

# ETAPPEN DER INNOVATION

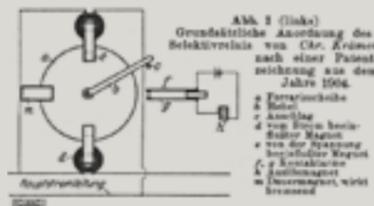
## BALANCE MIT WIDERSTAND

In der Geschichte der Schutztechnik fällt auf, wie viele grundlegende Erfindungen in den ersten zwei Jahrzehnten nach 1900 gemacht wurden, angetrieben vom Ausbau der Netze und dem rasant steigenden Einsatz elektrischer Energie. Ein besonderes Jahr ist 1904, in dem sowohl der Distanzschutz als auch der Differentialschutz als Patent anerkannt wurden.

### Der entfernungsabhängige Spannungsabfall-Schutz

Der Staffelschutz in Form des Überstromzeitschutzes bzw. Überstromrichtungsschutzes erwies sich auf Grund der hohen Fehlerabschaltzeiten und des auf Stich- oder Ringfahrweise abgestimmten Schaltzustandes zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts als nicht mehr ausreichend. Um die Netze frei zu gestalten, entwickelte sich der Distanzschutz als wichtigstes Element der Schutztechnik. Bereits im Jahre 1904 schlug Ch. Krämer, F&G, ein Schutzrelais vor, das die Grundzüge des Distanzrelais trägt. Der Patentanspruch lautete bei DRP 174 218 der Felten & Guillaume-Lahmeyer-Werke AG (F&G): „Relais zur selbsttätigen Ausschaltung eines Wechselstromes, das bei Überschreitung der normalen Stromstärke einen Hilfsstromkreis schließt, dadurch gekennzeichnet, dass eine Haupt- und eine Nebenschlusspule auf eine drehbare Metallscheibe einander entgegengerichtete

Drehmomente ausüben, zum Zwecke, nach dem Maß der Überschreitung der normalen Stromstärke zufolge des davon abhängigen Sinkens der Spannung den Zeitpunkt der Schließung des Hilfsstromkreises zu bemessen.“ **Abb. 1**



**Abb. 1 Grundsätzliche Anordnung des Distanzschutzes nach Ch. Krämer, F&G, 1904**

Besondere Verdienste haben sich die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG) und die Dr. Paul Meyer AG erworben, indem sie als erste deutsche Firmen fast gleichzeitig in den Jahren 1923/24 das Distanzrelais erfolgreich in die Praxis eingeführt hatten. Dem waren verschiedene Patente vorangegangen. Am 23. April 1908 kommt es zur Erteilung eines Patentes, Erfinder K. Kuhlmann, an die AEG, nach dem erstmalig eine vom Strom angetriebene Ferraris-Scheibe vorgeschlagen wird, bei der ein besonderer Spannungsmagnet im bremsenden Sinne wirkt, wodurch sich eine distanzabhängige Kommandozeit ergibt. Zwei Monate später erhält K.

Kuhlmann, AEG, ein grundlegendes Patent zum Distanzschutz als Kipprelais (Waagebalkenprinzip) abhängig von  $U < I >$  mit Ferrarisscheibe und Drehanker, DRP 214 164. Da es sich beim Waagebalkenrelais um eine mechanische Vorrichtung handelt, ist der Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung unbedeutend, sodass der beim elektromechanischen Relais typische Impedanzkreis entsteht.

### Der Impedanzschutz

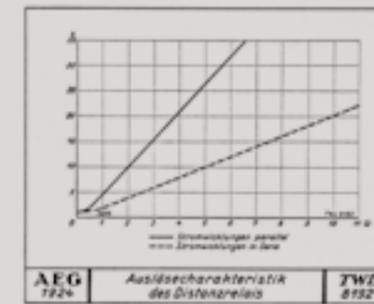
Am 29. Februar 1916 wird der Westinghouse El. & Mfg. Co., Erfinder L.N. Crichton, DRP 334 760, ein Relais geschützt, dessen Ablaufzeit sich im Verhältnis

