

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 42 (1951)
Heft: 14

Artikel: Kabelringwandler für Erdschlussschutz
Autor: Gross, Eric T.B.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061007>

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: 15.01.2026

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

Lage des Prüfkörpers	Temperatur °C	Verdampfte Menge mg/cm ² /30 min
Mitte, Schnittpunkt der Raum- diagonalen	71	36,9
Horizontale Mittelebene, hinten rechts, 5 cm Abstand von der Wand	71	50,0
Horizontale Mittelebene, vorn links, 5 cm Abstand von der Wand	71	43,3
Mitte, Schnittpunkt der Raum- diagonalen	70	27,3 27,5 28,8

Versuche haben bestätigt, dass, wie zu erwarten war, die Gewichtsabnahme genau proportional der Zeit ist, sobald der Prüfkörper die Temperatur des Ofens angenommen hat.

Für die

praktische Prüfung

hat folgendes Vorgehen sich als geeignet erwiesen:

Vorerst wird die Oberfläche des Prüfkörpers durch Ausmessen mittels der Schiebelehre bestimmt. Dann wird der Prüfkörper an einer bestimmten Stelle des auf genau 70 °C eingestellten Trockenschrankes frei aufgehängt und während 10 min dort belassen, während welcher Zeit er die Temperatur von 70 °C angenähert angenommen hat. Nun wird möglichst rasch auf einer gedämpften Waage bei bereits aufgelegten Gewichten das genaue Gewicht des Prüfkörpers bestimmt, worauf dieser sofort wieder in den Schrank eingehängt wird. Die Wägung soll in weniger als einer Minute beendet sein, so dass keine wesentliche Abkühlung des Prüfkörpers eintritt. Nach 30 min wird der Prüfkörper wieder gewogen. Es empfiehlt sich, die Prüfkörper nur einmal zu verwenden, da bei Ver-

dampfung von viel Naphthalin die Oberfläche aufgeraut wird und nicht mehr genau gemessen werden kann.

Resultate

Die verdampfte Menge wird angegeben in mg/cm²/30 min.

Als Beispiel seien die Resultate mitgeteilt, die an 3 Trockenschränken verschiedener handelsüblicher Konstruktion erhalten wurden (Tabelle I).

Folgerungen

Die vorliegenden Messungen lassen folgende Schlüsse zu, die beim Arbeiten mit Trockenschränken, wo die langsame Verdampfung von flüchtigen Stoffen eine Rolle spielt, zu beachten sind:

Die Verdampfungswirkung von 3 handelsüblichen Trockenschränken, gemessen im Zentrum, steht im Verhältnis von 8 : 16 : 36.

Bei den Schränken 1 und 2 mit geringer Luftumwälzung ist die Verdampfung an allen Stellen des Schrankes von der gleichen Grössenordnung.

Im Schrank 3 kann die Verdampfung an verschiedenen Stellen im Verhältnis von etwa 3 : 5 variieren, obwohl die Temperatur mit dem Thermometer gemessen überall die gleiche ist. Diese Streuung ist bedingt durch ungleichmässige Luftgeschwindigkeit, die eine Folge der durch die Anordnung der Ein- und Austrittöffnungen entstehenden Wirbelbildung ist.

Bei intensiver Zirkulation bewirken kleine Temperaturänderungen starke Änderungen der Verdampfung.

Adressen der Autoren:

Dr. sc. techn. Max Zürcher, dipl. Ingenieur-Chemiker, Materialprüfanstalt des SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.

Jean Lüder, dipl. Ingenieur-Chemiker, Materialprüfanstalt des SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.

Kabelringwandler für Erdschlussschutz *)

Von Eric T. B. Gross, Chicago

621.314.222.08 : 621.316.925

Zur selektiven Anzeige und Abschaltung von Erdschlüssen in Hochspannungsnetzen werden Erdschlussrelais verwendet. Es wird gezeigt, dass Ringwandler in Kabelnetzen zur Erhöhung der Empfindlichkeit mit Vorteil verwendet werden, dass es jedoch notwendig ist, den Fehlwinkel dieser Kabelringwandler zu korrigieren. Auch beim Gehäuseschlussschutz elektrischer Generatoren ermöglichen Kabelringwandler eine Steigerung der Empfindlichkeit; ein wattmetrisches Erdschlussrelais neuer Anschlussart wird beschrieben.

La signalisation et le déclenchement sélectifs de mises à la terre accidentelles dans les réseaux à haute tension s'opère au moyen de relais. L'auteur montre que la sensibilité de ces relais peut être augmentée, dans les réseaux en câbles, par l'emploi de transformateurs toroïdaux, mais qu'il est nécessaire d'en corriger l'angle d'erreur. Ces transformateurs augmentent également la sensibilité des relais de protection contre les mises accidentelles à la masse des générateurs. L'auteur décrit un relais wattmétrique branché selon ce nouveau système.

I. Vorteile

der Verwendung von Kabelringwandlern

Erdschlussrelais, welche für die Abschaltung oder für die Anzeige von Erdschlüssen in Hochspannungsnetzen verwendet werden, erhalten den Unsymmetriestrom zugeführt. Der Unsymmetriestrom eines Zweiges kann auf verschiedene Arten gewonnen werden. Allgemein verwendbar ist der Zusammen-

schluss der Messwicklungen von Stromwandlern in jeder Phase (Unsymmetrie- oder Summenschal-

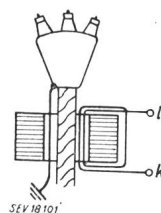


Fig. 1
Kabelringwandler

tung). In Kabelnetzen sind aber auch Kabelringwandler (Fig. 1) geeignet, die besonders bei klei-

*) Das Manuskript wurde uns vor einigen Jahren eingereicht, konnte aber wegen Rummangels nicht früher veröffentlicht werden. Red.

