< 0,005%	0,02%
Te	< 0,01%	< 0,01%	0,037%	< 0,01%
Cu	0,001%	0,03%	0,01%	0,02%
Ag	< 0,001%	0,001%	< 0,001%	0,002%
As	< 0,01%	< 0,01%	< 0,01%	< 0,01%
Zn	< 0,01%	< 0,01%	< 0,01%	< 0,01%
Ca	< 0,005%	< 0,005%	< 0,005%	< 0,005%
Fe	< 0,002%	< 0,002%	< 0,002%	< 0,002%
Ni	< 0,002%	< 0,002%	< 0,002%	< 0,002%
Co	< 0,002%	< 0,002%	< 0,002%	< 0,002%
Mn	< 0,001%	< 0,001%	< 0,001%	< 0,001%

unter möglichst gleichen Bedingungen mit einem Korrosionsschutz versehen. Dieser war folgendermassen aufgebaut:

- Über dem Blei ein Bitumenguss (50/60)
- 3 geteerte, nicht überlappend gewickelte Kreppapiere
- ein zweiter Bitumenguss (50/60)
- eine Lage geteierter Jute
- ein dritter Bitumenguss (20/30).

Diese Art Korrosionsschutz ist nicht gebräuchlich und ist ein Kompromiss zwischen dem alten B-Typ ohne Teerprodukte und dem neuen B-Typ mit teerimprägnierten Papieren, teerimprägnierter Jute und einer Kunststoffolie. Die dreischichtige Kunststoffverbundfolie (Polyäthylen – Hydratzellulose – Polyäthylen) musste weggelassen werden, weil sonst überhaupt keine Korrosionen zu erwarten gewesen wären (vergl. [2], S. 356). Der Durchmesser der Versuchskabel betrug über dem Blei 12 mm, über dem Korrosionsschutz 17 mm.

Da aus früheren Korrosionsversuchen bereits bekannt war, dass Aluminiummäntel besonders elektrolyseempfindlich und auch durch Wechselströme stark gefährdet sind, wurde auch ein Aluminiummantelkabel in die Versuche einbezogen. Um eine geeignete Kabelprobe zu erhalten, reinigten wir ein Al-Polymentkabel von der üblichen Korrosionsschutzmasse. Den blanken, extrudierten Al-Mantel übergossen wir zunächst mit heissem Bitumen. Dann wurde ein geteertes Krepppapier überlappt aufgewickelt (etwa ¼ Überlappung) und auf diesem eine Lage geteierter Jute mit

cristalline semblable à celle qui est obtenue avec les alliages. Il a été ainsi possible d'éliminer dans une large mesure les effets de la corrosion intercrystalline, et les formes de corrosion pour les gaines de plomb pur correspondaient à celles rencontrées dans les gaines en alliage. Par cette mesure, la profondeur de pénétration a toutefois été réduite à environ la moitié de la valeur que l'on pouvait normalement attendre avec une gaine de plomb pure de structure cristalline plus grossière.

2. Types de câbles examinés

Les types de plomb suivants ont été examinés:

Plomb pur, plomb allié d'antimoine, de tellure et plomb type ½ C (allié de cadmium et d'étain).

La teneur des échantillons en additifs d'alliage et en métaux étrangers est portée dans le *tableau I*.

En plus de la composition du plomb et de la grandeur des cristaux, d'autres facteurs influencent de façon déterminante la progression de la corrosion. Nous avons déjà relevé précédemment [4] l'influence de couches protectrices freinant la diffusion. Les échanges entre la surface de plomb et l'électrolyte sont plus ou moins freinés suivant la constitution des couches anti-corrosion qui entourent le câble. Ces différences se remarqueront également dans le comportement du câble vis-à-vis de la corrosion. Il y a lieu de ne pas négliger, dans certaines conditions, l'influence de matériaux contenant du goudron [5]. Si l'on veut, à l'aide d'un nombre relativement restreint d'essais, c'est-à-dire sur une base non statistique, déterminer l'influence des additifs d'alliage sur le comportement du plomb quant à la corrosion, il est important d'utiliser des échantillons de câble dont la construction soit aussi identique que possible, afin que la seule variable introduite dans l'essai soit bien la composition du plomb ou de ses alliages.

Les câbleries de Brougg ont eu l'amabilité de fabriquer les échantillons nécessaires, ce dont nous les remercions. Un faisceau de conducteurs (5×4×0,6) a été enrobé d'une gaine de plomb de différentes qualités, puis, sur la même machine et dans des conditions aussi identiques que possible, muni d'une protection contre la corrosion. Celle-ci était constituée de la façon suivante:

- une couche de bitume (50/60) directement sur la gaine de plomb,
- une couche de papier crêpe imprégné de goudron, à spires jointives ne se recouvrant pas,
- une seconde couche de bitume (50/60),
- une couche de jute imprégné de goudron et
- une troisième couche de bitume (20/30).

