Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 63 (1972)

Heft: 24

Artikel: Kabelüberwachungssystem : Anwendung einer störunempfindlichen Signalübertragungsmethode

Autor: Furrer, F.J. / Weber, B.W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915770

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: 11.12.2025

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

Kabelüberwachungssystem

Anwendung einer störunempfindlichen Signalübertragungsmethode

Von *F. J. Furrer* und *B. W. Weber*

Bei der zunehmenden Verkabelung von elektrischen Hochleistungsnetzen kommt einem Kabelüberwachungssystem, vor allem der Messung der Kabeloberflächentemperaturen längs des Kabel-Trassees, vermehrte Bedeutung zu. Für diesen Zweck wurde ein neuartiges Übertragungssystem entwickelt. Dieses beruht auf der Anwendung der Sequenz-Multiplex-Technik (orthogonales System der Walshfunktionen). Damit ist es möglich, auf einem gemeinsamen Signalweg (2 bis 5 Signal- bzw. Speiseadern) eine Vielzahl von Messzellen von einer Zentrale aus gleichzeitig abzufragen.

Le développement des réseaux de répartition d'énergie électrique entraîne un accroissement du nombre des câbles de transmission souterrains. Il devient essentiel de doter ces réseaux d'un système de surveillance pour permettre en particulier la mesure de la température de la gaîne du cable en différents points du tracé. Un système de transmission de données d'un type nouveau a été développé à cette fin: il se base sur la technique du multiplexage à séquence (utilisant comme porteuses le système orthogonal des fonctions de Walsh). Il permet la centralisation des résultats de mesure d'un grand nombre de capteurs répartis sur le long du câble souterrain. Ce système nécessite seulement de 2 à 5 fils de signalisation et d'alimentation.

1. Einleitung

Bei Hochleistungs-Erdkabeln spielt die Kenntnis der zulässigen Strombelastung eine wichtige, wirtschaftliche Rolle. In letzter Zeit sind denn auch verschiedene Publikationen über die Berechnung der zulässigen Belastungsströme sowie Vergleiche mit praktischen Messresultaten von Versuchsanlagen erschienen [1; 2][1]).

Die wesentlichen Grundlagen dieser Berechnungen sind in der CEI-Publikation 287 «Calcul du courant admissible dans les câbles en régime permanent» im Jahre 1969 veröffentlicht worden. Es bestehen verschiedene Computerprogramme zur Lösung der zum Teil recht komplizierten Formeln. Der Praktiker jedoch stellt sich berechtigt die Frage, inwieweit solch aufwendige Rechnungen für die Dimensionierung und den Betrieb von Kabelanlagen nützlich sind. Verschiedene Eingaben wie die Bodentemperatur, die Wärmeleitfähigkeit des Erdbodens oder die Parameter, die die Verlegungsart beschreiben, sind in Wirklichkeit keine Konstanten, sondern ändern längs des Kabel-Trassees und zum Teil auch mit der Zeit (Wetter-, Temperaturverhältnisse) ihren Wert.

Das Problem der Dimensionierung der Leiterquerschnitte war in den vergangenen Jahren nicht sehr kritisch. Aus Gründen der Reservebildung, der Sicherheit und aus wirtschaftlichen Überlegungen (Verkleinerung der Leitungsverluste) wählte man einen höheren Normquerschnitt als der aus den Erwärmungsberechnungen resultierende. Im Gegensatz zu kleineren Kabeln ist durch eine Querschnittserhöhung bei Leiterquerschnitten über 1000 mm², wie sie heute bei Hochleistungskabeln verwendet werden, nur noch eine relativ bescheidene Verbesserung der Belastungsfähigkeit zu erreichen, falls die Kabel nicht künstlich gekühlt werden. Auch von der Fabrikation und der Transportfähigkeit der Kabel her können die Leiterquerschnitte nicht beliebig gesteigert werden. Man ist somit gezwungen, die neuen Anlagen besser auszunützen und sich nahe an die technisch möglichen Belastungsgrenzen heranzutasten. Dabei wird eine Überwachung der Kabeloberflächentemperaturen längs des Kabel-Trassees immer wünschenswerter. Beim längeren Überschreiten von gewissen Grenztemperaturen, die aus der praktischen Erfahrung für bestimmte Kabeltypen bekannt sind, sinkt die Lebensdauer der Isolation oder des Mantels unter den Erwartungswert. In solchen Fällen kann durch künstliche Kühlung oder Änderung der Verlegungsart Abhilfe geschaffen werden.

