Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 42 (1951)
Heft: 5

Artikel: Fabrication, action régulatrice et emploi des thermistors
Autor: Meyer-Hartwig, E. / Federspiel, H.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1056849

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: 16.12.2025

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

natürlich nicht ständig ansteigen und man kommt damit zu einer periodischen Modulation nach Fig. 20. Auf den ersten Blick scheint diese Methode ideal zu sein. Bei näherem Hinsehen erkennt man aber verschiedene Nachteile: Der Frequenzhub muss für die Messung kleiner Distanzen ausserordentlich gross gemacht werden (Grössenordnung 20 MHz). Hierdurch entsteht eine starke, unerwünschte Amplitudenmodulation, die sehr störend wirkt. Ausserdem entsteht bei der Auszählung der Differenzfrequenz ein sehr merkwürdiger Fehler, der zwar genau berechnet werden kann, aber bei

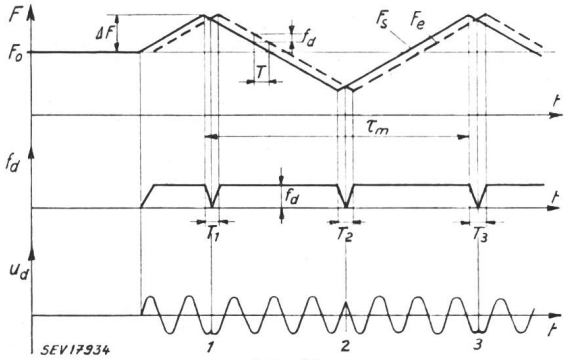

Fig. 20
Arbeitsprinzip eines Radarhöhenmessers mit Frequenzmodulation

F Frequenz
F_0 mittlere Sendefrequenz
f_d Differenzfrequenz zw. F_s und F_e, sog. Radarfrequenz
u_d Spannung der Frequenz f_d
ΔF Frequenzhub
F_s momentane Sendefrequenz
F_e momentane Empfangsfrequenz
t laufende Zeit
τ_m Periodendauer eines Modulationszyklus
$T = T_1, T_2, T_3$ Laufzeit des reflektierten Signals

der Messung kleiner Höhen doch sehr unangenehm bleibt. Er äussert sich darin, dass die Anzeige nicht kontinuierlich erfolgt, sondern gewissermassen stufenweise (Fig. 21) und ständig um einen gewissen festen Betrag springt. Dieser sog. feste Fehler ist umgekehrt proportional dem Frequenzhub und erreicht bei ausgeführten Geräten eine Grösse bis zu 10 m.

Unsere Arbeiten haben nun zu einem neuen System mit Frequenzmodulation geführt, das die meisten dem alten System anhaftenden Nachteile vermeidet und speziell für kleine Distanzen bedeutend

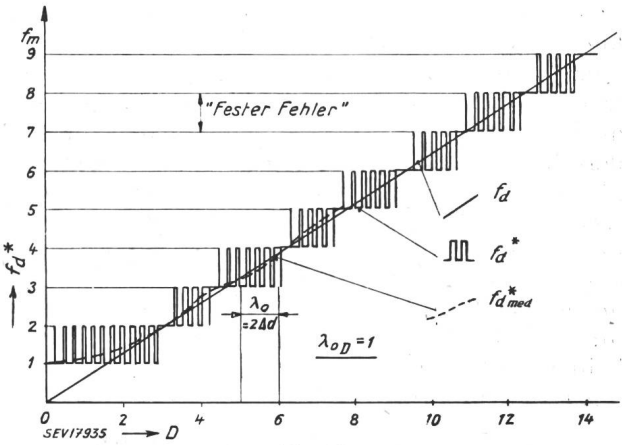

Fig. 21
Die Anzeige eines Radarhöhenmessers

f_d proportional der tatsächlichen Distanz
f_d^* angezeigter Wert bei kleiner Geschwindigkeit v
$f_{d\,med}^*$ mittlerer angezeigter Wert bei grösserer Geschwindigkeit
f_m Modulationsfrequenz des Senders
λ_0 Wellenlänge der Sendefrequenz
$\Delta d = \lambda_0/2$
λ_{0D} Wellenlänge der Sendefrequenz, bezogen auf die genormte Distanz D
D genormte Distanz $= 2\,\pi\Delta F \cdot T$ (vgl. Fig. 20)

bessere Resultate verspricht. Die Richtigkeit der Rechnungen wurde durch prinzipielle Versuche bestätigt, und es scheint, dass nach dem neuen System nicht nur Höhenmesser, sondern auch andere Radargeräte mit guter Genauigkeit und sehr kleinem Aufwand herstellbar sind [3]).

Adresse des Autors:
Dr. *Kurt Witmer*, Dipl. Ing., Universitätsstrasse 80, Zürich 6.

[3]) Eine eingehende Beschreibung des neuen Systems findet sich in der kürzlich erschienenen Mitteilung Nr. 13 aus dem Institut für Hochfrequenztechnik: «Studien über Radarsysteme mit Frequenzmodulation.»

Fabrication, action régulatrice et emploi des thermistors *)

Par *E. Meyer-Hartwig* et *H. Federspiel*, Terlano (Italie)

621.315.59

Les auteurs traitent des thermistors et de leurs principales applications comme régulateurs de tension, régulateurs de courant pour l'amortissement de la surintensité à la fermeture d'un circuit et sondes de température dans les domaines de mesure les plus divers. Ils examinent la question du choix des matières premières (mélanges d'oxydes, spinelles, semi-conducteurs capillaires), le mode de fabrication par agglomération et frittage, ainsi que les formes d'exécution des thermistors, qui vont des petits modèles dans des tubes de verre avec ou sans chauffage indirect, jusqu'aux grands modèles pour fortes intensités.