nen primären Unsymmetrieströmen grosse Vorteile bringen. Da bei Kabelringwandlern Fehlerquellen, die bei der Verwendung gewöhnlicher Stromwandler auftreten, beseitigt sind, wird Kabelringwandlern immer dann der Vorteil gegeben, wenn ihre Anwendung möglich ist. Bei der Verwendung gewöhnlicher Stromwandler werden deren Sekundärwicklungen in Summenschaltung miteinander verbunden. Im erdschlussfreien, also unsymmetriestromfreien Betrieb ist die Summe der Primärströme in den drei Phasen eines Drehstromzweiges gleich Null, so dass auch sekundär kein Unsymmetriestrom vorhanden sein sollte. Da die drei Stromwandler eines Zweiges jedoch nicht völlig übereinstimmen, wird in der Regel ein, wenn auch geringer, so doch merkbarer Unsymmetriestrom auf der Sekundärseite fliessen, der Falschstrom genannt wird. Schutzrelais dürfen auf diesen Strom, der ja einen primären Fehler nur vortäuscht, nicht ansprechen. Durch den Falschstrom wird also der zulässigen Empfindlichkeit [1]¹⁾ der Relais eine Grenze gesetzt. Bei Verwendung von Kabelringwandlern, die gemäss Fig. 1 aus einem bewickelten Eisenring bestehen, durch dessen Inneres das Kabel durchgeführt ist, treten derartige Falschströme nicht auf, weil eben nur ein einziger Wandler vorhanden ist. Die Verwendung von Kabelringwandlern ermöglicht deshalb, die Empfindlichkeit des Erdschlussschutzes ausserordentlich zu steigern. Primäre Unsymmetrieströme (Erdschlussrestströme) von 1 bis 2 A und weniger können selbst bei Betriebsströmen (Kabelnennstrom) von einigen 100 A noch einwandfrei erfasst werden. Im folgenden wird über die Ergebnisse einiger theoretischer und praktischer Untersuchungen berichtet, welche hochempfindliche (wattmetrische) Erdschlussrelais betreffen, deren Stromwicklung von Kabelringwandlern gespeist wird. Wir behandeln zunächst die Erdschlussanzeige in radialen kompensierten Kabelnetzen und dann den Gehäuseschlusschutz von Generatoren, die auf Unterspannungs-Sammelschienen (6-kV- oder 10-kV-Schienen und -Netze) arbeiten.

II. Kabelringwandler für Erdschlussrelais in Netzen

Die Praxis des Betriebes mit Erdschlußspulen hat gezeigt, dass es vorteilhaft ist, Erdschlußspulen auch in Kabelnetzen anzuwenden, sobald der Erdschlußstrom solcher Netze etwa 5...10 A überschreitet. Auf jeden Fall sollen Kabelnetze kompensiert werden, wenn der Erdschlußstrom 20 A erreicht. Bei kleinen und mittleren Betriebsspannungen beträgt die unkompensierte Wirkkomponente des Erdschlußstromes, der massgebende Erdschlußreststrom, etwa 5 %. Wird also angenommen, dass der gesamte kapazitive Erdschlußstrom 20 A beträgt, dann verbleibt bei exakter Kompensierung an der Erdschlußstelle ein Wirkreststrom von 1 A. Bei kleinerem Netzumfange ist der über den Kabelringwandler vom Erdschlussrelais zu erfassende Strom noch kleiner. Es ist durchaus möglich, in Radialnetzen, um die es sich häufig handelt, selbst

¹⁾ siehe Literatur am Schluss.

bei so geringen primären Erdschlussrestströmen und bei Betriebsströmen von mehreren 100 A, eine einwandfreie Erdschlussanzeige durch wattmetrische Erdschlussrelais zu erreichen. Wenn Ringe oder Leitungsschleifen vorhanden sind, ist es wohl immer möglich, eine vorübergehende Auftrennung durchzuführen und das Netz dadurch in ein Radialnetz zu verwandeln. Wir beschränken uns im folgenden auf die Behandlung solcher Radialnetze. In Ringnetzen können schon primär tatsächlich nicht existierende Wirkkomponenten vorgetäuscht werden, so dass eigentlich jedes vermaschte Netz in dieser Hinsicht im einzelnen genau untersucht werden muss. Für die hier betrachteten Radialnetze hingegen gelten unsere grundsätzlichen Überlegungen ganz allgemein. Vorausgesetzt wird nur, dass die Netze im erdschlussfreien Betrieb symmetrisch sind und dass die Symmetriebedingung (Gleichheit der Erdkapazitäten) nicht nur für das ganze Netz, sondern auch für jeden Zweig allein gilt²⁾.

Obwohl wir unsere Überlegungen für kompensierte Netze führen, bereitet die Übertragung auf nicht kompensierte Netze keinerlei Schwierigkeiten. An Stelle von Wirkleistungsrelais ($\cos\varphi$ -Relais) sind dann Blindleistungsrelais ($\sin\varphi$ -Relais) zu verwenden. Stromrelais allein kämen nur bei Netzen mit vielen Zweigen und sehr grossen Erdschlussströmen in Frage, weil nur dann ein Intensitätsvergleich des mit dem Fehler behafteten Zweiges (grosser Unsymmetriestrom) mit den fehlerfreien Zweigen (kleiner Unsymmetriestrom) durchgeführt werden kann. Bei grossen Erdschlußströmen wird aber vorteilhaft eine Erdschlußspule zur Kompensierung vorgesehen [2]. Wichtig bei der Verwendung von Kabelringwandlern ist noch, dass wattmetrische Relais viel empfindlicher gebaut werden können als gewöhnliche Stromrelais. Im Abschnitt III über Generatorschutz wird hierauf noch eingegangen.