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

2. Temperaturüberwachungsmethoden

Die Durchschnittstemperatur des Leiters kann durch die Messung des elektrischen Widerstandes eines im Leiter eingeseilten, isolierten Messdrahtes bestimmt werden. Das Anzeigegerät wird am Kabelendverschluss auf Hochspannungspotential montiert. Zur Fernmessung kann ein codierter Temperaturwert mit einem Sender zum Empfänger auf Erdpotential übermittelt werden [3]. Diese Messmethode hat den Nachteil, dass lokale Temperaturerhöhungen, die zu einer Beschädigung des Kabels führen können, nicht erfasst werden. Zudem ist sie praktisch nur für kurze Kabellängen realisierbar.

Eine zweite Methode, bei welcher ein Überwachungskabel auf der Oberfläche des Hochleistungskabels montiert wird, eignet sich zur Lokalisierung von Übertemperaturen. Das Überwachungskabel enthält z.B. ein flüssiges Dielektrikum, das beim Überschreiten einer bestimmten Temperatur verdampft [4] oder ein ferroelektrisches Material, das eine ausgeprägte Abhängigkeit der Dielektrizitätskonstante von der Temperatur aufweist. Durch die Messung des Verlaufes des Wellenwiderstandes längs der Messleitung mit einem Impulsreflektometer lässt sich die erhitzte Stelle orten.

Die dritte und einfachste Messmethode ist die Bestimmung der Kabeloberflächentemperatur an ausgewählten Punkten mit Thermoelementen oder Widerstandsmessfühlern [5]. Wird die Anzahl der Meßstellen gross, so wird diese Methode unpraktisch, da für jede Meßstelle Drähte nachgezogen werden müssen und das Messkabel bald grösser wird als das zu überwachende Kabel.

Alle bisher bekannten Temperaturmessmethoden sind nur in vereinzelten Kabelanlagen, zum grössten Teil nur probeweise, eingesetzt worden. Aus diesen oder jenen Gründen wurden zahlreiche Systeme auf die Dauer nicht als tauglich erachtet.