Des graphiques indiquent l'emploi des thermistors comme régulateurs de tension, résistances de démarrage sous fortes intensités et résistances de démarrage et de protection pour appareils radiorécepteurs. Pour terminer, les auteurs décrivent quelques applications, notamment un démarreur triphasé, un appareil de protection contre les surtensions dans les lignes aériennes et un montage en pont pour enclenchements retardés.

In dieser Arbeit wird über Heissleiter, sowie über ihre grundsätzliche Anwendung als Spannungs- und Stromregler zur Dämpfung des Einschaltstromstosses bzw. als Temperaturfühler für die verschiedensten Temperaturmessaufgaben berichtet. Auf die Auswahl der Werkstoffe wird eingegangen, insbesondere auf Oxydmischungen, auf Spinelle und auf die neuen Kapillarheissleitermassen. Die sintertechnische Erzeugungsweise wird gestreift, die Ausführungsformen werden gekennzeichnet, kleine Typen in Glaskolben mit und ohne indirekte Heizung und solche bis zu grossen Abmessungen und für grosse Stromstärken.

Für Heissleiter als Spannungsregler, als Schutzanlasser in Radiogeräten und als Anlasser für Geräte mit grossen Stromstärken werden Diagramme angegeben. An Ausführungsformen wird ein Motoranlasser, ein Überspannungsschutzgerät für Freileitungen und eine Brückenanordnung für Verzögerungsschaltungen beschrieben.

*) *Remarque des auteurs:* Nous désignerons par «thermistors» ou conducteurs à chaud (Heissleiter), les résistances à coefficient de température négatif.

1. Introduction

On appelle thermistors ou conducteurs à chaud, les résistances régulatrices à coefficient de température négatif. Leur importance dans les différentes branches de l'électrotechnique augmente de plus en plus. Pour cette raison on donnera dans cet essai une vue d'ensemble sur la présentation de ces conducteurs, les matières premières employées et leurs traitements. Dans la première partie on a exposé quelques questions d'intérêt général, telles que les définitions, le mode de travail et les principales applications. Il est également fait mention de la technique actuelle d'utilisation des thermistors, technique qui subit un développement rapide. Etant donné que les thermistors ont permis de trouver des solutions élégantes à plusieurs questions techniques difficiles et que ces solutions n'épuisent probablement pas leurs possibilités d'utilisations, on espère, par cet essai, inciter à d'autres applications.

2. Définitions

On appelle résistances régulatrices, les résistances électriques dont la valeur varie avec la température.

On désigne sous le nom de conducteurs à froid les résistances régulatrices à coefficient de température positif, à cause de leur meilleure conductibilité à froid, et par thermistors ou conducteurs à chaud, les résistances régulatrices à coefficient de température négatif, à cause de leur meilleure conductibilité à chaud.

Les résistances fer-hydrogène, et, depuis peu des résistances céramiques, appartiennent à la première catégorie. Les résistances appartenant à la deuxième catégorie seront traitées dans ce qui suit.

D'après *H. Sachse* [1] [1]) on définit comme résistance à froid des thermistors, la résistance à 20 °C. Le coefficient de température α représente, comme l'on sait, la variation relative de la résistance, correspondant à une élévation de température de 1 °C d'après la relation

$$\alpha = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT}$$

où R est la résistance et T la température absolue. Ce coefficient α est négatif et fonction de la température; il est donné en % et rapporté habituellement à 20 °C (dans les ouvrages anglo-saxons à 25 °C [2]). La plus faible valeur de la résistance à chaud dépend de la température admissible, tenant compte des propriétés physiques ou chimiques du produit employé. Cette valeur de la résistance définit la puissance du thermistor. On l'exprime en % par rapport à la valeur à froid. Le rapport de la résistance à froid à la résistance à chaud est appelé «facteur de régulation».

3. Mode de travail et principales applications

La valeur de la résistance est donc fonction de la température et peut être réglée par le courant, une source de chauffage extérieure ou la température du milieu. Ces trois causes peuvent agir simultanément. La vitesse de l'échauffement dépend des dimensions de la résistance, de sa forme, de sa chaleur spécifique ou de toute autre caractéristique influençant la transmission de la chaleur. Dans certains cas, où le chauffage a lieu par un courant électrique, il y a lieu de tenir compte de la relation entre le courant et la tension [3]. Tous ces facteurs, déterminés expérimentalement et contenus dans les diagrammes courant-tension, respectivement résistance-température, définissent le dimensionnement et les possibilités d'application des thermistors. Nous reviendrons plus loin sur ces caractéristiques. Ce qui intéresse d'abord, c'est le principe du mode d'utilisation et la présentation de ces résistances. On peut classer les différentes réalisations comportant des thermistors d'après le mode de chauffage employé. Du point de vue technique, le chauffage le plus intéressant est celui dû à l'effet Joule. On distingue:

a) les régulateurs de tension à grandes surfaces, auxquels on enlève rapidement la chaleur due à l'effet Joule; l'évacuation de la chaleur se fait de préférence par rayonnement (régulateur de tension à rayonnement);

b) les régulateurs de courant dans lesquels l'échauffement du thermistor amortit la surintensité de fermeture d'un circuit (régulateur de courant à capacité thermique),

et enfin, pour les résistances sans chauffage électrique:

c) les sondes de température dans lesquelles les variations de la température du milieu provoquent des variations de résistance.

La fig. 1 montre quelques formes de présentation pour différents usages. Les régulateurs de tension présentés sont de très petites dimensions et fragiles.

