

Die Entwicklung der Relaischutztechnik

Die Rolle der Schweiz im Fokus

Mit dem Entstehen der ersten Stromerzeugungs- und Übertragungsanlagen Ende des 19. bzw. Anfang des 20. Jahrhunderts richtete sich die Sorge der Hersteller und Betreiber elektrischer Anlagen auf einen für Mensch und Einrichtung sicheren Betrieb. So bauten 1902 alle grösseren Firmen Schutzrelais. Eine besondere Rolle bei der Entwicklung von Schutzeinrichtungen spielten dabei Pioniere und Firmen in der Schweiz. Aber auch an den Entwicklungen bezüglich Mikroelektronik und Digitaltechnik waren sie involviert. [1]

Walter Schossig

Peter Emil Huber-Werdmüller und sein Sohn Emil Huber-Stockar veranlassten 1876 den Eintrag der «Werkzeug- und Maschinenfabrik Oerlikon» (später MFO) ins Handelsregister. Als erste industrielle Stromübertragung in der Schweiz gilt der am 29. November 1886 gestartete Oerlikoner Versuch über 8 km mit 2,5 kV Gleichstrom und 50 PS. 1891 gründeten Charles E.L. Brown und Walter Boveri BBC (später ABB) in Baden. Carl Sprecher (nach Eintritt von Heinrich Schuh S&S) gründete sein Unternehmen 1900 in Aarau und Emil Pfiffner seine heute noch unter diesem Namen wirkende Firma.

Primärauslöser als Vorläufer des Relais

Ende des 19. Jahrhunderts setzte man in Starkstromanlagen – damals meist noch Gleichstromanlagen – zum Schutz der Generatoren, Leitungen, Motoren und anderer Verbraucher vor den thermischen Auswirkungen durch Überlast oder Kurzschlussströmen meist Schmelzsicherungen aus Blei, Silber, Zinn oder dgl. ein. Mit der Entwicklung der Ölkesselsleistungsschalter suchte man nach einer Möglichkeit, diese durch strommessende Einrichtungen, Auslöser oder Relais auszulösen. Bei dem Ausdruck «Relais» dachte man allerdings eher an die im Postkutschenalter so bezeichnete Station, in der die erschöpften Pferde durch frische ersetzt wurden.

Die Entwicklung der unverzögert und verzögert wirkenden Überstrom-Schutzeinrichtungen erfolgte um 1900. Beim Primärauslöser (Bild 1) wurde die Messwicklung direkt vom Primärstrom durchflossen und die Auslösung über Gestänge zum Leistungsschalter übertragen. [2]

Messwandler

Der 1898 von Gustav Benischke erfundene Stromwandler ermöglichte den Anschluss von Sekundärrelais, bei dem der Kurzschlussstrom aus der damals meist für 5 A ausgelegten Sekundärwicklung dem Schutzrelais zugeführt wurde. 1912 schlugen Rogowski und Steinhaus eine eisenlose Messwertwandlung vor. Diese Rogowski-Spule wurde seinerzeit kaum angewendet, da die Leistung für die damaligen Relais

nicht ausreichte. Zur (unselektiven) Erdschlusserfassung wendete Schuckert 1903 die Spannungssummenschaltung an. Einen ersten Vorschlag der Summenstromschaltung zur Erdschlusserfassung machte Nicholson 1908. Diese Schaltung geht später – eigentlich zu Unrecht – als Holmgren-Schaltung ein und hat sich im Sprachgebrauch durchgesetzt. MFO fertigte ab 1903 Wandler und Pfiffner erfand 1936 den 220-kV-Kaskadenspannungswandler. 1995 lieferte Pfiffner den ersten Kopfstromwandler und ein Jahr später einen 123-kV-Kombiwandler mit Silikonverbundisolatoren und erste vollvergossene 72-kV-Silikonstromwandler. S&S fertigte 1962 den weltweit ersten 735-kV-Stromwandler für Hydro Quebec (CDN).

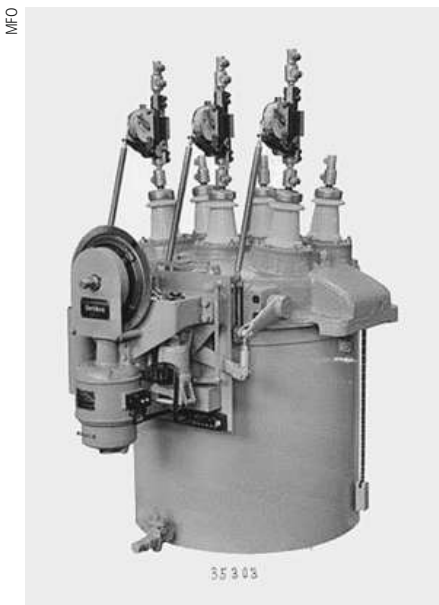


Bild 1 Ölkeschalter mit Primärauslöser HZM, MFO, 1912, BBC.