Tabelle II – Tableau II. Versuchsbedingungen und Ergebnisse der Strommessungen – Conditions d'essai et résultats des mesures de courant

	Versuch Nr. Essai No	Zellenspannung (V) Tension de cellule (V)		Ströme (mA) – Courants (mA)			Gleichströme Courants continus		
		Wechsel- spannung Tension alternative	Gleich- spannung Tension continue	nach 24 h Après 24 h	nach 1 Monat Après 1 mois	nach 2 Monaten Après 2 mois	nach 24 h Après 24 h	nach 1 Monat Après 1 mois	nach 2 Monaten Après 2 mois
Reinblei Plomb pur	11	0	2	0	0	0	0,0005	0,01	0,015
	12	0	1	0	0	0	< 0,0005	0,002	0,005
	13	0	0,3	0	0	0	< 0,0005	0,001	0,002
	14	0	0,1	0	0	0	< 0,0005	0,0005	0,001
	15	4	1	0,01	0,04	0,05	< 0,0005	0,006	0,01
	16	4	0,3	0,02	0,06	0,07	< 0,0005	0,001	0,002
	17	4	0,1	0,01	0,06	0,10	< 0,0005	0,0005	0,001
	18	4	0	0,02	0,15	0,15	0	0	0
Antimonblei Plomb à l'antimoine	21	0	2	0	0	0	0,007	0,02	0,015
	22	0	1	0	0	0	0,001	0,01	0,008
	23	0	0,3	0	0	0	0,02	0,015	0,015
	24	0	0,1	0	0	0	0,0005	0,002	0,002
	25	4	1	0,08	0,18	0,15	0,015	0,03	0,03
	26	4	0,3	0,07	0,14	0,12	0,003	0,005	0,005
	27	4	0,1	0,06	0,08	0,08	0,001	0,001	0,001
	28	4	0	0,12	0,35	0,30	0	0	0
Tellurblei Plomb au tellure	31	0	2	0	0	0	< 0,0005	< 0,0005	0,01
	32	0	1	0	0	0	< 0,0005	0,004	0,015
	33	0	0,3	0	0	0	< 0,0005	< 0,0005	0,004
	34	0	0,1	0	0	0	< 0,0005	< 0,0005	0,001
	35	4	1	< 0,005	0,02	0,06	< 0,0005	0,0005	0,01
	36	4	0,3	< 0,005	0,02	0,05	< 0,0005	< 0,0005	0,001
	37	4	0,1	< 0,005	0,08	0,12	< 0,0005	< 0,0005	0,001
	38	4	0	< 0,005	0,07	0,13	0	0	0
Blei: ½ C Plomb ½ C	41	0	2	0	0	0	0,005	0,02	0,015
	42	0	1	0	0	0	< 0,0005	0,001	0,003
	43	0	0,3	0	0	0	< 0,0005	0,0005	0,002
	44	0	0,1	0	0	0	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
	45	4	1	< 0,005	0,008	0,03	< 0,0005	0,001	0,005
	46	4	0,3	0,005	0,06	0,07	< 0,0005	0,002	0,003
	47	4	0,1	0,005	0,21	0,14	< 0,0005	0,001	0,002
	48	4	0	0,01	0,15	0,16	0	0	0
Aluminium	51	0	2	0	0	0	0,18	0,72	0,65
	52	0	1	0	0	0	0,04	0,24	0,23
	53	0	0,3	0	0	0	0,001	0,015	0,03
	54	0	0,1	0	0	0	0,0005	0,01	0,025
	55	4	1	0,35	1,4	1,6	0,08	0,26	0,27
	56	4	0,3	0,12	0,36	0,44	< 0,0005	0,002	0,001
	57	4	0,1	0,32	1,4	1,6	0,005	0,01	0,005
	58	4	0	0,28	0,90	1,5	0	0	0

Bitumen aufgeklebt. Der im Vergleich zu den maschinell hergestellten Kabeln wesentlich kleinere Übergangswiderstand (vergl. Tab. II) beweist, dass unsere improvisierte Handanfertigung viel mehr Poren aufwies als die vom Kabelwerk Brugg fabrizierten Schutzhüllen. Der Durchmesser des Aluminiumkabels betrug über dem blanken Rohr 22 mm, über dem Korrosionsschutz 27 mm.