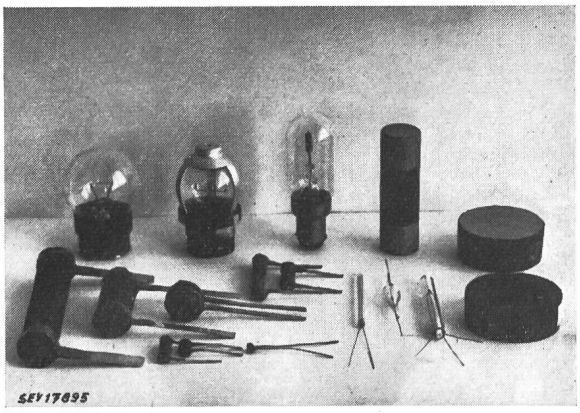

Fig. 1
Thermistors de différents types, du plus petit au plus grand modèle

Pour cette raison mais aussi par suite des risques de corrosion et pour agir sur l'évacuation de la chaleur on les fixe dans des tubes de protection. Les thermistors récents de grandes dimensions résistent bien à la corrosion et la protection par tube est inutile. Ils ont la forme de barres de différentes dimensions et, pour les fortes intensités, de disques ou d'anneaux.

La fig. 2 A représente le schéma de principe d'une régulation de tension; dans ce schéma, *b* est l'appareil d'utilisation, *a* le thermistor et *c* un rhéostat

[1]) voir la bibliographie à la fin de l'article.

destiné à provoquer la chute de tension supplémentaire. La fig. 2 B représente le circuit de chauffage d'un appareil de radio. Le rôle du thermistor est d'amortir la surintensité à l'enclenchement du circuit, surintensité nuisible aux lampes en série ayant des constantes de temps d'échauffement différentes et due à la faible valeur de la résistance des fila-

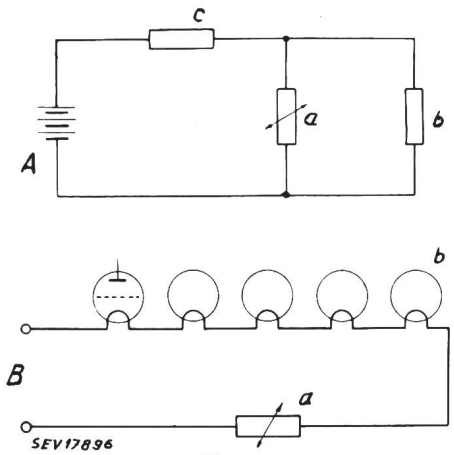

Fig. 2
Principe du montage des thermistors
A comme régulateur de tension
B comme élément de démarrage et temporisation
a thermistor
b appareil consommateur
c résistance couplée en série

ments. C'est un exemple typique de régulation de courant. Si l'on veut utiliser le thermistor comme sonde de température on peut mesurer le courant sous une différence de tension constante. Ce courant doit être très faible pour ne pas influencer la température du thermistor. Pour des mesures de précision on monte la sonde de température dans un pont.

4. Les matières premières et leurs propriétés physiques

La plupart des oxydes, quelques sulfures, les halogénures et quelques nitrures ont la propriété d'être bons conducteurs à chaud. Il est primordial que la conduction du courant soit due aux électrons et non aux ions qui, en courant continu, provoqueraient une décomposition. Il faut au moins que la conductibilité due aux ions soit très réduite ou que les ions soient remplacés, grâce à certaines précautions techniques spéciales. D'après *H. Smekal* [4] les conducteurs purement électroniques sont constitués surtout par des combinaisons des métaux dont la valence est susceptible d'augmenter de plus d'une unité. Parmi ceux-ci on emploie industriellement les oxydes et les cristaux des oxydes mixtes, de sorte qu'il est superflu de s'occuper des autres produits.

D'après les données bibliographiques, les produits suivants sont utilisables pour la fabrication des thermistors:

a) l'oxyde d'uranium,
b) l'oxyde de cuivre,
c) l'oxyde de chrome, de nickel et de manganèse,
d) les oxydes mixtes à base de spinelles,

et, dernièrement,

e) des produits à base métallo-céramique de composition spéciale.

Les valeurs des résistances des oxydes à conduction électronique que l'on trouve dans les différentes ouvrages, ne concordent pas. Ceci est dû à ce que de faibles variations de concentration d'oxygène au voisinage du rapport stoechiométrique provoquent des variations importantes de la conductibilité, ou, autrement dit, parce que dans le domaine des recherches faites sur le rapport des nombres d'électrons dans un composé de molécules, la conception même de rapport stoechiométrique n'existe pas. C'est aussi la cause de la difficulté rencontrée pour reproduire des mélanges ayant les mêmes propriétés.

Faraday est le premier à avoir attiré l'attention sur l'importante variation de la résistance des sels avec la température [5]. La première utilisation industrielle des résistances à base d'oxydes est, à notre connaissance, le crayon de *Nernst* [6] qui d'ailleurs ne peut être considéré qu'indirectement comme régulateur, mais dont la découverte est à l'origine de plusieurs travaux concernant les propriétés des oxydes.

Les premiers thermistors utilisés comme régulateurs, étaient constitués par de l'oxyde d'uranium [7]. Actuellement pour des raisons connues, l'oxyde d'uranium n'est plus employé que pour les régulateurs de très petites dimensions.

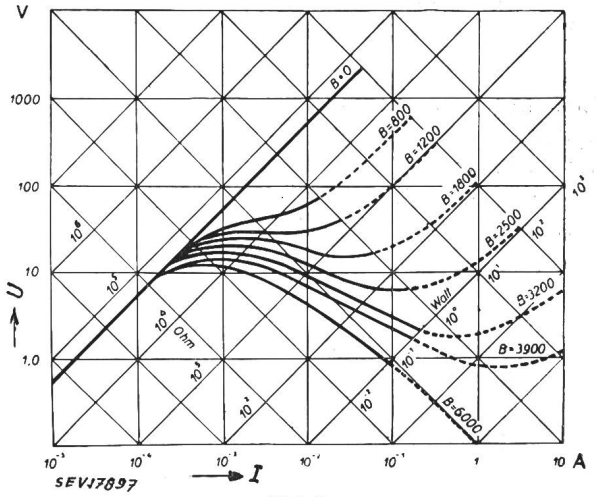

Fig. 3
Courbes de variation *U* (*I*) de différents mélanges d'oxydes métalliques
d'après K. P. Dowell
$C = 5 \cdot 10^{-4}$ W/degré; $R = 50\,000\ \Omega$; $T_0 = 300$ °K

Nous ne savons pas dans quelle mesure est employé l'oxyde de cuivre [8] mentionné en deuxième lieu. C'est probablement la faible valeur du facteur de régulation qui diminue l'intérêt de cet oxyde.