Es ist zu erwarten, dass Kabelringwandler als Einleiterwandler, wenn sie primär von Strömen I geringer Intensität gespeist werden — es kommen bestenfalls einige Ampère in Frage — den Sekundärstrom I' mit grossem Übersetzungsfehler

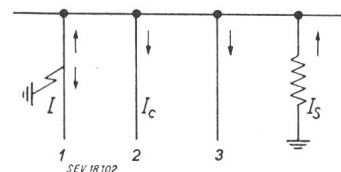


Fig. 2

Radialnetz mit Erdschlußspule, Erdschluss an Zweig 1 (in einpoliger Darstellung)

I Erdschlussreststrom in Zweig 1; I_c kapazitiver Erdschlussstrom in Zweig 2; I_s Löschstrom der Erdschlußspule

(Stromfehler) und Fehlwinkel liefern. Beim Zweig, an dem der Erdschluss liegt, stören diese Eigenschaften nicht weiter, jedoch muss bei den fehlerfreien Zweigen dafür gesorgt werden, dass sicher keine Falschmeldung eintritt. In Fig. 2 ist in ein-

²⁾ In Kabelnetzen ist diese Bedingung wohl immer erfüllt. Durch kapazitive Unsymmetrien (in Freileitungsnetzen) können Wirkkomponenten vorgetäuscht werden, worauf bei Verwendung von Erdschlussrelais mit gesteigerter Empfindlichkeit geachtet werden muss.

poliger Darstellung eine Sammelschiene mit drei Zweigen und einer Erdschlußspule gezeichnet. An der Erdschlußstelle fliesst der Reststrom I , der gemäss Fig. 3 durch vektorielle Zusammensetzung aus

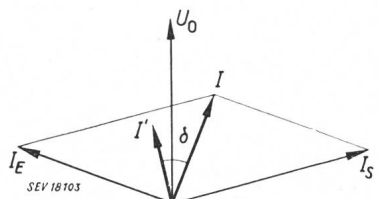


Fig. 3

Kompensierungsdiagramm

U_0 Nullpunktspannung; I_E Erdschlußstrom des Netzes; I_S Lösstrom der Spule; I Erdschlußreststrom; I' Sekundärstrom im Relais; δ Phasenverschiebung

dem kapazitiven Erdschlußstrom I_E des Netzes und dem Strom I_S der Erdschlußspule entsteht. Bei nicht genauer Kompensierung, die in Fig. 3 angenommen ist, fällt der Reststrom I nicht genau in die Richtung der treibenden Nullpunktspannung U_0 (der Deutlichkeit halber sind in Fig. 3 die in Richtung von U_0 fallenden Komponenten von I_E und I_S zu gross angenommen; tatsächlich stehen sowohl I_E als auch I_S auf U_0 nahezu senkrecht). An die Kabelringwandler wird die Stromwicklung des Erdschlussrelais angeschlossen. Das Erdschlussrelais stellt eine induktive Belastung des Wandlers dar, und aus diesem Grunde eilt der dem Primärstrom I des Kabelringwandlers entsprechende Sekundärstrom I' im Relais gegenüber I um einen Phasenverschiebungswinkel δ vor. Beim Zweig mit dem Erdfehler stört diese Phasenverschiebung nicht weiter, denn die Wirkkomponente wird dadurch nur unwesentlich geändert.

Beachten wir nun, dass die Phasenlage des Erdschlussstromes I_E in Bezug auf die Nullpunktspannung U_0 (Fig. 3) voreilend ist und dass sich der Erdschlussstrom bei den Zweigen, welche keinen Erdschluss besitzen, bei Berücksichtigung des richtungsabhängigen Anschlusses der Erdschlussrelais, um genau 180° umkehrt (Fig. 4), so wird sofort klar, dass wegen des Fehlwinkels δ auch ein Relais eines gesunden Zweiges ansprechen kann. In Fig. 4

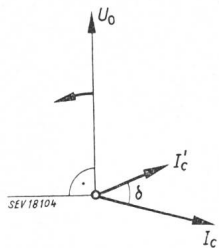


Fig. 4

Diagramm des Unsymmetriestromes in einem Zweig ohne Erdschluss

U_0 Nullpunktspannung; I_c primärer Erdschlussstrom; I'_c sekundärer Erdschlussstrom; δ Fehlwinkel des Kabelringwandlers

sind die Verhältnisse für den Zweig 2 der Fig. 2 gezeichnet. Der an den Sammelschienen vorhandene anteilige kapazitive Erdschlussstrom ist mit I_c bezeichnet. Er eilt gegenüber U_0 um einen Winkel nach, der grösser ist als 90° . Seine Wirkkomponente ist negativ, so dass das zugehörige Erdschlussrelais unter dem primären Strom I_c nicht ansprechen würde. Nun ist aber der Fehlwinkel δ des Kabelringwandlers zu beachten, der zwischen etwa 5°

und 20° liegt. Auf der Sekundärseite, also das Erdschlussrelais durchfliessend, kommt tatsächlich ein Strom I'_c zur Wirkung, der in Bezug auf U_0 eine positive Wirkkomponente besitzt. Es könnte also zu einem falschen Ansprechen des Erdschlussrelais kommen, und zwar würden zusammen mit dem Erdschlussrelais des Zweiges, der mit dem Erdschluss wirklich behaftet ist, auch noch Relais anderer Zweige ansprechen und zwar, wie unten gezeigt wird, vornehmlich solche grosser Ausdehnung, also mit grossem Erdschlussstrom I_c . Aus Fig. 4 lässt sich unmittelbar ableiten, wie das falsche Ansprechen von Erdschlussrelais bei den Kabelzweigen, die nicht mit dem Erdschluss behaftet sind, vermieden werden kann. Es muss einfach die Phasenlage der Nullpunktspannung U_0 gemäss dem Pfeil in Fig. 4 solange verdreht werden, bis die in die neue Richtung von U_0 fallende Komponente von I'_c so klein geworden ist, dass ihr Drehmoment zur Relaisbetätigung nicht mehr ausreicht oder, mit anderen Worten, die durch den Fehlwinkel δ hervorgerufene Verdrehung des Sekundärstromes I'_c gegenüber dem Primär-Unsymmetriestrom I_c muss durch eine gleichartige Drehung der Spannung ausgeglichen werden. Man könnte ebenso daran denken, den Sekundärstrom I'_c zurückzudrehen, jedoch empfiehlt sich diese Massnahme deshalb nicht, weil damit zwangsläufig eine weitere Vergrösserung der Wandlerfehler verbunden wäre. Viel einfacher und ebenso leicht zum Ziele führt die Verdrehung der Spannung. Die dem Erdschlussrelais zuzuführende Spannung U_R wird also gegenüber U_0 voreilen müssen, besonders bei exakter Kompensierung des Stromwandler-Fehlwinkels um denselben Betrag δ . Diese Verdrehung lässt sich leicht ausführen. Beispielsweise wird gemäss Fig. 5 der Stromwandler in