$$\frac{\text{Spannung}}{\text{Strom}} = \text{Impedanz}$$

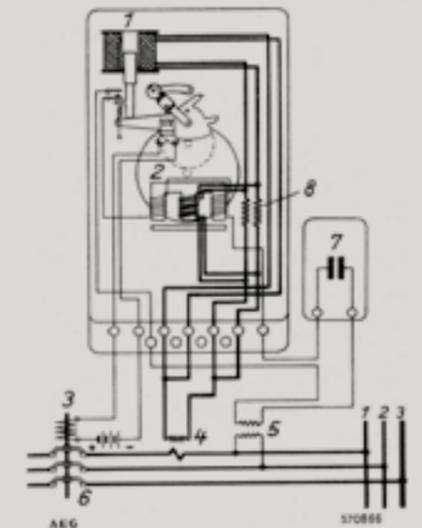
ändert und bereits ein Richtungsglied hatte. 1918 entwickelte G.J. Meyer die Grundlage für das spätere N-Relais, Netzschutzrelais. Die erste Distanzschutzanlage erhielt das 4-kV-Kabelnetz der Stadt Karlsruhe im März/April 1923. Die ersten Biermannsrelais wurden Mitte 1924 im 30-kV-Netz der Thüringer Elektrizitäts-Lieferungsgesellschaft (ThELG) mit Sitz in Gotha in Betrieb genommen.



**Abb. 2 Erste Impedanzrelais, Biermannsrelais, AEG und N-Relais, Dr. Paul Meyer AG, beide 1924**



**Abb. 3 Kennlinie Biermannsrelais, AEG, 1924**



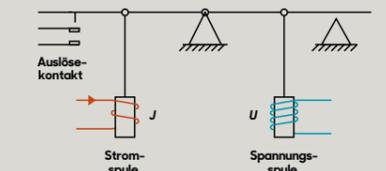
**Abb. 4 Schaltung Biermannsrelais, AEG, 1923/1924**

Der beim Biermanns-Relais (**Abb. 2**) angebrachte rote Punkt ist die Phasenfarbe, d. h., in einem Abgang waren drei Distanzrelais erforderlich. Die sich aus **Abb. 3** ergebenden Auslösezeiten erscheinen für die heutige Zeit sehr hoch. Sie waren aber den Praxisbedingungen für die vorhandenen Ölschalter durchaus angepasst. Die Grundzeit lag wegen der Leistungsfähigkeit der Schalter (Abklingen des Stoßkurzschlussstromes) bei 0,5 bis 1 s und die beobachtete Zunahme der Ausschaltzeiten im Betrieb war bei der Staffelung zu berücksichtigen. Andererseits brauchte der stationäre Kurzschlussstrom in damals neuzeitlichen Anlagen, die mit weichen Maschinen und Stromreglern arbeiteten, nicht befürchtet zu werden. Die Kennlinie entsprach einem festen Impedanzbereich von sekundär gleich  $110 \text{ V} / 5 \text{ A} = 22 \Omega$ . Im Bedarfsfalle konnte die Auslösezeit nur dadurch lediglich leicht verringert werden, indem die ohnehin aus zwei Teilen

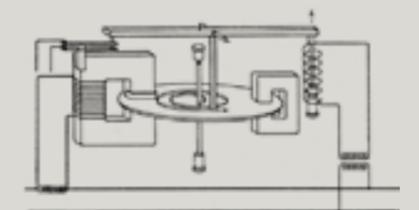
bestehende Wicklung des Stromeinganges statt parallel hintereinander geschaltet wurde.

1915 bringt G.J. Meyer das Verfahren der Umschaltung der Spannung von der verketteten zur Spannung gegen Erde. Diese Umschaltung hat jedoch beim Distanzschutz erst im Jahre 1925 seine Bedeutung erhalten, als zur besseren selektiven Doppelerdschlussfassung die von Biermanns, AEG, angegebene Spannungsumschaltung durch die Leiter- bzw. Nullstromanregeglieder angewendet wurde.

1920 wird von dem Kanadier P. Ackerman ein vereinigt Strom- und Spannungsrelais nach dem Widerstandsprinzip angegeben und seit 1921 von den Cansfield Electrical Works, Toronto, ausgeführt. Erstmals wird durch Ackerman die stufenförmige Zeitkennlinie des Distanzschutzes – wie sie auch heute noch zur Anwendung kommt – realisiert.



**Abb. 5 Balance-Relais von Ackerman, 1920**



**Abb. 6 Induktions- und Tauchankerprinzip, Westinghouse-Relais**

Nach diesem Verfahren arbeiteten dann auch der Siemens-Reaktanzschutz, der Oerlikon-Minimal-Impedanzschutz und die neueren Distanzrelais der Westinghouse Co. und der General Electric Co.