Les oxydes du troisième groupe ont été l'objet de recherches approfondies aux Etats-Unis. Nous reproduisons (fig. 3) d'après *K. P. Dowell* [9] un diagramme qui donne en même temps, grâce à une présentation adroite, la variation du courant en fonction de la tension, la résistance et la puissance correspondantes. Ce diagramme montre l'importance du rôle que joue le mélange des oxydes sur la valeur du facteur de régulation. Il donne l'allure

de la variation du courant en fonction de la tension des thermistors à action régulatrice suffisante. A froid, les oxydes employés sont plus ou moins isolants. Le crayon de Nernst, cité plus haut, comportait un enroulement chauffant destiné à élever sa température jusqu'au moment où le courant était assez important pour continuer l'échauffement.

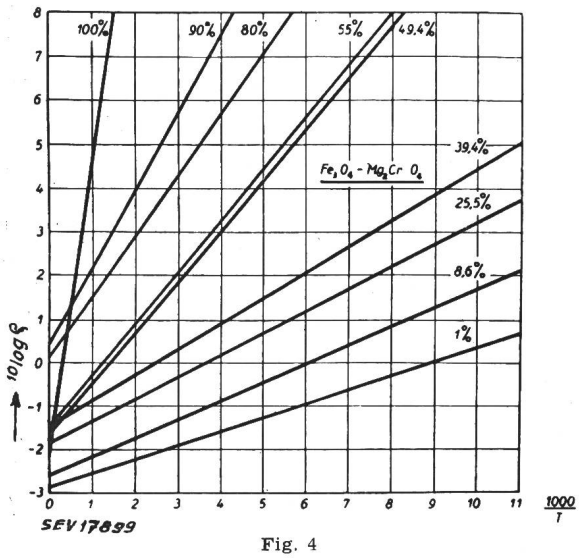

Fig. 4
Courbes de variation de la conductibilité en fonction de la température de différents spinells
d'après E. J. W. Verwey, P. W. Haayman et F. C. Romeyn

Cette propriété gênante est commune à tous les oxydes et confirmée par ce diagramme. Ce n'est qu'après avoir dépassé une certaine tension que la température croît et que la chute de tension aux bornes de la résistance diminue.

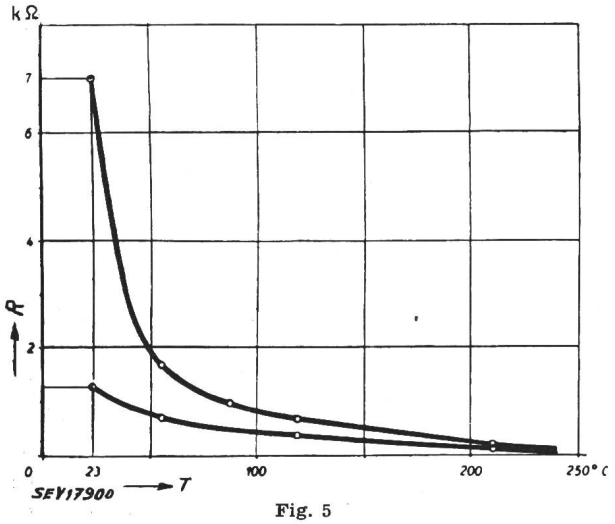

Fig. 5
Courbes de variation de la résistance en fonction de la température de deux types différents de conducteurs capillaires

Les mélanges d'oxydes constituent probablement un édifice cristallin comportant des composants en excès et conduisent ainsi aux spinelles, cristaux dans lesquelles un édifice bien défini est probablement en mesure d'augmenter la résistance à la corrosion. Les spinelles magnésium-titane ont été fabriqués en Allemagne. Les spinelles de fer sont actuellement l'objet de recherches industrielles. Sur ces spinelles, il y a un excellent ouvrage dû à *E. J. Verwey* et ses collaborateurs [10]; la fig. 4 en est tirée. Elle représente des conductibilités en fonction de la température et son interprétation donne un aperçu sur les connexités fondamentales des propriétés électriques des produits à grande conductibilité thermique.

Le produit cité en cinquième lieu est la masse semi-conductrice capillaire récemment découverte à partir de laquelle on fabrique les thermistors capillaires. La fig. 5 donne leur courbe de variation de la résistance en fonction de la température. La matière première est constituée par un mélange de métaux et produits céramiques dans des proportions définies. Les constantes physiques concernant ces conducteurs sont résumées plus loin, dans la mesure où cela nous était possible.

5. Modes de fabrication

Les thermistors sont fabriqués de préférence par agglomération et frittage. On part d'une poudre qui doit être préparée avec beaucoup de soin, de faibles impuretés conduisant à des résistances non uniformes. Sa nature physique joue également un rôle important. La granulométrie doit être homogène et les grains doivent avoir la même forme. Après cette préparation les poudres sont comprimées à sec dans des matrices en acier ou à l'état humide à l'aide de presses à filer. On leur donne ainsi la forme voulue. Après le séchage, s'il y a lieu, on procède au frittage à haute température en présence de certains gaz de protection. Pour stabiliser les caractéristiques électriques du produit de frittage on lui fait subir un vieillissement. Dans ce but on le soumet à un nouveau chauffage à une température supérieure à celle de régime d'utilisation, dans un milieu gazeux bien défini. La résistance céramique est ainsi prête à recevoir les bornes métalliques. On dispose pour cela de plusieurs procédés: on peut argenter les bouts et emmancher de force des bagues métalliques ou souder des bornes sur les parties argentées; dans le cas des résistances de très petites dimensions on peut enrober deux fils de platine lors de l'agglomération; enfin les conducteurs capillaires peuvent être soudés directement, par un procédé spécial, aux arrivées du courant, ce qui donne des connexions irréprochables.