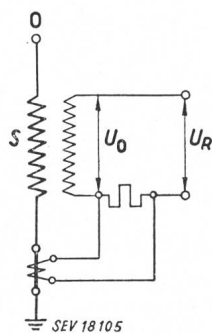


Fig. 5

Schaltung zur Phasenverdrehung der Relaisspannung

S Erdschlussspule; U_0 Nullpunktspannung; U_R Relaisspannung

Serie mit der Primärwicklung der Erdschlussspule S durch einen Widerstand belastet, der in der Verbindungsleitung von der Messwicklung der Erdschlussspule zu den Relaisklemmen eingeschaltet ist. Der Spannungsabfall an diesem geringen Widerstand ist mit dem Strom durch die Erdschlussspule in Phase. Die Spannung U_0 jedoch steht auf dem Strom durch die Erdschlussspule senkrecht, so dass durch die Serienschaltung eine Spannung U_R entsteht, die bei entsprechender Polarität gegenüber U_0 voreilt. Auf diese Art wird die nötige Voreilung der Relaisspannung U_R für alle Erdschlussrelais in der Station erzeugt. Ebenfalls unter Verwendung eines Widerstandes zeigt Fig. 6 eine andere Ausführung, die wegen ihrer leichten Einstell-

barkeit mit Vorteil wiederholt angewendet wurde. Es wird einfach in den Spannungskreis des Relais ein entsprechend dimensionierter zusätzlicher Widerstand geschaltet. Ist U_0 gemäss Fig. 6 die sekun-

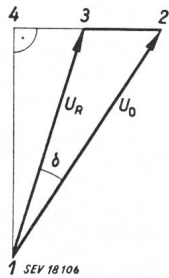


Fig. 6

Vektordiagramm zur Phasenverdre-
hung der Relaisspannung, erzeugt durch einen
Vorschaltwiderstand

U_0 Nullpunktspannung; U_R Relaisspan-
nung; δ Voreilwinkel

däre Nullpunktspannung, so entspricht dem Ab-
stand 3—2 der Spannungsabfall an diesem Vor-
schaltwiderstand, der den Voreilwinkel δ und die
Relaisspannung U_R erzeugt. Die Grössen 1—4
und 4—3 stellen die im Relais wirksamen Span-
nungskomponenten dar.

Bei bekannten Dimensionen des Kabelringwand-
lers können Fehlwinkel und Übersetzungsfehler
auf bekannte Weise voraus berechnet werden. Man
geht dabei (Fig. 7) vom Sekundärstrom I' aus, der

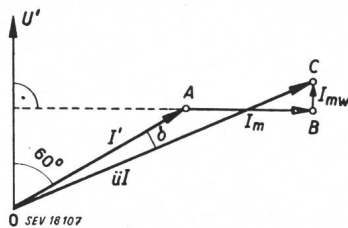


Fig. 7

Vektordiagramm des Kabelringwandlers bei vorwiegend
induktiver Belastung

U' sekundäre Klemmenspannung des Wandlers; I' Sekundär-
strom des Wandlers; I_m Magnetisierungsstrom; I_{mw} Verlust-
strom; $\ddot{u}I$ auf die Sekundärseite reduzierter Primärstrom;
 δ Fehlwinkel des Wandlers

gegenüber der Sekundär-Klemmenspannung U' des
Wandlers um den Phasenwinkel der Belastung (60°
im Beispiel Fig. 7 für Erdschlussrelais samt Zulei-
tung) nacheilend aufzutragen ist. Aus der Klem-
menspannung U' lässt sich die Induktion berech-
nen und dann aus Magnetisierungslinien der Ma-
gnetisierungsstrom I_m und seine Verlustkomponente
 I_{mw} bestimmen. Die Abschlusslinie OC des Dia-
grammes ist dann der mit dem Übersetzungsverhät-
nis \ddot{u} reduzierte Primärstrom I . Aus dem Diagramm
lassen sich Fehlwinkel δ und Übersetzungsfehler
 $f = 100 \frac{\ddot{u} I - I'}{\ddot{u} I}$ unmittelbar ableiten. Es ist zweck-

mässig, solche Berechnungen durch experimentelle
Untersuchungen zu vervollständigen [3]. Gemäss
Fig. 8 wird dabei eine Schaltung verwendet, welche
gestattet, sowohl den Strom im Kabelringwandler K
bzw. im Erdschlussrelais ER der Grösse nach, als
auch die Phase der Spannung am Erdschlussrelais
(bei konstanter Spannung) zu verändern. Die Ein-
stellung des Stromes erfolgt mittels eines Schiebe-
widerstandes R , die Einstellung der Spannung der
Phase und Grösse nach durch einen Drehtransfor-
mator DT und durch Potentiometer P . Sämtliche

Grössen werden durch entsprechende Messinstru-
mente überwacht. Der Strom wird nur auf der Pri-
märseite gemessen, weil die Sekundärseite des Ka-
belringwandlers keine zusätzlichen Belastungen er-

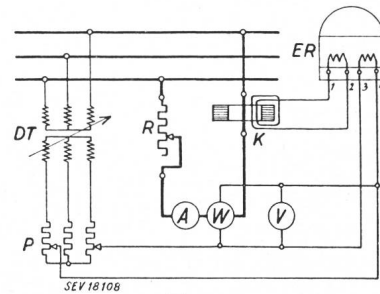


Fig. 8

Schaltung zur Untersuchung der Strom- und
Spannungsverhältnisse

DT Drehtransformator; P Potentiometer; R Schiebewi-
derstand; K Kabelringwandler; ER Erdschlussrelais; A Ampère-
meter; W Wattmeter; V Voltmeter