Das Westinghouse-Distanzrelais wurde in April 1923 bekannt. Die erste Schutzanlage mit Westinghouse-Distanzrelais ist vermutlich im Herbst des gleichen Jahres in Amerika in Betrieb gegangen. Das Westinghouse-Distanzrelais war jedoch bei Weitem nicht so verbreitet wie die deutschen Distanzrelais. Der Grund war wohl, dass man in Amerika grundsätzlich Doppelleitungen vorsah und diese mit Differentialrelais oder Differenzrelais (Balance-Relais) schützte. Hinzu kam, dass Netzvermaschungen möglichst vermieden und strahlenförmig aufgebaute Netze bevorzugt wurden.

In Europa ist als erste Anlage die 100-kV-Doppelleitung vom Großkraftwerk im Hedwigschacht bei Seestadt nach Prag Anfang 1925 mit Westinghouse-Distanzrelais ausgerüstet worden. 1927 entschließen sich das Thüringenwerk und die Kraftwerk Thüringen A.-G. zur Einführung des Siemens-Westinghouse-Impedanzschutzes in ihrem 50-kV-Netz (**Abb. 6**).

Für das AEG-Distanzrelais, Bauart 1923, lieferte J. Biermanns die ersten Vorschläge. In einer Reihe von Veröffentlichungen und Patenten klärte er die wesentlichen Zusammenhänge auf dem Gebiet des Distanzschutzes. Von ihm stammen auch die ersten Angaben über das Impedanz-Anreeglied, das Reaktanz-Ablaufglied und die Erfassung des Doppelerdschlusses. Die Änderung

der Ablaufzeit im Verhältnis Spannung / Strom = Impedanz führte zu der Bezeichnung „Impedanzschutz“ (oder auch „widerstandsabhängiges Relais“). Biermanns prägte wegen der entfernungsabhängigen Auslösezeit als Erster den Distanzbegriff und so kam es schließlich zu dem heute verwendeten Ausdruck „Distanzschutz“.

Die im Jahre 1928 auf den Markt gekommenen Distanzrelais von Brown, Boveri & Cie (BBC) (**Abb. 7**) und Siemens & Halske (S&H) waren entsprechend der europäischen Praxis noch mit stetigem Zeitkennlinienverlauf. Die Relais wurden für Hochspannungs-Freileitungsnetze als Reaktanzrelais gebaut. Der Vorteil bestand darin, dass Lichtbogenfehler mit ihrem ohmschen Betrag keinen Einfluss hatten. Für Mittelspannungs-Freileitungsnetze sowie für Kabelnetze wurden sie als Impedanzrelais (bei BBC mit angepasster Phasenverschiebung) ausgebildet.

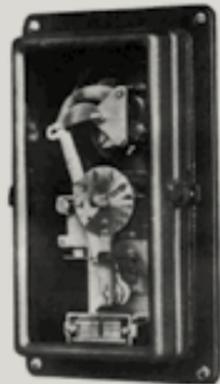


Abb. 7 Distanzrelais, BBC, 1928

## Die Anregung

Im Mittelspannungsnetz (4 bis 60 kV) reichte in der Regel eine Überstromanregung aus, da die Kurzschlussströme auch damals schon größer als die Nennströme der zu schützenden Anlageteile waren. Im 110-kV-Netz fielen die Kurzschlussströme wegen des verringerten Maschineneinsatzes nachts und an Sonn- und Feiertagen unter den Nennstrom des Schutzobjektes, sodass zum Anwurf eine zusätzliche Unterimpedanzanregung erforderlich wurde. In starr getriggerten Netzen war nur durch die Unterimpedanzanregung ein phasenselektives Anregen erreichbar. Fehlanregungen in den gesunden Leitern durch Ausgleichsströme (Bauchsches Paradoxon) wurden hiermit verhindert. Im 110-kV-Freileitungsnetz bevorzugte man Reaktanzrelais, um den Lichtbogeneinfluss auszuschließen. Insbesondere in Schwachlastzeiten waren vor dem Abreißen des Lichtbogens Werte bis zu  $100 \Omega$  zu verzeichnen. Die ersten Di-

stanzrelais wie N-Relais, Dr. Paul Meyer AG, Biermanns-Relais, AEG, und BBC-Relais waren einpolig mit je einem Anrege-, Zeit- und Richtungsglied. Somit waren in der Regel drei Relais im Leitungsabgang eingebaut. Im Kabelnetz ging man oft davon aus, dass Doppelerdschlüsse kaum auftreten und jeder Fehler durch die lange Kommandozeit im Gürtelkabel zum dreipoligen Fehler führt.