Ce genre de protection contre la corrosion n'est pas utilisé habituellement. Il représente toutefois un compromis entre l'ancienne protection type B, sans produits goudronnés, et la nouvelle, type B également, avec couches de papier et de jute imprégnées de goudron et une bande de matière synthétique. La bande extérieure de matière synthétique (formée de trois couches polyéthylène – hydrate de

3. Versuchsbedingungen

Die Versuche wurden gleich ausgeführt wie jene, die in einer früheren Veröffentlichung [2] beschrieben sind. Für Einzelheiten kann daher auf die dortigen Ausführungen verwiesen werden. Hier sei nur nochmals kurz erwähnt, dass etwa 80 cm lange Kabelstücke in grosse Gefässe mit Wasser aus dem Trinkwassernetz von Bern eingetaucht wurden. Die Kabelabschnitte wurden dann gegen Gegen Elektroden mit ähnlichen Abmessungen, aber mit blanken Oberflächen mit Gleich- und Wechselspannungen belastet. Zwischen den Kabelmänteln und den Reinbleigegen Elektroden wurden folgende Spannungen eingestellt (vergl. Tab. II):

Gleichspannungen: 2, 1, 0,3, 0,1 V,

Wechselspannung (16 $\frac{2}{3}$ Hz) stets 4 V_{eff}

und dazu folgende Gleichspannungen: 1, 0,3, 0,1 und 0,0 V.

Beim letzten Versuch (0,0 V Gleichspannung) wurde das Kabel also nur mit Wechselstrom belastet. Die Versuchsdauer betrug 2 Monate.

Neben den Gleich- und Wechselspannungen, die zunächst täglich und später in grösseren Abständen, aber stets so, dass die Abweichungen vom Sollwert nie mehr als 10% betrugen, nachreguliert wurden, verfolgten wir auch den zeitlichen Verlauf der Gleich- und Wechselströme. Einige typische Messergebnisse sind in Tabelle II zusammengestellt. Aus ihnen ist ersichtlich, dass es einigermaßen gelungen ist, den Übergangswiderstand der Kabelschutzhüllen bei den verschiedenen Kabeltypen gleich zu machen. Eine Ausnahme bildet das selbst verfertigte Aluminiummantelkabel, dessen Übergangswiderstand um eine Grössenordnung kleiner ausfiel.

Da wir als Mass für die Korrosionsstärke nicht den Gewichtsverlust, sondern die maximale Eindringtiefe der Anfressungen benützen, fällt der Unterschied in der Isolationsgüte nicht so stark ins Gewicht.

4. Ergebnisse

Nach zwei Monaten wurden die Kabelproben aus dem Versuch genommen, sorgfältig gereinigt und auf Korrosionen untersucht. Wie nicht anders zu erwarten war, und in Übereinstimmung mit den praktischen Erfahrungen, war selbst bei den am stärksten belasteten Proben nur ein ganz kleiner Teil der Bleimanteloberfläche korrodiert. Manchmal blieb der Korrosionsangriff sogar auf einige wenige Poren beschränkt. Dann betrug die angegriffene Fläche weniger als 10 mm², obwohl etwa 30 000 mm² denselben Korrosionsbedingungen ausgesetzt waren. Man sieht daraus erneut, wie fragwürdig Angaben werden, wenn als Mass der Korrosionsstärke Gewichtsverluste oder mittlere Abtragwerte benützt werden. Versucht man dagegen die maximale Ein-

cellulose – polyéthylène) a dû être laissée de côté, faute de quoi il n'eût pas fallu s'attendre à des corrosions (voir [2], p. 355). Le diamètre de l'échantillon de câble était de 12 mm sur la gaine de plomb, et de 17 mm sur la protection anti-corrosion.

Etant donné qu'à la suite d'essais précédents, il était connu que les gaines d'aluminium sont particulièrement sensibles aux effets d'électrolyse et menacées par les courants alternatifs, nous avons également effectué des essais avec un câble à gaine d'aluminium. Afin d'obtenir un échantillon de câble convenable, nous avons débarrassé de sa couche anti-corrosion un câble à gaine d'aluminium. La gaine nue ainsi obtenue a tout d'abord été recouverte de bitume chaud sur laquelle fut placée une bande de papier crêpe imprégné de goudron, dont les spires se chevauchaient sur environ un tiers de la largeur. Le tout fut ensuite enrobé de jute goudronné, collé au bitume. La résistance de passage de cet échantillon, notablement inférieure à celle des échantillons fabriqués à la machine (*tableau II*), démontre que la gaine de protection improvisée était sensiblement plus poreuse que celles réalisées mécaniquement par les câbleries de Brougg. Le diamètre du câble était de 22 mm sur la gaine du câble et de 27 mm sur la protection.

3. Conditions d'essai

Les essais furent réalisés comme décrit dans [2]. Pour de plus amples détails, on pourra se reporter à cette publication. Relevons simplement que les échantillons de câble, de 80 cm de longueur environ, ont été plongés dans de l'eau du réseau de distribution en eau potable de la ville de Berne. Les contre-électrodes, aux mêmes dimensions, étaient de plomb pur. Les essais étaient faits aux tensions suivantes (*tableau II*):

Tensions continues: 2, 1, 0,3, 0,1 V.

Tension alternative (16 $\frac{2}{3}$ Hz): dans tous les cas 4 V_{eff}, avec superposition des tensions continues 1, 0,3, 0,1 et 0,0 V.