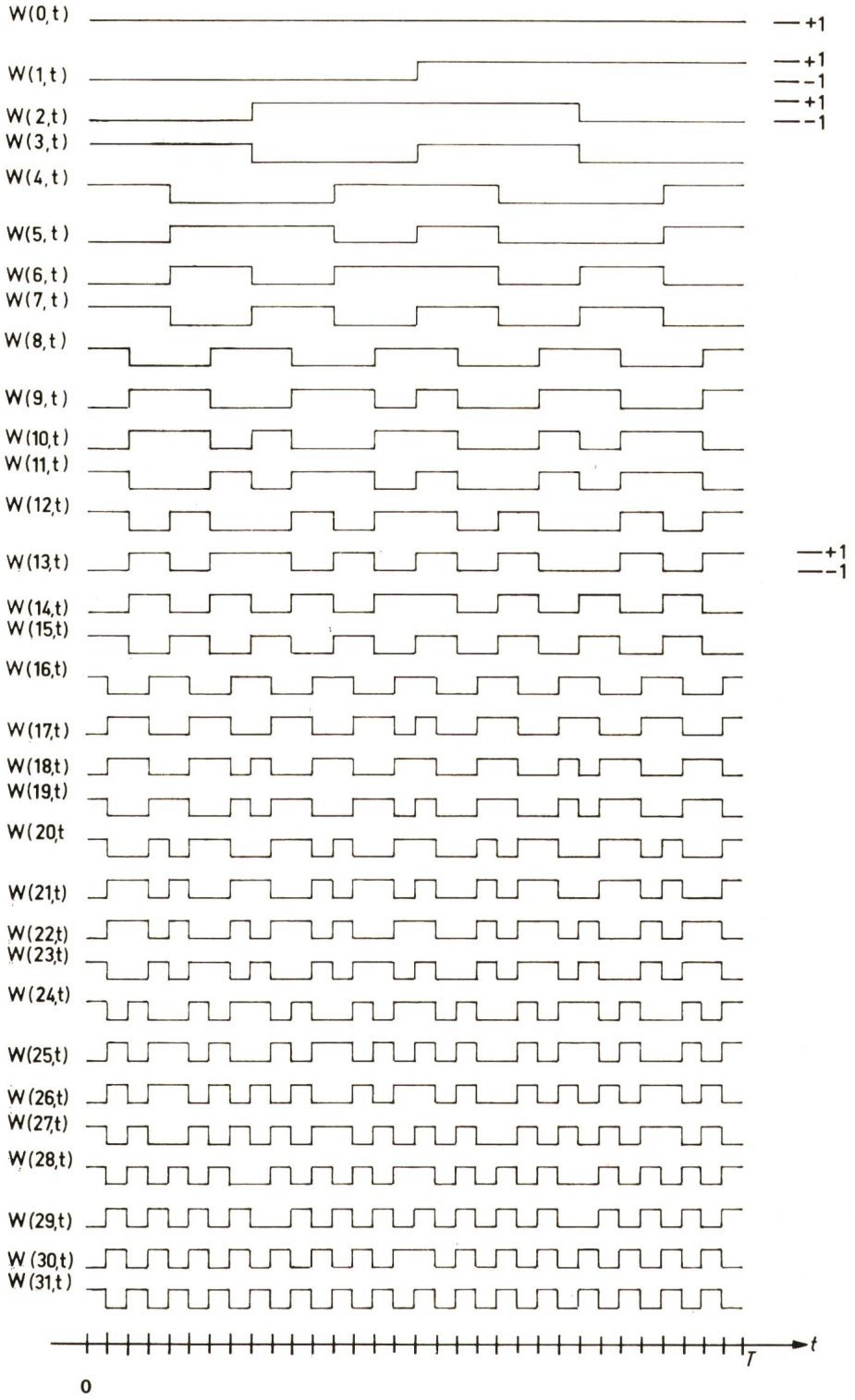

Fig. 1
Verlauf der ersten 32 Walshfunktionen

So entstand die Aufgabe, eine lange Kabelstrecke von einer zentralen Stelle aus zu überwachen. Die zu erfüllenden Bedingungen waren:

a) 50...100 Messpunkte verteilt über einige hundert Meter;
b) Möglichst wenig Messdrähte;
c) Messung der Temperatur, Feststellen von Öl und Wasser zwischen Blei- und Thermoplastmantel;
d) Möglichkeit einer späteren Miniaturisierung der Messzelle, damit die gesamte Messeinrichtung zwischen Blei- und Thermoplastmantel untergebracht werden kann;
e) Grosse Zuverlässigkeit; Lebensdauer vergleichbar mit der Lebensdauer der Kabelanlage;
f) Unempfindlich gegen Störungen, vor allem gegen Beeinflussungen durch Stromänderungen im Hochspannungskabel.

3. Kabelüberwachungssystem – Aufgabenstellung

Neben der Überwachung der Temperatur längs der Kabeloberfläche können auch noch andere Betriebszustände einer Kabelanlage von Interesse sein, wie zum Beispiel das Eindringen von Wasser durch den beschädigten Korrosionsschutz oder bei Ölkabeln das Austreten von Öl durch Risse im Bleimantel. Bei extremen Beanspruchungen können solche Defekte z.B. durch die mechanische Beanspruchung infolge des Dehnungswechselspiels bei Belastungsänderungen, an Stellen ungenügender Armierung oder bei Fehlstellen im Bleimantel, auftreten. Da der Ölverlust bei kleinen Rissen äusserst gering ist, wird er in der Regel erst nach langer Zeit durch die Öldrucküberwachung festgestellt.

4. Übertragungssystem

Da es nicht möglich ist, zu jeder einzelnen Messzelle einen eigenen Draht zu führen, müssen die Signale aller Messzellen über denselben Signalweg übermittelt werden. Dies erfordert Multiplexeinrichtungen, deren apparativer Aufwand aus Platz- und Kostengründen möglichst in der Zentrale konzentriert sein sollte. Die Auswahl der Art und Weise der Übermittlung muss mit Rücksicht auf die vorhandenen, durch den Starkstromteil der Anlage induzierten Störungen getroffen werden. Schliesslich muss ein System gewählt werden, das durch eine vorhandene Mikrotechnologie verwirklicht werden kann, um die geforderte Kleinheit und Zuverlässigkeit der Messzellenelektronik garantieren zu können.

Alle diese Forderungen konnten durch die Wahl eines neuartigen Übertragungssystems, das im folgenden beschrieben werden soll, erfüllt werden.

Im einfachsten Fall hat ein Übertragungssystem die Aufgabe, Zeichen von einem Sender zu einem räumlich getrennten Empfänger zu übertragen. Sender und Empfänger sind dabei über Drähte, über eine Funkverbindung oder eine Laserstrecke, allgemein über einen Übertragungsweg verbunden. Die zu übermittelnden Zeichen (z.B. die Buchstaben des Alphabetes oder die Symbole 0 und 1) können nicht direkt dem Übertragungsweg zugeführt werden, da nur physikalische Grössen, wie Spannungen oder Ströme, übertragen werden können.