Les très petits modèles sont montés dans des tubes de protection en verre pour des raisons de solidité mécanique. On agit ainsi sur les conditions d'échauffement, on évite la convection et aussi une éventuelle corrosion.

Le tableau I résume les caractéristiques physiques des différents modèles.

Propriétés physiques et techniques de différents thermistors Tableau I

Résistances à froid réalisables	Coefficients de température à 20 °C (*) à 25 °C)	Ordre de grandeur du facteur de régulation (résistance à froid/résistance à chaud)	Température maximum de service		Ordre de grandeur de la puissance	Ordre de grandeur de l'inertie thermique
			dans tubes de protection	dans l'air		
Ω	%	Ω/Ω	°C	°C	W	s
I° Oxydes purs a) Oxyde d'uranium						
$5 \cdot 10^3 ... 10^5$	−1,5	200	600		0,001...1	0,1...10
b) Oxyde de cuivre						
$0,5 ... 10^5$	−2,6	10		220	0,01...6	1...100
*II° Mélanges d'oxydes *)* (chrome, nickel, manganèse, cobalt)						
$10 ... 10^6$	−3...−4,5*)	10...200	300	150	10...6	1...100
III° Spinelles (manganèse, titane)						
$10^3 ... 10^5$	−1,3...−2,3	200...500	500		2,5...9	10...600
IV° Mélanges de métaux et de substances non métalliques (thermistor capillaire)						
$0,1 ... 5 \cdot 10^6$	−2...−4	5...500	600	450	0,005...100	0,1...600

6. La régulation de la tension

Le mode de régulation de la tension, indiqué plus haut, est difficile à réaliser lorsque la tension disponible est insuffisante pour produire le courant nécessaire à la mise en route du thermistor. Il est utile de se rappeler l'allure de la courbe u (i) donnée par la fig. 3. La chute de tension aux bornes du thermistor est plus grande pour 10^{-3} A que pour 10^{-2} A, courant où l'action régulatrice a déjà commencé. Dans beaucoup de cas il faut dépasser ce maximum de tension lors de la mise en route du thermistor. Dans le cas du crayon de Nernst, on obtenait ce démarrage à l'aide d'un chauffage extérieur et on a conservé ce mode de mise en route. On emploie alors des modèles comportant un enroulement chauffant formé par quelques spires ou un fil aggloméré dans la masse. Le thermistor comporte dans ce cas 3 ou 4 bornes.

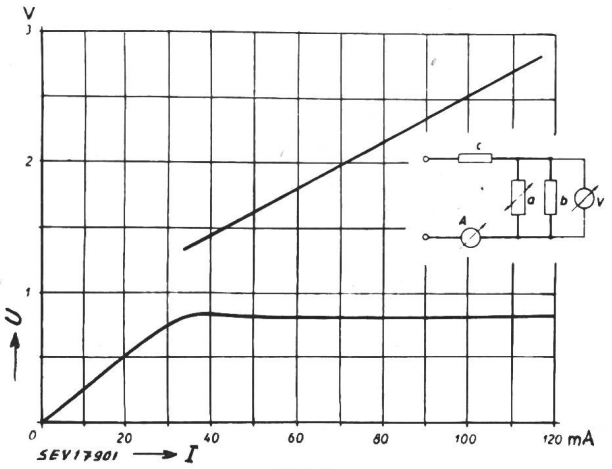

Fig. 6
Régulation commandée par conducteur à chaud
La courbe supérieure représente la tension variable, la courbe inférieure la tension réglée aux bornes du récepteur
Désignations voir fig. 2

La fig. 6 montre une courbe de régulation où, par suite de la nature du produit employé et de la faible valeur de la tension à régler, il n'y a pas apparition du maximum de tension cité plus haut. Dans ce cas un chauffage auxiliaire est inutile. La courbe supérieure de cette figure représente la tension à l'entrée et la courbe inférieure, la tension aux bornes du récepteur *b*. On voit de quelle manière ingénieuse on arrive à compenser, même de grandes différences de tension. Cette propriété des thermistors est utilisée principalement en TSF. Le modèle employé pèse quelques milligrammes, il est mince et long, de sorte que l'énergie absorbée est aussitôt dissipée par rayonnement et qu'il s'adapte même aux variations rapides de la tension (régulation de tension par thermistors à rayonnement).

7. Régulation du courant

Dans certaines conditions il est possible de réaliser une régulation du courant, le rendant indépendant de la tension, par une combinaison de thermistors et de conducteurs à froid, tels que les filaments des lampes de TSF. Pratiquement cette régulation est difficile à réaliser et sa description nous conduirait trop loin. Nous publierons plus tard un mémoire relatif à ce mode de régulation. La régulation, la plus employée industriellement et par suite la plus intéressante, consiste dans l'amortissement de la surintensité à la fermeture d'un circuit. Cette surintensité est due à la faible valeur de la résistance à froid (au repos) du circuit récepteur. C'est le cas, d'une part, des filaments des lampes de TSF, des lampes d'éclairage, des résistances chauffantes des fours, et d'autre part, des transformateurs, moteurs, etc. La forte valeur de la résistance à froid du thermistor lui permet de limiter le courant lors de la fermeture du circuit, jusqu'au moment où l'appareil d'utilisation est en mesure de jouer lui-même ce rôle, par suite de la température atteinte ou de la force

contre-électromotrice dont il est le siège. Le thermistor travaille dans ce cas comme une résistance de temporisation; l'énergie due à la surintensité de fermeture est absorbée grâce à sa capacité calorifique (régulation du courant par capacité calorifique).