Dans le dernier essai (tension continue 0,0 V), le câble était donc soumis uniquement à l'effet d'un courant alternatif. La durée de mise sous charge était de deux mois.

Les tensions continues et alternatives furent, au début de l'expérience, ajustées journalièrement, par la suite à des intervalles plus espacés, de façon que les écarts par rapport aux valeurs de consigne n'excèdent pas 10%. La variation dans le temps des courants continus et alternatifs fut également surveillée. Quelques résultats typiques sont reportés dans le *tableau II*. Ils permettent de se rendre compte qu'il a été possible d'obtenir pratiquement des valeurs de

dringtiefe festzustellen, so erhält man zwar Ergebnisse, die viel mehr aussagen, aber der Aufwand wird entsprechend grösser. Zunächst sind die Korrosionsstellen zu lokalisieren. Auf einem genügend stabilen Mikrotom müssen anschliessend Querschnitte durch die Anfressungen hergestellt werden. Dabei ist immer wieder die Eindringtiefe mit Hilfe eines Metallmikroskops zu kontrollieren, damit man die maximale Tiefe feststellen kann. Macht man nämlich nur einen Querschnitt, so ist die Wahrscheinlichkeit sehr klein, dass die gewählte Schnittebene gerade die am weitesten ins Bleigefüge eingedrungene Korrosionsstelle freigelegt hat.

Die Ergebnisse der mikroskopischen Ausmessung der in den Versuchen aufgetretenen Korrosionen sind in der *Tabelle III* zusammengestellt. Die Figuren 2...7 zeigen zudem einige typische Korrosionsformen.

Besonders bemerkenswert ist die starke Korrosion beim Aluminium. Auch ohne Gleichspannungskomponente wurde das Aluminiummantelkabel vom Wechselstrom stark angegriffen (*Fig. 2 und 3*). Dieses Ergebnis stimmt mit den in einer früheren Veröffentlichung [4] gemachten Feststellungen überein und beweist, dass Aluminiummäntel durch vagabundierende Wechselströme auch in der Praxis gefährdet sind.

Ausser dem Aluminium wurde unter den gewählten Versuchsbedingungen nur noch das Kabel mit einem antimonlegierten Bleimantel durch Wechselstrom ($4 V_{eff}$, $16\frac{2}{3}$ Hz) allein merklich angegriffen (*Fig. 5 und 6*). Die Eindringtiefe war aber deutlich geringer als beim gleichzeitig durchgeführten Versuch mit + 0,1 V Gleichspannung ohne Wechselspannung (*Fig. 7*). Offenbar ist Antimonblei ein beson-

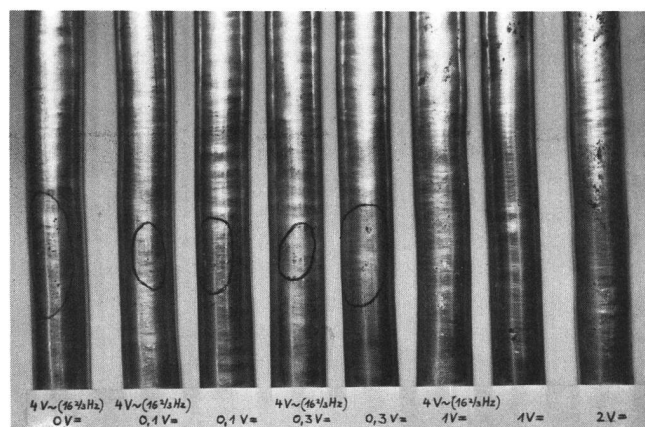


Fig. 2

Korrodierte Aluminiumkabelmäntel

Versuchsdauer: 2 Monate

Elektrolyt: Berner Trinkwasser

Gaines de câble en aluminium corrodées

Durée de l'essai: 2 mois

Electrolyte: eau potable de la ville de Berne

résistance de passage identiques pour les protections anti-corrosion des différents types de câbles. Le câble à gaine d'aluminium, dont la protection a été réalisée par des moyens artisanaux, fait naturellement exception. Sa résistance de passage est inférieure d'un ordre de grandeur à celle des autres échantillons.