fahren darf, da sonst die Nachbildung durch die
Impedanzen der Messinstrumente gegenüber den
tatsächlichen Verhältnissen verändert würde. Bei
der Messung wird ein bestimmter Primärstrom I
eingestellt und dann die Phasenlage der Spannung
so lange verändert, bis das eine Mal positive und
das andere Mal negative Ausschläge der Relais be-
ginnen. Der mittlere Phasenwinkel zwischen diesen
beiden Grenzzuständen entspricht dann der Null-
lage. Bei einer Kontrollmessung werden die glei-
chen Versuche mit kommutiertem Strom ausge-
führt. Da auch die Relais an sich in der Regel nicht
genau auf 0° abgeglichen sind, empfiehlt es sich,
zunächst die Relais allein zu überprüfen. Es wer-
den dabei der Fig. 8 analoge Schaltungen verwen-
det, jedoch entfällt der Kabelringwandler K ; an
seine Stelle tritt die Stromwicklung des Erdschluss-
relais (Klemmen 1, 2) unmittelbar. Es ist nicht
nötig, die Erdschlussrelais allein auf Null abzuglei-
chen, wenn die Abgleichung durch separate Vor-
widerstände (gemäss Fig. 6) bei jedem Erdschluss-
relais einzeln erfolgt, weil hierbei zugleich mit dem
Winkelfehler δ des Kabelringwandlers auch der
Fehlwinkel des Relais korrigiert werden kann. Die
Ergebnisse einer solchen Berechnungs- und Mess-

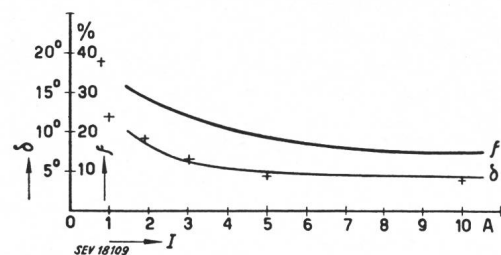


Fig. 9

Fehlwinkel δ und Übersetzungsfehler f eines
Kabelringwandlers in Abhängigkeit vom Erdschlussstrom I

reihe sind in Fig. 9 eingetragen. Man sieht, dass
Fehlwinkel δ und Übersetzungsfehler f mit abneh-
mendem Strom stark anwachsen; dabei zeigen die
Kreuze Messpunkte für δ , die ausgezogenen Kur-
venzüge Berechnungsergebnisse. Die Übereinstim-
mung ist hinreichend.

Obwohl die für Falschanzeige von Erdschlussrelais in erster Linie massgebenden Fehlwinkel bei kleinen Primärströmen I -Werte bis zu 20° erreichen, neigen doch die längeren Kabelzweige mit den grösseren Strömen eher zu unrichtiger Betätigung der Erdschlussrelais. In Fig. 10 ist die in Richtung von U_o fallende Komponente

$$I_u' = \ddot{u} I \sin \delta \left(1 - \frac{f}{100}\right)$$

des Sekundärstromes I' in Abhängigkeit von I dargestellt. Dabei ist angenommen, dass I (der Erdschlußstrom des Kabelzweiges, in Fig. 4 mit I_c bezeichnet) gegenüber U_o um genau 90° nach-eilt. Für f und δ sind die Werte aus Fig. 9 eingesetzt und \ddot{u} ist wieder das Übersetzungsverhältnis, also der reziproke Wert der Sekundärwindungszahl w des Kabelringwandlers. Die wesentlichen Daten des Kabelringwandlers, der den Untersuchungen zugrunde lag, sind: Wirksamer Eisenquerschnitt $q = 52 \text{ cm}^2$, mittlere Eisenweglänge $l = 47 \text{ cm}$ und sekundäre Windungszahl $w = 100$. Der Blindwiderstand des Stromkreises der Erdschlussrelais samt Zuleitung betrug $4,6 \Omega$ und der Gleichstromwiderstand $2,5 \Omega$.

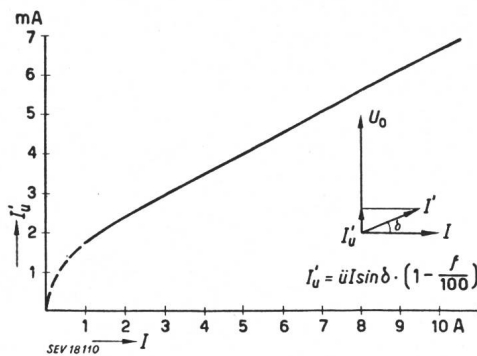


Fig. 10

Abhängigkeit der durch den Fehlwinkel δ entstehenden Wirkstromkomponente I_u' vom Erdschlußstrom I

\ddot{u} Übersetzungsverhältnis des Wandlers ($\ddot{u} = \frac{1}{w}$);

w Sekundärwindungszahl des Wandlers; f Übersetzungsfehler
 $(f = 100 \frac{\ddot{u}I - I'}{\ddot{u}I})$

Fig. 10 zeigt, dass der störende Strom I_u' mit dem primären Erdschlußstrom zunimmt. Da die Empfindlichkeit der Erdschlussrelais durch den kleinsten Wirkreststrom festgelegt ist, der im praktischen Betrieb beim Zweig mit dem Erdschluss auftritt, muss I_u' kleiner gehalten werden als diese Empfindlichkeitsgrenze der Erdschlussrelais. Beträgt beispielsweise der kleinste tatsächlich vorkommende Wirkreststrom auf die Sekundärseite bezogen und mit Übersetzungsfehler und Fehlwinkel korrigiert $0,005 \text{ A}$, dann muss U_R gegenüber U_o (nach Fig. 5 oder Fig. 6) so verdreht werden, dass der verbleibende, von δ herrührende Strom I_u' bei den erdschlussfreien Zweigen sicher kleiner ist als die Empfindlichkeitsgrenze $0,005 \text{ A}$ ³⁾. Am einfachsten ist es,

³⁾ Die Verdrehung wird bei allen Zweigen durchgeführt, wo sie (wegen der Grösse von I_c) notwendig ist. Auf die richtige Funktion des Relais bei Erdschluss am zugehörigen Zweig darf sie natürlich nicht von Einfluss sein. Im allgemeinen ist hierauf keine Rücksichtnahme erforderlich.

die Einstellung der Verdrehung durch Vorwiderstände im Spannungskreis der Relais bei Erdschlussversuchen [4] so vorzunehmen, dass die notwendige Verdrehung bei jedem Kabel in Abhängigkeit von seiner Länge unmittelbar bestimmt wird. Die früher beschriebenen Verfahren zur Betriebskontrolle von Erdschlussrelais [5] sind auch bei diesen Versuchen zu beachten.