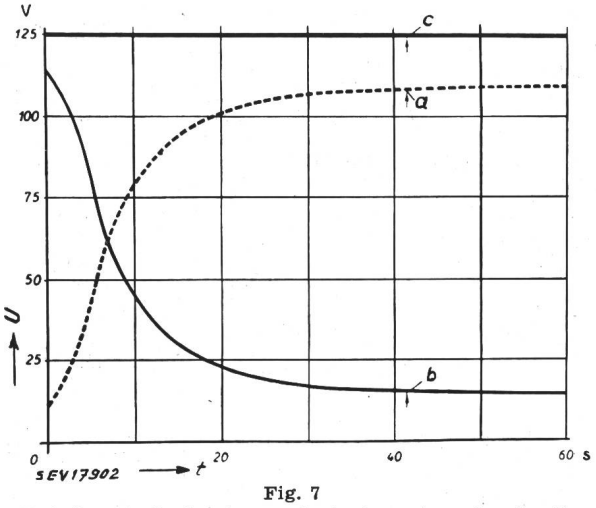

Fig. 7
Variation de la tension après la fermeture du circuit
a aux bornes du récepteur (lampes en série)
b aux bornes du thermistor
c tension du réseau ($c = a + b$)

La fig. 7 montre les conditions de mise en route du circuit de chauffage d'un appareil de radio; *c* représente la tension de réseau; *a* la tension aux bornes des filaments et *b* la tension aux bornes du thermistor. Cette courbe donne la variation de la tension en fonction du temps, le temps 0 étant la fermeture du circuit. On voit de quelle manière la

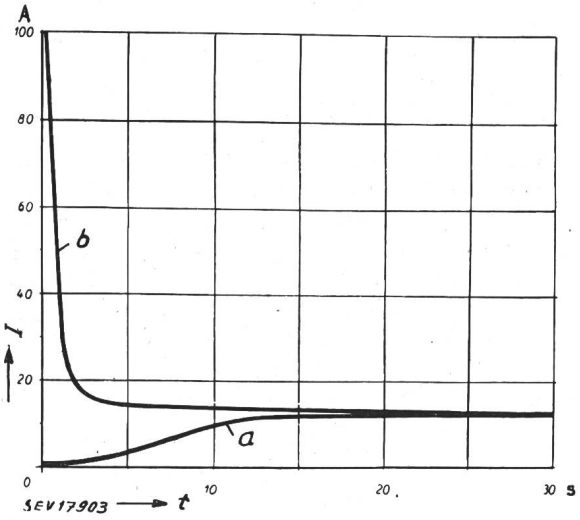

Fig. 8
Courant de fermeture d'une lampe de 12 A, 150 W
a avec thermistor capillaire
b sans thermistor capillaire

tension aux bornes des lampes s'adapte à la température et l'importance de l'allégement atteint. Le courant reste faible, de sorte que l'ampoule d'éclairage du cadran, mise habituellement en série avec les filaments, est en mesure de le supporter.

La fig. 8 représente les conditions de mise en route d'un circuit absorbant une intensité plus importante. Dans le cas d'une lampe d'éclairage, l'intensité est par exemple de 100 A à l'enclenchement; elle tombe à 12 A, dès que le filament est chaud. Par l'emploi d'un thermistor, le filament s'échauffe lentement et atteint son courant de régime au bout de 15 s. On évite ainsi les perturbations du réseau, la surcharge des coupe-circuit et en même temps la durée de la lampe est augmentée. En effet, à cause des inégalités des sections du filament les surintensités le mettent en danger à l'endroit où la section est la plus faible et on constate couramment que la destruction des filaments a lieu surtout immédiatement après la mise en service. On ménage donc les filaments si le circuit comporte une régulation du courant.

8. Appareils utilisant des thermistors

Nous allons maintenant décrire quelques appareils dans lesquels le thermistor est l'organe principal et mentionner les applications non citées jusqu'à présent.

La fig. 9 représente un démarreur triphasé à thermistors. Ici le thermistor constitue un nouveau moyen de démarrage progressif sans faire appel à des organes mobiles. Il ouvre ainsi de vastes possi-

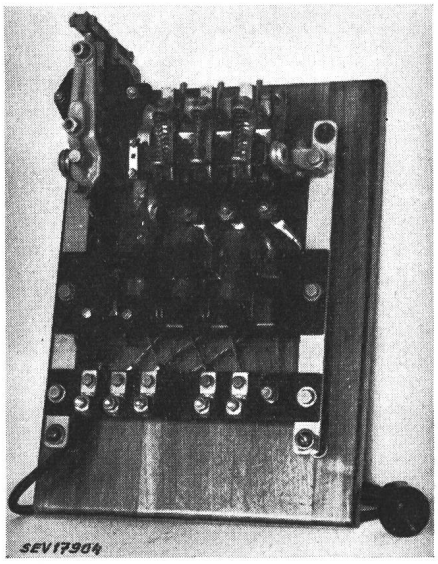

Fig. 9
Démarreur pour moteur triphasé avec thermistors

bilités pour la télécommande. Cette réalisation présente toutefois certains inconvénients: le refroidissement de grandes masses céramiques est lent et par suite la fréquence des démarrages possibles est limitée. Lors du développement de ce genre de montage, il faudra chercher des solutions permettant d'obtenir un refroidissement rapide de la résistance. Le démarreur démontré comporte un dispositif qui court-circuite le thermistor après le démarrage pour lui permettre de se refroidir. Il y a aussi des dispositifs comportant deux résistances par phase, mises

alternativement hors circuit, ce qui double la fréquence des démarrages possibles.

La fig. 10 représente un appareil de protection contre les surtensions pour des réseaux aériens. Les thermistors en forme de rondelles conduisent vers le sol l'arc qui vient de s'amorcer et provoquent sa rupture après la disparition de la surtension. Les thermistors à base céramique ont donné de bons résultats dans ce domaine [12].