5. Signalfunktionen

Es muss daher eine Spannungs- oder Strom-Trägerfunktion gewählt werden, welche vom Sender zum Empfänger läuft. Diese Funktion soll einen oder mehrere Parameter aufweisen, die verändert werden können. Dieser Parameter wird im Sen-

der durch die zu übermittelnden Zeichen verändert (moduliert) und im Empfänger wieder bestimmt. Als bekannteste Funktion zu diesem Zwecke kennt man in der klassischen Nachrichtentechnik die Sinusschwingung:

$$s(t) = A \sin (2\pi f t + \Phi)$$

Ihre veränderbaren Parameter sind die Amplitude A, die Frequenz f und die Phase Φ. Je nachdem, welchen Parameter man zur Informationsübertragung verändert, erhält man eine:

Amplitudenmodulation $s_A(t) = A(t) \cdot \sin (2\pi f t + \Phi)$
Frequenzmodulation $s_f(t) = A \cdot \sin [2\pi \cdot f(t)\, t + \Phi]$
oder
Phasenmodulation $s_\Phi(t) = A \cdot \sin [2\pi f t + \Phi(t)]$.

Die Sinusfunktion ist aber keineswegs die einzige Funktion, die sich in diesem Sinne zur Übertragung von Information über einen physikalischen Übertragungsweg eignet. Es existieren in der theoretischen Nachrichtentechnik eine Vielzahl solcher Funktionen mit einem oder mehreren veränderbaren Parametern [6].

Das im folgenden beschriebene Übertragungssystem beruht auf einer Klasse von Funktionen, deren Amplituden nur die beiden Werte -1 und $+1$ annehmen. Sie eignen sich daher ausserordentlich gut für eine Erzeugung durch digitale integrierte Schaltungen. Nach ihrem Entdecker *J.L. Walsh* werden diese Funktionen als Walsh-Funktionen [7] bezeichnet. Die Walshfunktionen $W(k, t)$ sind periodische Funktionen mit einer Grundperiode T. Diese ist in ein Raster von 2^n gleichen Zeitschritten unterteilt. Während der Dauer eines solchen Zeitschrittes bleibt der Wert der Walshfunktion konstant. Die Walshfunktionen sind gerade oder ungerade Funktionen und besitzen eine Anzahl Nulldurchgänge zwischen 0 und 2^n. Ihr kennzeichnender Parameter ist ihre Ordnungszahl k, die aus ihrer Parität und der Anzahl Nulldurchgänge gewonnen wird [8]. Der Verlauf der ersten 32 Walshfunktionen ist in Fig. 1 dargestellt. Sie können alle aus einem gemeinsamen Grundtakt (Rechteckschwingung des Zeitrasters) mittels eines Zählers und Koinzidenzgattern hergestellt werden [9], in Fig. 1 also aus der untersten Walshfunktion $W(31, t)$.

Für eine Informationsübertragung mittels Walshfunktionen stehen zwei Parameter zur Veränderung zur Verfügung: nämlich die Amplitude A zur Erzeugung einer Walshfunktions-Amplitudenmodulation

$$w_A(t) = A(t) \cdot W(k, t)$$

und die Ordnungszahl k zur Erzeugung einer Walshfunktions-Sequenzmodulation

$$w_k(t) = A \cdot W[k(t), t]$$

In Analogie zur «Frequenz» (halbe Anzahl Nulldurchgänge pro Sekunde) bei Sinusfunktionen wird bei Walshfunktionen der Begriff «Sequenz» (halbe Anzahl Nulldurchgänge pro Sekunde) verwendet. Damit könnte nun wie im klassischen Fall eine Punkt-zu-Punkt-Übertragung mittels Walshfunktions-Amplituden- oder Walshfunktions-Sequenzmodulation durchgeführt werden.

6. Ein Empfänger und viele Sender

Die Erweiterungsmöglichkeit auf ein System mit gleichzeitiger Informationsübermittlung von vielen Aussenstellen zu einer Zentrale beruht auf dem mathematischen Begriff der *Orthogonalität* der Walshfunktionen. Zwei periodische Funktionen mit derselben Periode T werden zueinander orthogonal genannt, wenn das Integral ihres Produktes über eine Periode verschwindet. Für zwei beliebige Walshfunktionen, die auf demselben Grundtakt aufgebaut sind, gilt:

$$\int_0^T W(i, t) \cdot W(j, t)\, \mathrm{dt} = \begin{cases} 0, \text{ wenn } i \neq j \\ 1, \text{ wenn } i = j \end{cases}$$

Diese Beziehung (Orthogonalitätsrelation) beinhaltet nun auch direkt das Empfängerprinzip bei Walshfunktionsübertragungen, und zwar sowohl bei Amplituden- wie auch bei Sequenzmodulation. Die damit beschriebene Empfangstechnik ist als Korrelationsempfang bekannt und wird in der Literatur für beliebige Signalfunktionen ausführlich behandelt [10]. In beiden Fällen wird im Empfänger ebenfalls eine Walshfunktion erzeugt. Diese interne Walshfunktion wird mit dem ankommenden Signal multipliziert und das Produkt exakt über eine Periode integriert. Sender- und Empfängerprinzip sind in Fig. 2 dargestellt.