III. Kabelringwandler für Generatorschutz

Für den Gehäuseschlußschutz elektrischer Generatoren, die über Sammelschienen direkt ins Netz arbeiten, erweist sich die Verwendung hochohmiger direkter oder indirekter Nullpunkterdung als zweckmässig und erforderlich. Damit auch geringe Ströme zu einer sicheren Relaisfunktion führen, sind wattmetrische Relais verwendet worden, denen Unsymmetriestrom und Nullpunktspannung zugeführt werden. Da die Gehäuseschlüsse an jeder Stelle der Wicklung auftreten können, schwankt der Erdschlußstrom proportional mit der Entfernung der Fehlerstelle vom Sternpunkt. Er ist bei Klemmen-erdschluss am grössten und bei Erdschluss am Sternpunkt gleich Null. Es entsteht also in der Nähe des Sternpunktes eine tote Zone, die vom einfachen Schutz nicht erfasst wird. Es ist deshalb von Pohl [6] vorgeschlagen worden, den Nullpunkt ständig etwas zu verlagern, so dass die gesamte Wicklung geschützt wird [7].

Die Verwendung von wattmetrischen Relais, denen Unsymmetriestrom und Nullpunktspannung zugeführt werden, sind jedoch gegenüber reinen Stromrelais im Nachteil, weil die Annäherung des Fehlers an den Sternpunkt auch die Spannung abnimmt und das im Relais wirksame Produkt Strom mal Spannung demnach quadratisch verkleinert wird. Um den Nachteil des abnehmenden Unsymmetriestromes zu beseitigen, hat Bütow die Verwendung spannungsabhängiger Erdungswiderstände [8] vorgeschlagen, die eine solche Charakteristik haben, dass sie zwischen etwa 10 % der vollen Spannung und ihrem Nennwert einen konstanten Strom liefern. Beträgt dann die Pohlsche Nullpunktverlagerung mehr als 10 %, so tritt bei jedem Gehäuse-schluss an beliebiger Stelle der Wicklung derselbe Erdschlußstrom auf. Bei wattmetrischen Relais ist somit ein abnehmender Faktor ausgeschaltet und es ist jetzt noch nach einer zweiten Verbesserung zu suchen, welche die Spannung betrifft. Hier wurde die Verwendung einer Regenerierungseinrichtung mit Erfolg erprobt, also einer Einrichtung, bei welcher die dem Relais zugeführte Spannung konstant bleibt, obwohl die primäre Spannung entsprechend der Lage der Fehlerstelle schwankt [8]. Einfacher ist jedoch die Verwendung eines Relais in selektiver ampèremetrischer Schaltung ohne Richtungsempfindlichkeit, dem ausschliesslich zur Erhöhung der Empfindlichkeit an sich konstante Spannungen zugeführt werden, die von der Lage des Gehäuseschlusses unabhängig sind [7, 9]. Eine solche Schaltung zeigt Fig. 11. Ein Drehstromgenerator G arbeitet auf ein Mittelspannungsnetz, sein Nullpunkt ist über einem hochohmigen Widerstand W geerdet.

Vorteilhaft wird dieser Widerstand nach *Bütow* in irgendeiner Form spannungsabhängig ausgebildet. Die Erdleitung ist durch den Kabelringwandler durchgeführt, womit eine selektive ampèremetrie-

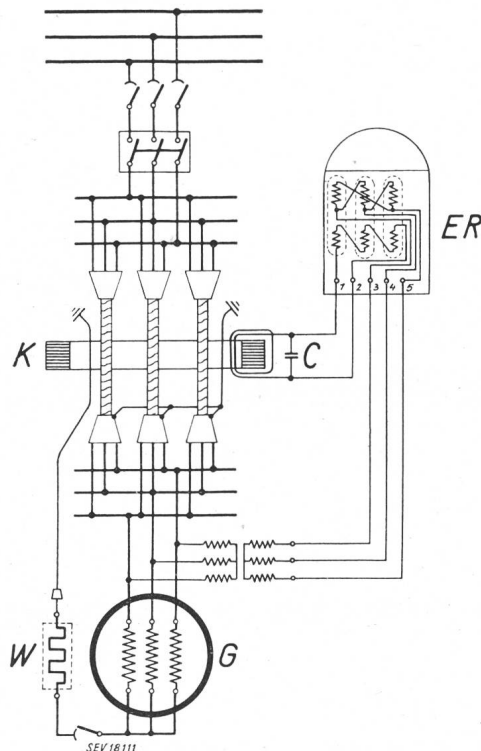


Fig. 11

Schaltung eines empfindlichen Generator-Gehäuseschluss-Schutzes

ER wattmetrisches Relais ohne Richtungsempfindlichkeit (selektive ampèremetrische Schaltung); G Generator; W spannungsabhängiger Widerstand nach *Bütow*; K Kabelringwandler

sche Schaltung hergestellt wird. Nur bei einem Erdschluss innerhalb des Schutzbereiches (Generatorwicklung einschliesslich Verbindungskabel) wird der Kabelringwandler induziert, nicht aber bei Kurz- oder Erdschlüssen ausserhalb des Schutzbereiches, d. h. an den Sammelschienen oder im Netz. Das Erdschlussrelais besteht aus drei voneinander unabhängigen Systemen, deren Stromspulen in Serie geschaltet sind, während den Spannungswicklungen in zyklischer Aufeinanderfolge die drei verketteten Spannungen zugeführt werden. Auf diese Weise wird erreicht, dass das Relais bei Auftreten von Sekundärstrom unbedingt anspricht und den Generatordefekt anzeigt oder abschaltet. Da es sich hier um ein wattmetrisches Relais handelt, dem die Richtungseigenschaft genommen ist, kommt es auf den Fehlwinkel des Kabelringwandlers nicht an. Deshalb kann zur weiteren Erhöhung der Empfindlichkeit ein Kondensator C parallel zum Erdschlussrelais an die Klemmen des Kabelringwandlers gelegt werden. Dieser Kondensator kompensiert den Magnetisierungsstrom und vermindert dadurch den Übersetzungsfehler.