Tabelle III – Tableau III. Versuchsbedingungen und maximale Eindringtiefe der erzeugten Korrosionen – Conditions d'essais et profondeurs de pénétration maximum des corrosions provoquées

	Versuch Nr. Essai No	Zellenspannung (V) Tension de cellule (V)		maximale Ein- dringtiefe (mm) Profondeur de pénétration maximum (mm)
		Wechsel- spannung Tension alternative	Gleich- spannung Tension continue	
Reinblei	11	0	2	0,3
Plomb pur	12	0	1	0,35
	13	0	0,3	0,1
	14	0	0,1	0,0
	15	4	1	0,15
	16	4	0,3	0,1
	17	4	0,1	0,0
	18	4	0	0,0
Antimonblei	21	0	2	0,3
Plomb à l'antimoine	22	0	1	0,4
	23	0	0,3	0,2
	24	0	0,1	0,15
	25	4	1	0,2
	26	4	0,3	0,25
	27	4	0,1	0,15
	28	4	0	0,05
Tellurblei	31	0	2	0,15
Plomb au tellure	32	0	1	0,25
	33	0	0,3	0,1
	34	0	0,1	0,1
	35	4	1	0,1
	36	4	0,3	0,0
	37	4	0,1	0,1
	38	4	0	0,0
Blei ½ C	41	0	2	0,5
Plomb ½ C	42	0	1	0,15
	43	0	0,3	0,15
	44	0	0,1	0,0
	45	4	1	0,15
	46	4	0,3	0,3
	47	4	0,1	0,05
	48	4	0	0,0
Aluminium	51	0	2	0,55
	52	0	1	0,5
	53	0	0,3	0,3
	54	0	0,1	0,2
	55	4	1	0,4
	56	4	0,3	0,25
	57	4	0,1	0,35
	58	4	0	0,35

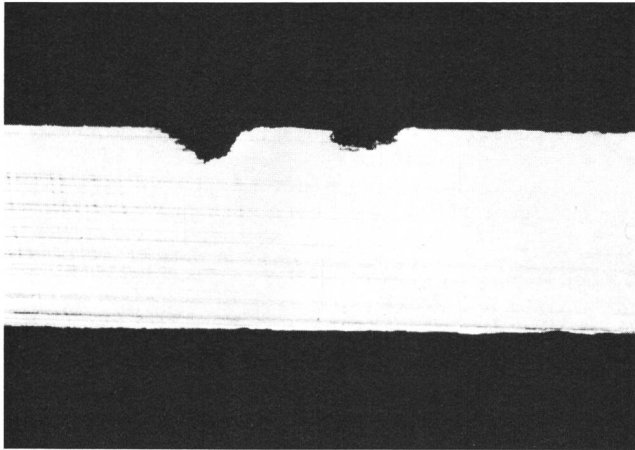


Fig. 3
Querschnitt durch den 1,2 mm dicken Al-Mantel des nur mit Wechselstrom ($4 V_{eff}$, $16 \frac{2}{3}$ Hz) belasteten Al-Kabels
Versuchsdauer: 2 Monate
Elektrolyt: Berner Trinkwasser
Coupe à travers la gaine d'aluminium de 1,2 mm d'épaisseur du câble chargé uniquement avec du courant alternatif ($4 V_{eff}$, $16 \frac{2}{3}$ Hz)
Durée de l'essai: 2 mois
Electrolyte: eau potable de la ville de Berne

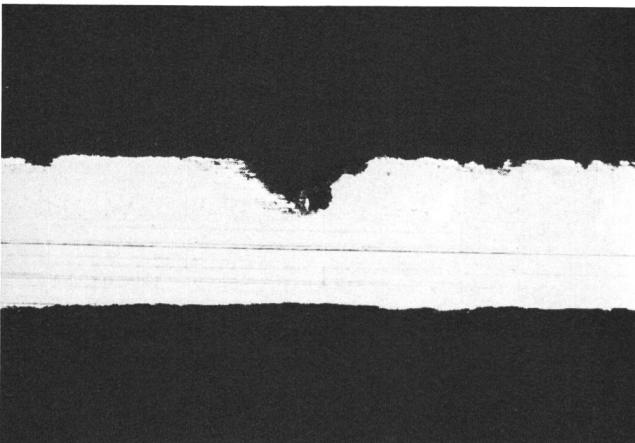


Fig. 4
Querschnitt durch den 1,2 mm dicken Al-Mantel des mit $2 V=$ anodisch belasteten Al-Kabels (keine Wechselstrombelastung)
Die Korrosionsform ist der von Figur 3 sehr ähnlich. Gleichstrom- und Wechselstromkorrosion lassen sich in diesem Fall nach dem Aussehen der Korrosionen nicht unterscheiden
Coupe à travers la gaine d'aluminium de 1,2 mm d'épaisseur du câble chargé anodiquement par $2 V=$ (pas de charge alternative)
La forme de la corrosion est très semblable à celle de la figure 3. Les corrosions dues au courant alternatif ou continu ne se distinguent pas l'une de l'autre, dans ce cas, sur leur simple aspect

Cependant, comme nous ne considérons pas la perte de poids mais la profondeur des attaques comme grandeur caractérisant l'importance de la corrosion, les différences dans la qualité de l'isolation ne jouent pas un rôle trop important.