Die Produktbildung und Integration über eine Periode kann bei allgemeinen Signalfunktionen auf einem Analogrechner durchgeführt werden. Bei Benützung der Walshfunktionen vereinfacht sich diese Operation jedoch ganz beträchtlich. Da die Walshfunktionen während jedes Zeitschrittes nur einen konstanten Wert annehmen (s. Fig. 1), genügt es, nur einen einzigen Probenwert pro Zeitschritt zu nehmen. Aus der Integration entsteht damit eine endliche Summe, deren Resultat das exakte Integrationsresultat ergibt.

Eine ebenso grosse Vereinfachung ergibt sich beim Multiplikator. Die im Empfänger erzeugte Walshfunktion besitzt nur die beiden Amplitudenwerte -1 und $+1$, so dass die Multiplikation einer Vorzeichenumschaltung des ankommenden Signales im Takte der internen Walshfunktion entspricht. Der ganze Empfänger lässt sich daher ebenfalls wieder aus digitalen Schaltkreisen aufbauen.

Das Schema der Punkt-zu-Punkt-Übertragung kann nun derart erweitert werden, dass jeder der vielen Aussenstellen eine ganz bestimmte Walsh-

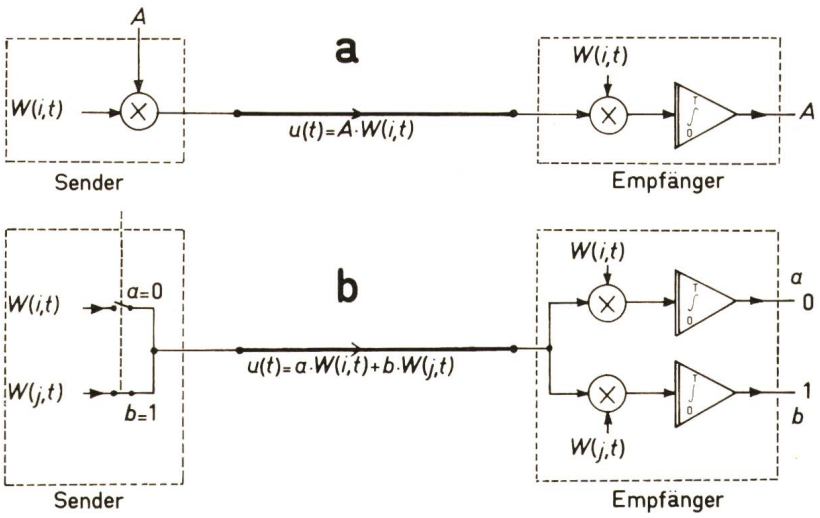

Fig. 2
Sender und Empfänger für Walshfunktionsamplitudenmodulation (*a*) und Walshfunktionssequenzmodulation (*b*)

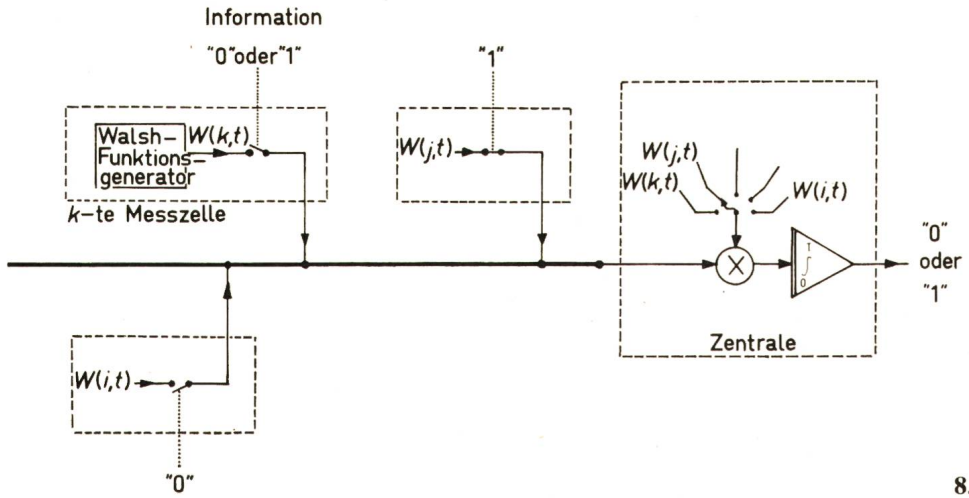

Fig. 3
Blockschaltbild von Messzellen und Zentrale

funktion zugeordnet wird. Zudem wird diese Walshfunktion von ihrer Aussenstelle je nach der zu übertragenden Information zu- oder abgeschaltet. Die derart zu- oder abgeschalteten Walshfunktionen werden nun additiv überlagert und dem Empfänger zugeführt. Das Signal am Empfänger besteht damit aus der Summe aller Messzellensignale:

$$S(t) = a \cdot W(1, t) + b \cdot W(2, t) + \ldots \quad + r \cdot W(n, t)$$
$$a, b, \ldots r = 0 \text{ oder } 1$$

Diese Summe wird darauf im Empfänger mit der gewünschten intern erzeugten Walshfunktion multipliziert und das Produkt über eine Periode integriert. Dabei geben alle Kreuzprodukte (d.h. die Produkte dieser Walshfunktion mit einer anderen Walshfunktion) gemäss der Orthogonalitätsrelation Null, und es bleibt einzig das Resultat:

$$q = \int_0^T r \cdot W(n, t) \cdot W(n, t)\, \mathrm{dt} = r$$

$q = 1$ bedeutet, dass die entsprechende Aussenstelle [mit der zugeordneten Walshfunktion $W(n, t)$] die Information «1» gesendet hat, $q = 0$ bedeutet die Information «0». Auf diese Weise werden mit diesem Prinzip zugleich Adresse *und* Information der Aussenstelle übertragen. Das Blockschaltbild dieses Systems ist in Fig. 3 gezeigt.

7. Mehrere Informationen pro Aussenstelle

Mit dem beschriebenen System ist man jetzt in der Lage, eine einzige binäre Information (Zustand «0» oder «1») von beliebig vielen Aussenstellen zu einer Zentrale zu senden. Dies genügt aber nicht zur geforderten Übermittlung der Temperatur und von Öl- und Wasseralarm.

Die Erweiterung des Übertragungssystems von einer binären Information oder einem bit auf 8 bit und damit auf 256 Sendemöglichkeiten pro Messzelle geschieht durch die Bildung eines Signalwortes. Das Signalwort wird in jeder Messzelle aus 8 aufeinanderfolgenden Perioden der Walshfunktion gebildet (Fig. 4).

Die einzelnen Walshfunktionsperiodenlängen des Signalwortes werden Signalbits genannt. Das Signalwort enthält damit 8 Signalbits. Diesen 8 Signalbits wird willkürlich eine physikalische Bedeutung zugewiesen. So wird im Beispiel der Fig. 4 mit dem Signalbit III der Ölalarm übertragen und mit Signalbits IV, V, VI und VII die in 16 Stufen codierte Temperatur. Die Informationsaufprägung geschieht bitweise. Ist die zu einem Signalbit gehörende Information «1», so wird die zugehörige Periode der Walshfunktion gesendet, andernfalls wird sie unterdrückt. Entdeckt die Zentrale z.B. neben anderen Walshfunktionen die Walshfunktion $W(18, t)$ im Signalbit III, so bedeutet dies, dass die Messzelle Nr. 18 Ölalarm sendet.

8. Synchronisation

Ein ganz wesentlicher Punkt des beschriebenen Übertragungssystems ist die Synchronizität. Einerseits müssen die einzelnen Walshfunktionen alle untereinander denselben Zeitnullpunkt und dieselbe Taktfrequenz (Zeitraster) haben und anderseits müssen alle Aussenstellen und auch die Zentrale jeweils den Beginn des Signalwortes genau kennen. Die Synchronisation wird dadurch erzwungen, dass von der Zentrale zu den Aussenstellen jeweils zu Beginn des Signalwortes ein starker Synchronisationsimpuls gesendet wird. Dieser Synchronisationsimpuls signalisiert jeder Aussenstelle den Beginn des Signalwortes und zugleich den Nullpunkt der ersten Walshfunktionsperiode.

Weiter wird ebenfalls von der Zentrale zu den Aussenstellen eine Taktfrequenz (Rechteckschwingung) übermittelt, aus der in jeder einzelnen Aussenstelle die individuelle Walshfunktion gebildet wird. Auch diese Taktschwingung kann von der Zentrale mit grosser Energie ausgesendet werden. Ein Verlust der Synchronisation bedeutet den Verlust der Orthogonalität der Walshfunktionen untereinander und damit den Ausfall des Übertragungssystems bis zum nächsten Synchronisationsimpuls.