Wenn mehrere Generatoren auf Sammelschienen parallel arbeiten, wird nicht der Nullpunkt des Generators geerdet, sondern es wird an der Sammelschiene ein gemeinsamer Nullpunktstransformator

mit zugehörigem Widerstand vorgesehen, der dann auch die *Pohl'sche* Zusatzspannung [7] zu liefern hat. Diese Schaltung ist wiederholt ausgeführt worden [7, 9] und hat sich gut bewährt. Sie hat sich

als vollkommen falschstromfrei erwiesen. Fig. 12 zeigt den Kabelringwandler mit den 5 Verbindungskabeln, welcher den Gehäuseschlusschutz eines Generators von 15 200 kVA besorgt, der bei 6 kV mit anderen gleichartig geschützten Generatoren auf ein kombiniertes Kabel- und Freileitungsnetz arbeitet. Der kompen- sierte Erdschlussreststrom schwankt zwischen ca. 0,5 A (bei Gehäuseschlüssen am

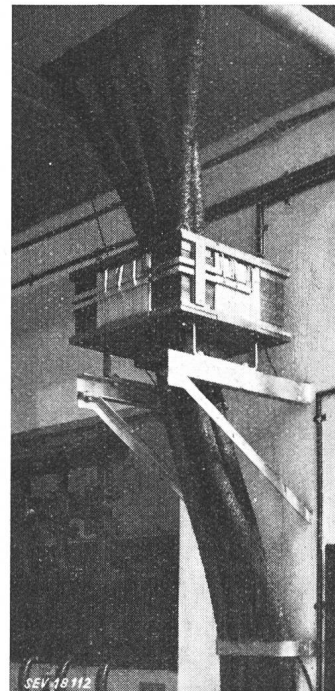


Fig. 8

Kabelringwandler und Kabelführung für Gehäuseschlusschutz eines Drehstrom-Turbogenerators
Leistung 15 200 kVA,
Spannung 6 kV

Sternpunkt und ca. 10,5 A bei Klemmenerdschlüssen und exakter Kompensierung. Der Gehäuseschlusschutz ist vom Grad der Kompensierung unabhängig, weil die Relais eben eigentlich ampèremetrische Relais sind. Ihre Ausbildung als wattmetrische Relais ohne Richtungsempfindlichkeit bringt den grossen Vorteil, dass die Empfindlichkeit erhöht werden kann, weil der Kabelringwandler nur schwach belastet ist. Da der Übersetzungsfehler mit zunehmender Belastung stark anwächst, ist es sehr wesentlich, Relais zu verwenden, die nur geringe Impedanz im Stromkreis aufweisen. Gewöhnliche Stromrelais wären bei gleicher Impedanz wie die wattmetrischen Erdschlussrelais bedeutend weniger empfindlich; Stromrelais derselben Empfindlichkeit wieder würden eine so hohe Belastung für die Kabelringwandler darstellen, dass der gewonnene Vorteil infolge Reduktion des Wandler-Sekundärstromes wieder verloren wäre. Es ist besonders zu beachten, dass der Nennstrom des Generators im gezeigten Beispiel rund 1500 A beträgt und der Kabelringwandler trotzdem nur 0,5 A primären Unsymmetriestrom richtig erfasst. Aber auch die den Generatorenennennstrom um eine Grössenordnung übertreffenden Kurzschlussströme (Netz-kurzschlüsse) stören die hohe Empfindlichkeit des Schutzes nicht, weil die Kabelringwandler eben wirklich falschstromfrei gebaut bzw. angeordnet werden können.

Literatur

- [1] Gross, E. und W. Weller: Über die zulässige Empfindlichkeit von Erdschlussrelais in Hochspannungsnetzen. Elektrotechn. u. Maschinenbau Bd. 50(1932), Nr. 8, S. 117..123.

- [2] *Willheim, R.*: Das Erdschlussproblem in Hochspannungsnetzen. Berlin, Springer 1936.
- Villiers, M.*: Rapp. de la CIGRE 1937, Bd. 3, Diskussion Gruppe 32, [S.] D-22. Paris, 1937.
- [3] *Lippa, E.*: Der Erdschlußschutz in den Hochspannungs-Verteilnetzen der Wiener Städtischen Elektrizitätswerke. Elektrotechn. u. Maschinenbau Bd. 55(1937), Nr. 20, S. 233...238, 249...252.
- [4] *Gross, E.*: Über die erstmalige Bestimmung der günstigsten Einstellung von Erdschlußspulen. Bull. SEV Bd. 28(1937), Nr. 8, S. 165...170.
- [5] *Gross, E.*: Betriebskontrolle von Erdschlussrelais. Elektrotechn. u. Maschinenbau Bd. 46(1928), Nr. 53, S. 1213...1217. Berichtigung Bd. 47(1929), Nr. 18, S. 372.
- [6] *Pohl, R.*: Neuzeitliche Turbogeneratoren und Luftkühler. Elektrotechn. Z. Bd. 48(1927), Nr. 10, S. 320.
- [7] *Diesendorf, W.* und *E. Gross*: Zur Theorie der Pohl'schen Nullpunktsverlagerung für vollständigen Gehäuseschlußschutz. Elektrotechn. u. Maschinenbau Bd. 54(1936), Nr. 22, S. 253...256.
- [8] *Bütow, W.*: Erdschlußschutz für Generatoren. Elektr.-Wirtsch. Bd. 29(1930), Nr. 510, S. 301...306.
- [9] Oesterr. Pat. Nr. 138263.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. Eric T. B. Gross, Illinois Institute of Technology, Chicago 16, Illinois (USA).

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Streiflichter aus den USA

374.26 (73)

[Nach Electr. Engng. Bd. 70(1951), Nr. 4, S. 369...374.]

Cadmiumsulfid-Kristalle für die Durchleuchtung industrieller Produkte

Die General Electric X-Ray Corp. hat kürzlich eine Erfindung bekanntgegeben, die erstmalig die schnelle automatische Durchleuchtung tausender Industrieerzeugnisse ermöglichen soll. Zweck der Durchleuchtung ist grössere Sicherheit und Zuverlässigkeit, Verbesserung der Qualität und der Herstellungsverfahren.