4. Résultats

Au bout de deux mois, les câbles furent extraits des bacs, soigneusement nettoyés puis examinés quant à la présence de corrosions. Comme il fallait s'y attendre, et en accord avec les expériences pratiques, seule une petite partie de la surface des gaines de plomb était corrodée, même pour les câbles les plus fortement chargés. Dans certains cas, l'attaque était limitée à quelques pores, ou alors la surface corrodée était inférieure à 10 mm^2 , bien que la surface totale soumise aux mêmes conditions de corrosion ait été de $30\,000 \text{ mm}^2$ environ. On se rend compte, une fois de plus, combien aléatoires peuvent être certaines indications, lorsque l'importance de la corrosion est définie sur la base de critères faisant intervenir la perte de poids ou le transfert moyen de matériel. Si l'on tente, par contre, de déterminer la profondeur de pénétration maximum, on obtiendra des résultats beaucoup plus parlants, mais les moyens à mettre en œuvre sont plus importants. En premier lieu, il est nécessaire de localiser les zones présentant des corrosions. Puis, avec un microtome suffisamment stable, il faut procéder à des coupes dans les attaques. Pour ce faire, il faudra s'aider en permanence d'un microscope pour examens métallographiques, dans le but de vérifier la profondeur des attaques. En effet, si l'on se contente de faire une seule coupe, la probabilité d'avoir choisi d'emblée le plan où la pénétration est la plus profonde est faible.

Les résultats des mesures microscopiques pour les corrosions apparues pendant les essais, sont reportés dans le *tableau III*. Les figures 2...7 illustrent quelques formes caractéristiques de corrosions.

La corrosion importante de l'aluminium est particulièrement intéressante. Même dans l'essai sans tension continue superposée, l'aluminium a été fortement attaqué (*fig. 2 et 3*). Ce résultat concorde du reste avec les constatations faites dans une publication précédente [4], et démontrent que les gaines d'aluminium sont exposées aux corrosions par courants alternatifs, en pratique également. En plus de l'aluminium, seul le câble à gaine de plomb allié d'antimoine fut, sous les conditions d'essai choisies, attaqué de façon remarquable par le courant alternatif ($4 V_{eff}$, $16 \frac{2}{3}$ Hz) comme l'illustrent les *figures 5 et 6*. La profondeur de pénétration était cependant nettement plus faible que

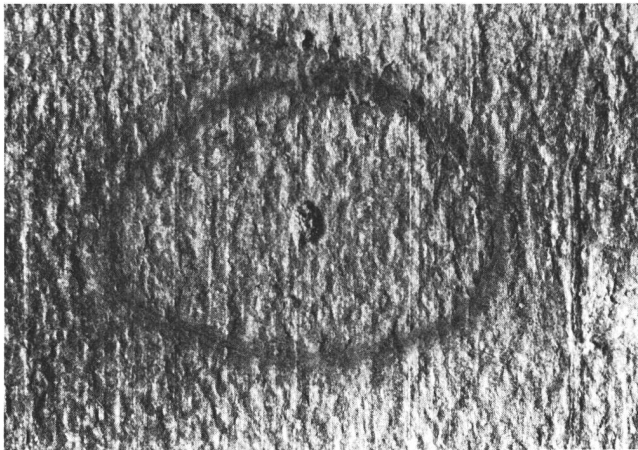


Fig. 5

Oberfläche des antimonlegierten Bleimantels, der nur mit Wechselstrom belastet wurde ($4 V_{eff}$, $16 \frac{2}{3}$ Hz)
Versuchsdauer: 2 Monate
Elektrolyt: Berner Trinkwasser
Es entstanden kleine Anfressungen deren Eindringtiefe überall unter 0,1 mm blieb
Vergrößerung: $20\times$

Surface de la gaine de plomb allié d'antimoine, soumise uniquement à l'influence de courant alternatif ($4 V_{eff}$, $16 \frac{2}{3}$ Hz)
Durée de l'essai: 2 mois
Electrolyte: eau potable de la ville de Berne
Seules de petites attaques ont été provoquées, dont la profondeur était partout inférieure à 0,1 mm
Agrandissement: $20\times$

ders empfindliches Material, während die übrigen Bleiquitäten annähernd gleich reagierten. Ein quantitativer Vergleich ist indessen bei der geringen Anzahl von Versuchen und der trotz allem grossen Streuung bei den maximalen Eindringtiefen nicht möglich. Dazu müssten weitere Versuche mit längeren Einwirkzeiten durchgeführt werden.

Es hat sich nun aber gezeigt, dass die besondere Elektrolysenempfindlichkeit des antimonlegierten Bleis leichter an speziellen Proben als mit Hilfe von Kabelabschnitten untersucht werden kann. Dabei werden Bleiprobe in derselben Art verwendet, wie sie mit Aluminium in der Veröffentlichung [4] beschrieben wurden. Die Proben werden zum Teil blank, zum Teil mit Filterpapier umwickelt in gewöhnliches Trinkwasser getaucht und mit Wechselstrom belastet. Über die Ergebnisse dieser Versuche wird in einer weiteren Publikation berichtet.