Im ausgeführten Versuchssystem wurde je für Signalspannung, Synchronisationsimpulse und Taktschwingung eine eigene Leitung verwendet. Die additive Überlagerung der Messzellensignale auf der Signalleitung geschieht durch eine Stromüberlagerung und Summation an einem Widerstand in der Zentrale. Damit ergibt sich ein verfeinertes Blockschaltbild nach Fig. 5.

9. Störunempfindlicher Empfang

Am Eingang des Empfängers steht stets die synchrone Summe *aller* Messzellensignale zur Verfügung. Es ist damit möglich, je nach dem apparativen Aufwand des Empfängers,

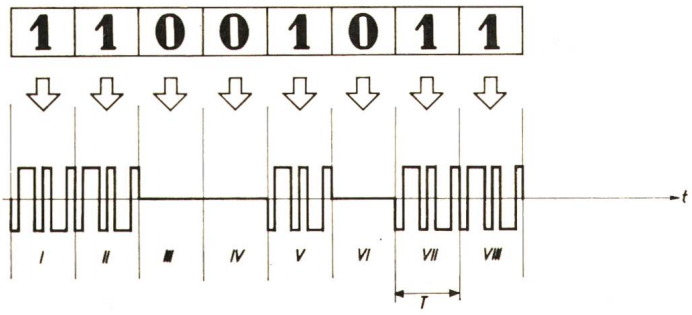

Fig. 4
Signalwort aus 8 getasteten Perioden einer Walshfunktion

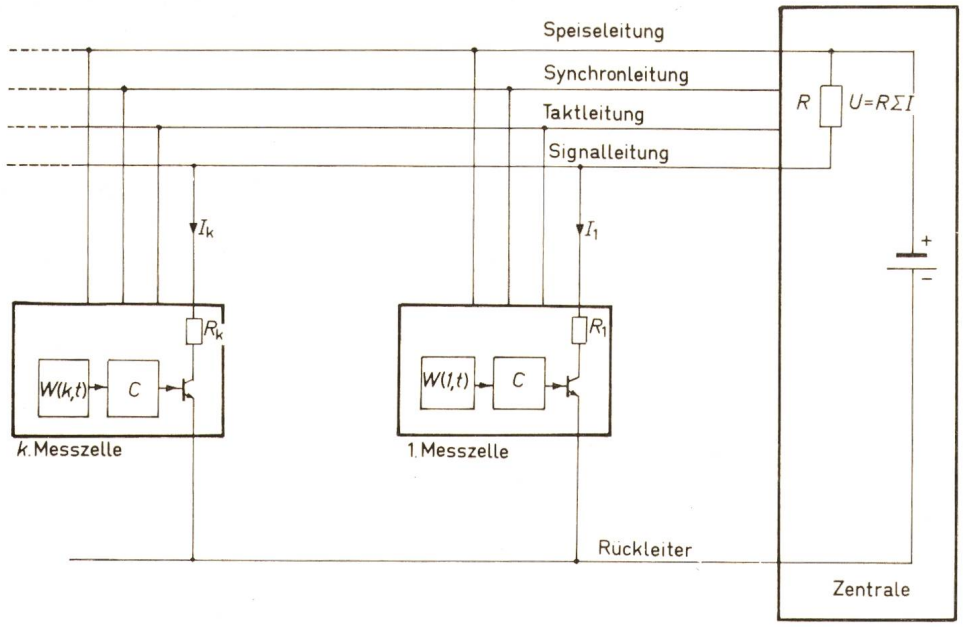

Fig. 5
Blockschema der Überwachungsanlage
W (i, t) Walshfunktionsgeneratoren
C Logik zur Bildung des Signalwortes

nur eine einzige Messzelle, Gruppen von Messzellen, oder alle Messzellen gleichzeitig zu empfangen. In jedem der drei Fälle steht das Resultat nach der gleichen Zeit von 8 Walshfunktionsperioden zur Verfügung.

Das gewählte Übertragungssystem erlaubt eine wesentliche Erhöhung der Störsicherheit, indem lediglich mehrfach hintereinander empfangen und die Resultate für jedes einzelne Signalbit gemittelt werden. Dies entspricht einer Korrelation über längere Zeit, so z.B. über 2, 4 oder sogar 16 Signalworte, anstelle der Korrelation über ein einziges Signalwort, wie beschrieben wurde. Dabei muss an den einzelnen Messzellen überhaupt nichts verändert werden. Nur in der Zentrale wird die Auswertezeit vergrössert. Die Störsicherheit des Systems kann sogar während des Betriebes dem Betrage der auf dem Übertragungsweg vorhandenen Störungen angepasst werden. Eine solche Auswertung über mehrere Signalworte setzt aber eine gewisse Konstanz der Messwerte während der Korrelationsdauer voraus.