Das Herz des neuen Apparates ist ein winziges Cadmiumsulfid-Kristall, dessen Grösse vom Bruchteil eines Millimeters bis zu mehreren Kubikmillimetern variieren kann. Wenn es durch Röntgenstrahlen erregt wird, wirkt es wie eine Verstärkerröhre und gibt Elektronen frei. Die Kristalle verstärken die zugeführte Energie 1 000 000fach; auf die Fläche bezogen sind sie 1 000 000mal empfindlicher als Ionisierungskammern, in welchen die Röntgenstrahlung gewöhnlich gemessen wird und 1000mal empfindlicher als photoelektrische Zellen.

Infolge der millionenfachen Verstärkung können die Kristalle die bisher benötigten viel komplexeren Systeme von Vakuum- und Verstärkerröhren ersetzen, während sie gleichzeitig die Verwendung von Strahlen niedrigerer Intensität erlauben. Die Wissenschaftler glauben, dass die Verwendung

vierten Nahrungsmitteln und Flüssigkeiten. Als eine Art industrielle Augen können die Kristalle manche Arten von Prüfaufgaben lösen, einschliesslich:

1. Abgrenzung und Überprüfung der Füllhöhe in Behältern.
2. Ausfinden von Hohlräumen, Spalten, Löchern, sowie Veränderungen der Dicke einer grossen Zahl von homogenen Stoffen.
3. Kontrolle des Fehlens, der falschen Placierung oder unrichtigen Einstellung innerer Teile.
4. Herausfinden fremder Partikel in gewissen Nahrungsmitteln, Metallen und anderen Erzeugnissen.

Der Apparat hat ein Relais, das auf den Fehler aufmerksam macht. Es kann so eingerichtet werden, dass es sozusagen alles automatisch zu vollbringen vermag: ein Zählwerk beeinflussen, ein Diagramm zeichnen, einen Ausschuss-Hebel betätigen, Klingeln, Aufleuchten, den defekten Teil mit roter Farbe markieren, oder gar das ganze laufende Band zum Stillstand bringen, bis der Fehler im Produkt oder in der Methode behoben ist. Diese Art der Anwendung lässt eine Herabsetzung der Kontrollkosten wie eine Verminderung des Personals für eine gegebene Kontrolle erwarten.

Ein elektrischer Industrie-Traktor

Die Automatic Transportation Co., Chicago, entwickelte einen Industrie-Traktor, der z. B. neben einem Bahngleise fahrend einen Zug von 1350 t Gewicht ziehen kann (Fig. 1). Der Traktor ist 3 m lang und 6 t schwer und hat eine Zugkraft am Haken von über 4500 kg (10 000 lbs). Die Konstrukteure bezeichnen den Traktor als stark genug, um die Leistung von drei Farmtraktoren zu überbieten. Als Schlepper von Bahn-Rollmaterial zieht er mehr als 250mal sein eigenes Gewicht. Besondere Merkmale sind Vierradantrieb, Vierradlenkung und Zweifachsteuerung von gegenüberliegenden Sitzen aus. Dies erlaubt dem Fahrer, den Platz zu wechseln und in beiden Richtungen vorwärts zu fahren. Das ist bei einem Fahrzeug, das solch gewaltige Lasten schleppen kann, im Interesse der Sicherheit besonders wichtig.

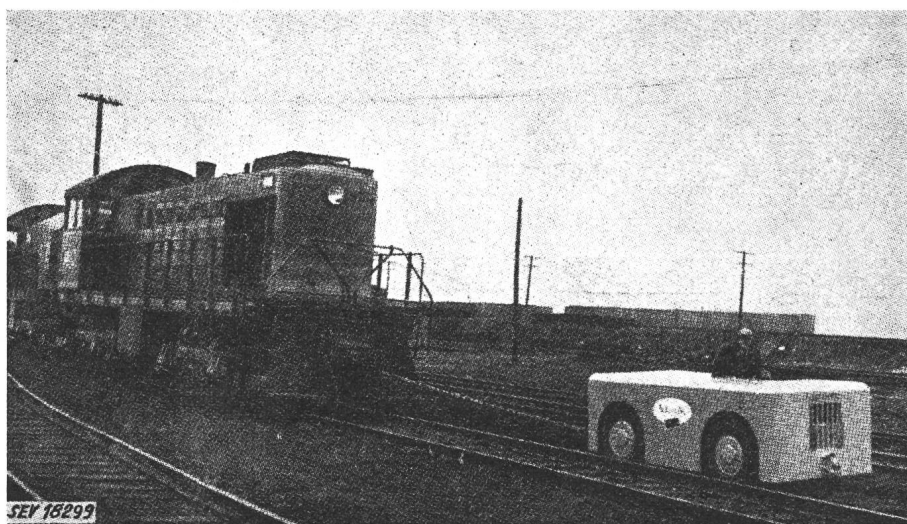


Fig. 1

Industrie-Traktor, einen Güterzug schleppend

von Kristallen als empfindliche Energie-Umformer und -Verstärker ein neues kristall-elektrisches Gebiet erschlossen wird.

Laboratoriums-Modelle sind gebaut worden für die Untersuchung von Gummiabsätzen, zur Prüfung der Füllungshöhe von Kindernahrung, von Bier, von Suppe und von anderen Produkten in Büchsen und in Packungen. Die kristall-elektrische Methode verspricht bisher unerreichte Geschwindigkeiten: bis zu 600 Einheiten pro Minute im Fall von konser-

Neue Technik im Studium der Korrosion

Eine neue Versuchs-Methode ermöglicht die Wirkung korrodierender Lösungen zu messen. Damit hofft man in den USA die jährlichen Korrosionskosten, die auf 5,5 Milliarden Dollar geschätzt werden (37 Dollar pro Einwohner), fühlbar zu verringern.

Die Methode ist ähnlich dem Abtasten beim Fernsehen und kann für den Nachweis, das Studium, die Analyse und