Es ist aber zu betonen, dass auch Antimonblei viel weniger wechselstromempfindlich ist als Aluminium und dass daher unter normalen Bedingungen auch diese Bleilegierung im praktischen Einsatz durch vagabundierende Wechselströme nicht gefährdet ist.

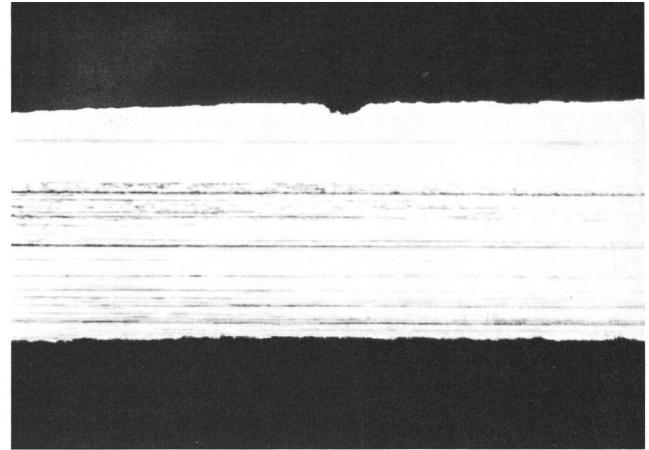


Fig. 6

Querschnitt durch eine der in Figur 5 abgebildeten Korrosionsstellen
Dicke des Bleimantels: 1,35 mm
Coupe à travers l'un des endroits attaqués illustrés par la figure 5
Epaisseur de la gaine: 1,35 mm

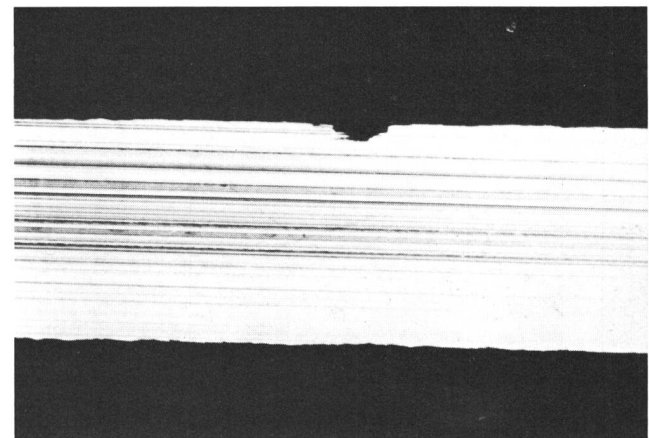


Fig. 7

Querschnitt durch eine Korrosionsstelle des 1,35 mm dicken, antimonlegierten Bleimantels der nur mit 0,1 V= anodisch belastet war (keine Wechselstrombelastung)
Versuchsdauer: 2 Monate
Elektrolyt: Berner Trinkwasser
Man erkennt die praktisch gleichen Korrosionsformen wie bei der Figur 6. Der Angriff ist aber deutlich weiter fortgeschritten, was besagt, dass eine Potentialverschiebung um +0,1 V= auch beim Antimonblei gefährlicher ist als eine Wechselspannungsbeeinflussung mit $4 V_{eff}$

Coupe à travers l'un des endroits corrodés de la gaine de plomb allié d'antimoine, de 1,35 mm d'épaisseur, chargé anodiquement uniquement par 0,1 V= (pas de charge alternative)
Durée de l'essai: 2 mois
Electrolyte: eau potable de la ville de Berne
On reconnaît pratiquement les mêmes formes de corrosion que sur la figure 6. L'attaque est cependant notablement plus avancée, ce qui signifie qu'un décalage de potentiel de +0,1 V= est plus dangereux que l'influence d'une tension alternative de $4 V_{eff}$, même pour le plomb allié d'antimoine

Bibliographie

- [1] **Vögtli K.** Probleme der Bleikabelkorrosion (4. Mitteilung): Die Korrosion von Blei in salpetersaurer Bleiazetatlösung und die «Phenolkorrosion». La corrosion des câbles sous plomb (4^e communication): La corrosion du plomb dans une solution d'acétate de plomb et d'acide nitrique et la «corrosion au phénol». Techn. Mitt. PTT 35 (1957) S. 106 ff.
- [2] **Vögtli K.** Probleme der Bleikabelkorrosion (15. Mitteilung): Wie stark dürfen Bleikabel durch Gleich- und Wechselspannungen beeinflusst werden, bis sie korrodieren? Problèmes de la corrosion des câbles sous plomb (15^e communication): Dans quelle mesure les câbles sous plomb peuvent-ils être soumis à l'influence de tensions continues ou alternatives avant qu'il y ait corrosion? Techn. Mitt. PTT 49 (1971) S. 348 ff.
- [3] **Vögtli K.** Probleme der Bleikabelkorrosion (14. Mitteilung): Potentialverschiebungen und interkristalline Bleikorrosion. Problèmes de la corrosion des câbles sous plomb (14^e communication): Décalage de potentiel et corrosion intercrystalline du plomb. Techn. Mitt. PTT 40 (1962) S. 324 ff.
- [4] **Vögtli K.** Durch Wechselstrom bedingte Korrosionen von Aluminium. Les corrosions de l'aluminium dues aux courants alternatifs. Techn. Mitt. PTT 48 (1970) S. 466 ff.
- [5] **Künzler H. und Vögtli K.** Probleme der Bleikabelkorrosion (9. Mitteilung): Die korrosionshemmende Wirkung von Teeren und anderen Stoffen. Problèmes de la corrosion des câbles sous plomb (9^e communication): L'action anticorrosive des goudrons et autres produits. Techn. Mitt. PTT 37 (1959) S. 81 ff.