Die im Jahre 1928 auf den Markt gekommenen Distanzrelais der BBC und Siemens-Impedanzrelais waren ähnlich aufgebaut.

Nach dem Reaktanzprinzip wurden erstmalig die Distanzrelais von BBC und S&H im Jahre 1928 praktisch ausgeführt. Diese Relais wurden entgegen den Impedanzrelais hauptsächlich für Höchstspannungsnetze eingesetzt, da in diesen Netzen der Lichtbogenwiderstand sehr hoch werden kann.

Das AEG-Distanzrelais mit dem Impedanz-Anreeglied trug anfangs (1925 und 1926) den Namen „Doppel-Distanzrelais“.

## Forderung nach Eil- und Schnellimpedanzschutz

Ende der zwanziger Jahre wurde der Ruf großer Energieversorgungsunternehmen nach kürzeren Abschaltzeiten von möglichst unter 2 s immer lauter. Insbesondere sollte dem Außertrittfallen von Generatoren, Einankerumformern und Motoren begegnet werden. In der Zwischenzeit waren die Ölschalter auf wesentlich höhere Abschaltleistungen gebracht worden, sodass nunmehr entsprechend niedrigere Kommandozeiten zugelassen werden konnten.

Es war zunächst üblich, die Auslösezeit der Widerstandsrelais proportional mit der Entfernung der Fehlerstelle vom Relais wachsen zu lassen. Bei der Einstellung mussten sehr sorgfältig die Länge der zu schützenden Strecke sowie die Steilheit der Relaischarakteristik beachtet werden, um Überschneidungen zu vermeiden. Die stetige Kennlinie hatte allerdings den Vorteil, dass mit der Einführung der Laufzeitanzeige Rückschlüsse auf den Fehlerort gezogen werden konnten. Man könnte es auch als Geburtsstunde des Fehlerorters bezeichnen.

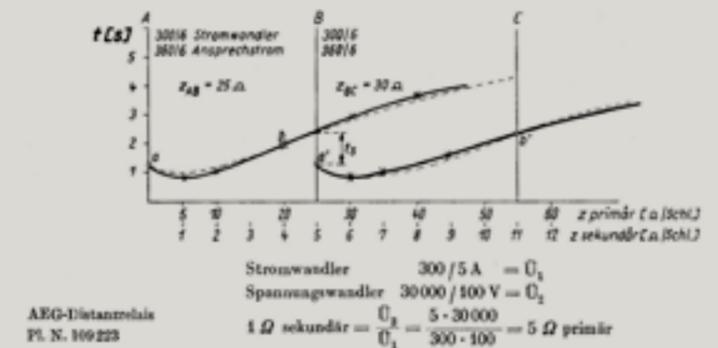


Abb. 8 Staffelpfad mit Biermannsrelais

**Abb. 8** zeigt einen Staffelpfad mit dem AEG-Distanzrelais.

Für die inzwischen weit ausgedehnten 60- und 110-kV-Netze wurde nicht nur die Forderung auf verringerte Grundzeit erhoben, sondern auch, diese verringerte Auslösezeit am Leitungsanfang möglichst weit zum Ende der Leitung beizubehalten. Dies führte zum Verlassen des bis dahin üblichen stetigen Anstieges der Auslösezeit und zu rein stufenförmigen, gemischten oder gebrochenen Kennlinien.

## Walter Schossig,

geb. 1941, Autor des Buches „Netzschutzes-technik“ und der History-Serie in der PAC World. Als Absolvent der Ingenieurschule Elektroenergie Zittau arbeitete er über 40 Jahre als Elektroingenieur, von 1967 an war er bei der Thüringer Energie AG, Erfurt, für Relaischutz verantwortlich. Mitarbeit im VDEW-AA „Relais- und Schutztechnik“, im Normenausschuss DKE K434 „Messrelais und Schutzrichtungen“ und im Bayernwerk-AK „Schutzrichtungen“. Bis heute aktiv im VDE AK.