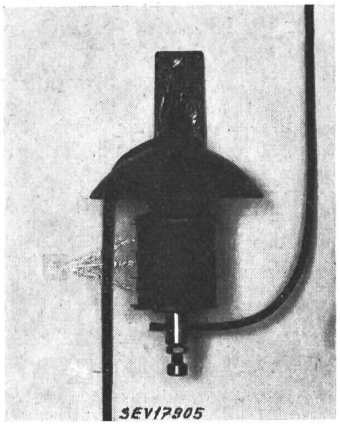

Fig. 10
Appareil de protection contre les surtensions avec thermistors

Comme dernière réalisation nous indiquons, dans la fig. 11, un pont dans lequel les quatre branches sont constituées par des thermistors à chauffage auxiliaire et qui commande des impulsions d'enclenchement.

Cette réalisation conduit à l'emploi des thermistors comme résistances temporisatrices dans la fabrication des relais. Ils sont en mesure de remplacer des mouvements d'horlogerie ou d'autres dispositifs compliqués et ont conquis, en peu de temps, un champ d'application très prometteur.

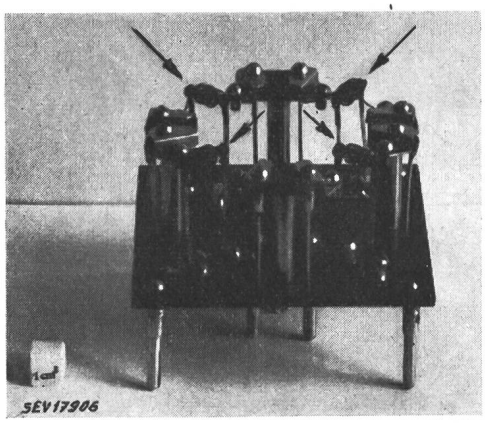

Fig. 11
Thermistors dans un montage en pont pour la commande de procédés d'enclenchement
Les flèches montrent les endroits des thermistors

Le montage en pont conduit à un autre vaste domaine d'application utilisant la caractéristique résistance-température des thermistors: la thermométrie. Les travaux se rapportant à la régulation de la température et à la pyrométrie ont été développés surtout aux Etats-Unis [13, 14, 15, 16]. En comparant les thermistors aux autres corps thermométriques employés dans les montages électriques, on peut relever les deux avantages suivants:

a) leur sensibilité aux variations de température est supérieure à celle des autres corps thermométriques;

b) la valeur de leurs résistances permet l'emploi de fortes tensions.

La première de ces qualités conduit à une plus grande sensibilité de la mesure ou, à égalité de sensibilité, à un appareillage moins cher; la deuxième permet d'effectuer les mesures à distance. Les thermistors trouvent donc des applications dans la mesure de la température à distance et dans la fabrication des thermomètres de précision, tels les pyromètres. Ils sont plus avantageux que les couples thermo-électriques lorsqu'on veut surveiller la température de pièces tournantes, par exemple de bobinages, car ils permettent de transmettre au stator une tension plus élevée que celle qui prend naissance dans un couple thermo-électrique.

Comme appareil de lecture, on peut employer un ampèremètre en série avec la résistance. On augmente la précision par l'emploi d'appareils logométriques, ou, mieux encore, de montages en pont. Les thermistors peuvent être employés, avec des montages similaires, dans la commande des thermostats ou des dispositifs avertisseurs fonctionnant à une température réglable.

Les modèles de quelques centièmes de millimètre de diamètre se prêtent au montage dans des sondes, destinées à la mesure de la température intraveineuse. On les utilise également dans d'autres appareils médicaux. Il en résulte de nouvelles perspectives pour la mesure de la température du sang dans les hôpitaux: la très petite masse de ces sondes permet une lecture immédiate, contrairement à ce qui se passe dans les thermomètres à mercure habituels.

Une autre utilisation des thermistors, en particulier dans un récepteur de radio, est leur montage en parallèle avec une partie quelconque d'un circuit telle que les ampoules d'éclairage du cadran. Tant que cette ampoule est allumée, sa résistance est beaucoup plus petite que celle du thermistor et aucun courant ne traverse ce dernier. Si le filament vient à griller, le thermistor entre en circuit, sa résistance de régime devient faible et l'appareil peut continuer à fonctionner. On pourrait même prévoir dans le circuit du thermistor un dispositif avertisseur signalant les dégâts.

Comme dernière application, nous indiquerons la compensation de la variation de la résistance avec la température des conducteurs métalliques. Dans un circuit comportant en série des conducteurs métalliques et des thermistors, on peut atteindre une constance absolue de la résistance totale, dans un grand intervalle de température.

Bibliographie

[1] *Sachse, W.:* Temperaturabhängige Widerstände (Heissleiter) und ihre Anwendung in der Technik. Siemens Z. Bd. 19(1939), Nr. 5, S. 214...218.

[2] *Roloff, C. C.:* Thermo-Variable Resistors. Electr. Rev. Bd. 140(1947), Nr. 3612, S. 315...316.

[3] *Lange, J.:* Zur physikalischen Chemie der Elektrolythe. Naturwissenschaften Bd. 31(1943), Nr. 31/32, S. 353...366.

[4] *Grimm, H. G.,* u. *H. Wolff:* Atombau und Chemie. In: *Geiger-Scheel:* Handbuch der Physik. Bd. 24. Aufbau der zusammenhängenden Materie. — Berlin, 1933. — S. 954.

[5] *Becker, J. A., C. B. Green* u. *G. L. Pearson:* Properties and Uses of Thermistors — Thermally Sensitive Resistors. Electr. Engng. Transactions section Bd. 65(1946), Nr. 11, S. 711...725.

[6] *Wagner, C.:* Über den Mechanismus der elektrischen Stromleitung im Nernststift. Naturwissenschaften Bd. 31 (1943), Nr. 23/24, S. 265...268.