pour l'essai, fait en même temps, avec une tension continue de + 0,1 V, sans charge alternative (fig. 7). Il est évident que le plomb allié d'antimoine est un matériel particulièrement sensible, alors que les autres qualités d'alliage ont toutes réagi de façon à peu près analogue. Une comparaison quantitative n'est cependant pas possible, étant donné le nombre restreint des essais effectués et la dispersion, malgré tout relativement importante dans les profondeurs de pénétration. Pour faire cette comparaison il y aurait lieu de réaliser d'autres essais portant sur une période plus longue de mise sous influence des échantillons.

Toutefois, il s'est avéré qu'il est plus facile d'examiner le comportement du plomb allié à l'antimoine, particulièrement sensible aux phénomènes d'électrolyse, en utilisant des échantillons spéciaux plutôt que des tronçons de câble. Les échantillons seront de même nature que ceux en aluminium qui furent utilisés pour les essais décrits dans [4]. En partie nus, en partie enrobés de papier filtre, ils seront plongés dans de l'eau potable et soumis à l'influence de courants alternatifs. Les résultats de ces essais feront l'objet d'une prochaine publication.

Il faut cependant relever que le plomb allié d'antimoine est beaucoup moins sensible aux courants alternatifs que l'aluminium, et que, sous conditions normales, cet alliage n'est pas menacé par la corrosion en cas d'utilisation pratique.

Literatur – Bibliographie – Recensioni

Caccia G. G. La nuova tecnica dei transistori e dei circuiti integrati. Milano, Angeletti Editore, 1971. 264 pagg., numerose fig. Prezzo L. 2400.

Se sono molti i libri in circolazione che trattano dei semiconduttori e delle loro applicazioni, pochi sono quelli che, come quest'ultimo, danno un'idea completa di quanto, dai transistori tradizionali fino ai nuovissimi circuiti integrati, oggi è a disposizione di chi si occupa di elettronica.

Anche se, forzatamente, i vari componenti non sono trattati in modo approfondito vista la notevole quantità, le descrizioni e gli schemi d'applicazione di cui questo libro è ricco, le tabelle e gli esempi riportati alla fine, permettono, a chi lo legge, di farsi un'idea globale di ciò che l'elettronica a

semiconduttori permette oggi giorno di realizzare. Il primo capitolo tratta nella prima parte, la fisica dei semiconduttori e più particolarmente quella dei transistori. Tutti i vari tipi, da quello a punte a quello a giunzione classico, dai mesa ai planar-epitassiali, da quelli di potenza ai FET vengono esaminati mettendo in evidenza le varie caratteristiche e applicazioni possibili. Vengono in seguito analizzati la struttura e l'impiego possibile di diodi, tiristori, triac, foto-diodi, NTC, PTC, VDR, LDR.

La seconda parte del 1° capitolo parla della tecnologia dei circuiti integrati. Vengono trattate la tecnica monolitica, ibrida, a film sottile, ecc. Seguono esempi di applicazioni digitali e analogiche, caratteristiche varie.

Il secondo capitolo è riservato all'impiego dei transistori (esempi pratici), mentre il terzo e il quarto si occupano della

riparazione di apparecchi vari (composizione dei circuiti e ricerca dei guasti).

Interessante appare il quinto capitolo dove si possono trovare parecchi dati pratici e metodi di misura per poter rapidamente conoscere il comportamento dei vari elementi semiconduttori.

Nei susseguenti tre capitoli troviamo ancora moltissimi esempi pratici che contengono in più altri semiconduttori come diodi, diodi zener, varicap e semiconduttori termoelettrici.

L'ultima parte è riservata ai maser e ai laser. Viene indicato brevemente il principio di funzionamento.

Il praticante o il profano che vuole avere un panorama completo dell'elettronica a semiconduttori può senz'altro far capo a questo libro, anche se alcuni schemi riportati come esempio impiegano transistori oggi già superati. F. Gubler