Diese Voraussetzung ist bei der Temperaturmessung an einem Starkstromkabel gegeben, da die thermische Zeitkonstante eines Kabels in der Grössenordnung von Stunden, die Auswertezeit des Empfängers aber auch bei einer Korrelation über 16 Signalworte in der Grössenordnung weniger Sekunden liegt.

Die theoretisch errechnete Störsicherheit [11] (bei vorausgesetzter idealer Synchronisation) und die am Versuchssystem gemessenen Werte für Gaußsches Rauschen geben sehr hohe Werte und stimmen gut miteinander überein.

10. Versuchssystem

Mit dem beschriebenen, neuartigen Übertragungssystem der Walshfunktionen konnte eine Versuchsausführung eines Kabelüberwachungssystems gebaut werden, das den anfangs gestellten Randbedingungen genügt. An den Aussenstellen des Übertragungssystems befinden sich die Messzellen. Durch elektrische Messfühler wird die Temperatur gemessen sowie das Vorhandensein von Öl oder Wasser festgestellt.

Die Mess-Sonde zum Feststellen von Wasser besteht aus einem trockenen, elektrolytgetränkten Filterpapier, das im feuchten Zustand einen um mehrere Zehnerpotenzen kleineren Widerstand aufweist. Auch die Öl-Sonde ist ein elektrischer Widerstand aus einem halbleitenden Kunststoff, der bei Kontakt mit dem Öl seinen Widerstandswert ändert. Bei Ölzutritt wird die Öl-Sonde zerstört und muss ausgewechselt werden. Die Temperatur wird mit NTC-Widerständen gemessen.

Das beschriebene Überwachungssystem wurde am Institut für technische Physik und der AFIF (Abteilung für Industrielle Forschung) an der ETHZ unter der Leitung von Prof. Dr. h.c. *E. Baumann* entwickelt. Ihm und seinen Mitarbeitern, insbesondere Dr. *A. Shah,* danken die Autoren für die zahlreichen Anregungen und Detailstudien, die zu dieser Lösung führten. Ein weiterer Dank richtet sich an die Kabelwerke Brugg AG, die den Forschungsauftrag förderten, sowie an Dir. *B. Capol,* den Initianten dieser Arbeit.

Literatur

[1] *W. Petry:* Thermische Dauerbelastbarkeit von Kabeln und Grenzen der konventionellen Kabeltechnik. ETZ-A 92(1971)12, S. 725...731.
[2] *C. J. Baldwin, R. J. Nease* et *L. A. Kilar:* Technique de calcul du comportement thermique des réseaux souterrains de transport. Rapport Cigré No. 21-04, 1972.
[3] *G. McDonald, E. D. Eich* and *J. Engelhardt:* APS proves out underground cable monitoring system. Electrical World 166(1966)9, p. 32...33.
[4] *J. Kortschinski* and *J. R. Leslie:* A power-cable temperature monitoring system. Trans. IEEE PAS 89(1970)7, p. 1429...1433.
[5] *D. H. Booth* and *K. J. H. Hacke:* Monitoring of cable external surface temperatures. Progress in overhead lines and cables für 220 kV and above. IEE Conference Publication 44(1968)-, p. 11...16.
[6] *H. Harmuth:* Die Orthogonalteilung als Verallgemeinerung der Zeit- und Frequenzteilung. AEÜ 18(1964)1, p. 43...50.
[7] *J. L. Walsh:* A closed set of normal orthogonal functions. American Journal of Mathematics 45(1923)1, p. 5...24.
[8] *O. Cardot:* Définition analytique simple des fonctions de Walsh et application à la détermination exacte de leurs propriétés spectrales. Annales Télécommun. 27(1972)1/2, p. 31...47.
[9] *C. Bösswetter:* Die Erzeugung von Walshfunktionen. NTZ 23(1970)4, S. 201...207.
[10] *Y. W. Lee:* Statistical theory of communication. New York/London, John Wiley, 1960.
[11] *F. Furrer, A. Shah* and *M. Maurer:* A Walsh-function power-cable monitoring system. Proc. Symposium Applications of Walsh Functions 3(1972)–, p. 89...93.

Adressen der Autoren:
F. J. Furrer, Institut für Technische Physik, Eidgenössische Technische Hochschule, Aussenstation Hönggerberg, 8049 Zürich und *B. W. Weber,* F & E Abt., Kabelwerke Brugg AG, 5200 Brugg.