[7] *D'Ans-Lax:* Taschenbuch für Chemiker und Physiker. — Berlin, 1943. — S. 1585.

[8] *Friedrich, E.:* Z. Physik Bd. 34(1925), S. 637.

[9] *Dowell, K. P.:* Thermistors as Components Open Product Design Horizons. Electr. Manufacturing Bd. 1948, S. 84...95.

[10] *Verwey, E. J. W., P. W. Haayman* u. *F. S. Romeyn:* Halbleiter mit grossem negativen Temperaturkoeffizient des Widerstandes. Philips techn. Rdsch. Bd. 9(1947/48), Nr. 8, S. 239...249.

[11] *Meyer-Hartwig, E.:* Studien über Halbmetalle mit kontinuierlichen Übergangseigenschaften zwischen Metall und Keramik: Kapillarhalbleiter V. Österr. Chemiker-Z. Bd. 49(1948), Nr. 10/11, S. 197.

[12] *Gantenbein, A.:* Neuere Forschungsergebnisse im Überspannungsableiterbau. Bull. SEV Bd. 32(1941), Nr. 25, S. 695...699.

[13] *Deeter, E. L.:* Null Temperature Bridge — The Electron Art. Electronics Bd. 21(1948), Nr. 5, S. 180...186.

[14] O. S. R. D. Report No. 4699, Appendix C: The Use of Thermometers to measure Temperature and Wind Velocity u. S. Dept. of Commerce, Bureau of Publication Report No. PB 13103.

[15] *Drummeter, L. F.,* u. *W. G. Fastie:* A simple Resistance Thermometer for Blood-Temperature Measurements. Science Bd. —(1947).

Adresse des auteurs:
E. Meyer-Hartwig et *H. Federspiel,* Laboratoires Terlano de la FES, Via Marconi, Terlano (Italie).

Die Leitungscharakteristiken des erdschlussbehafteten Drehstromsystems

Von *E. Königshofer,* Wien

621.315.025.3

Unter den Charakteristiken eines Energieübertragungsmittels ist die Betriebskapazität die Resultierende zweier Komponenten, deren Anteile von der Spannung und somit vom Isolationszustand abhängen. Ein genaues Verfahren zu ihrer quantitativen Erfassung wird besprochen und die Abhängigkeit der Grösse der Betriebskapazität vom Isolationszustand der Leitung, das heisst von der Verlagerungsspannung untersucht.

Parmi les valeurs caractéristiques d'un moyen de transmission d'énergie la capacité de service représente la résultante de deux composantes, dont les parties dépendent de la tension et de l'isolement. Un procédé exact pour sa détermination quantitative sera développé. Les relations entre la grandeur de la capacité de service et l'isolement de la ligne de transmission seront étudiées.

Die Übertragungsfähigkeit eines Leitungssystems ist durch den Wellenwiderstand bestimmt, der beim Drehstromsystem die Grösse

$$\bar{Z} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

aufweist (R Ohmscher Widerstand, ω Kreisfrequenz, L Selbstinduktionskoeffizient, G Ableitung [Leitwert] und C Betriebskapazität des Übertragungsmittels). Für Aufgaben der Praxis ist es zulässig, die Ableitung zu vernachlässigen und mit dem Werte

$$\bar{Z} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{j\omega C}}$$

zu rechnen. R und L sind charakteristische Grössen des Leitermaterials, der Leiterstärke und -anordnung, welche durch das Auftreten eines Erdschlusses im Zuge des Übertragungsmittels nicht beeinflusst werden. Die Betriebs- oder Netzkapazität C ist hingegen ein aus dem Zusammenwirken von Erdkapazität C_e und gegenseitigen Kapazitäten C_p resultierender Wert; die Anteile der Komponenten werden durch die jeweiligen Spannungsverhältnisse beeinflusst. Ausser als Komponente des Wellenwiderstandes ist C — neben der Betriebsspannung und der Frequenz — das Mass für Ladestrom und -leistung. Die Komponenten C_e und C_p sind, wie jede Kapazität, durch Abmessung und Lage der Beläge bestimmt, ihre Anteile erfahren jedoch bei einer erdschlussbehafteten Leitung Änderungen, die durch die Verzerrung des Spannungsdreieckes bedingt sind. Eine vollkommen verdrillte Drehstromleitung weist Gleichheit der Betriebskapazitäten der drei Pole auf und bei Symmetrie des Spannungsdreieckes auch Gleichheit der Ladeströme und -leistungen. Es ist allgemein üblich, Ladestrom I_C und Ladeleistung P_C wie folgt zu bestimmen (l Länge des Übertragungsmittels in km, U verkettete Spannung, $U_p = \frac{U}{\sqrt{3}}$ Polspannung in V, C Betriebskapazität in μF/km):

$$I_C = l\, U_p\, \omega C \qquad \text{A}$$

und

$$P_C = l\, U^2\, \omega C \cdot 10^{-3} \text{ kVA}$$

Diese Ausdrücke sind jedoch nur als Näherungsformeln zu werten. Für die Kraftübertragung auf weite Entfernungen lassen sich I_C und P_C genau nach den diese Übertragung erfassenden Berechnungsverfahren ermitteln: Zwischen den Strömen und Spannungen am Anfang des Übertragungsmittels $\bar{I}_1$ und $\bar{U}_1$, an seinem Ende $\bar{I}_2$ und $\bar{U}_2$, bzw. $\bar{I}$ und $\bar{U}$ an einem beliebigen Punkt der Leitung im Abstand x vom Anfangs- bzw. Endpunkt, bestehen die Beziehungen

$$\bar{U} = \bar{U}_1 \cosh \nu x - \bar{I}_1 \bar{Z} \sinh \nu x$$

$$\bar{I} = \bar{I}_1 \cosh \nu x - \frac{\bar{U}_1}{\bar{Z}} \sinh \nu x$$