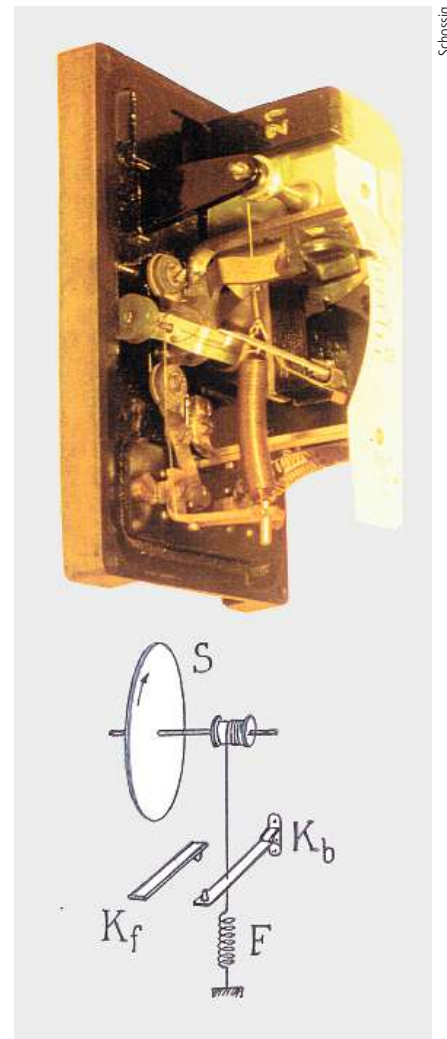


Bild 2 Überstromrelais RA1, S&H, 1925.

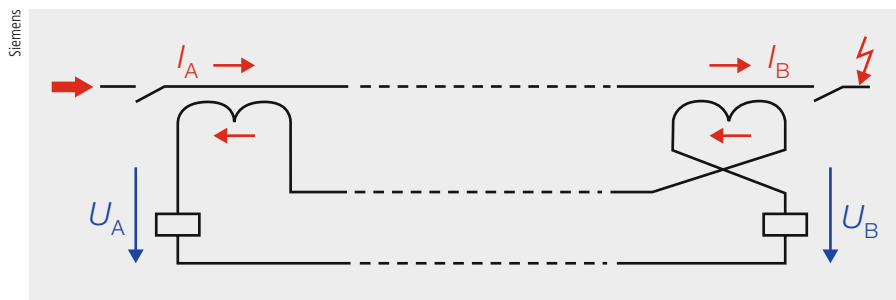


Bild 3 Differenzialschutz nach Merz und Price mit gegeneinander geschalteten Wandlern.

Geburtsstunde des Schutzrelais

Man war zunächst daran interessiert, mit den Auslösern die Kennlinie von Sicherungen nachzubilden. Es stellte sich allerdings bald heraus, dass bei in Reihe liegenden Schutzeinrichtungen Selektivitätsprobleme auftauchten. Für den Leitungsschutz verliess man den «Abhängigen Maximal-Zeitschutz», AMZ-Relais, und ging zum «Unabhängigen Maximal-Zeitschutz», UMZ-Relais, über.

Zur Schaltung von Betriebs- und insbesondere Kurzschlussströmen setzte man zunächst Ölkesselschalter ein. C.E.L. Brown und Dr. Sulzberger, BBC, entwickelten 1897 den ersten Ölschalter und MFO erhielt 1898 ein Patent auf Röhrenschalter und rüstete 1903 ihren Zugschalter mit Maximalstrom- und Nullspannungsauslösern aus. C.E.L. Brown meldete 1902 ein Patent auf ein stromabhängiges Maximal-Zeitrelais an.

Die Geburtsstunde des Selektivschutzes liegt noch im 19. Jahrhundert. Um 1899 benötigten die Niagara-Kraftwerke für ihr 11-kV-Netz einen selektiv arbeitenden Leitungsschutz. Durch den damaligen technischen Direktor Stillwell wurde dieser in wahrhaft genialer Weise geschaffen. Er verwendete die schon gebräuchlichen Elemente wie Strom- und Zeitrelais und als Richtungsglied einen kleinen Ventilatormotor von GE, dessen Feld von der Spannung und der Anker vom Strom durchflossen werden. Er schuf somit einen Rückstromschutz für die Doppelleitung. Dies gilt als Geburtsstunde des Selektivschutzes. [3]

Um 1903 erfolgte die Produktion von Richtungsrelais, sogenannte Induktionsrelais, die hauptsächlich dazu dienten, bei parallel betriebenen Generatoren den gestörten durch die Energierichtungsumkehr abzuschalten.

Aus Selektivitätsgründen wurde die Einführung einer Zeitverzögerung erforderlich. Die starre Zeiteinstellung wurde durch ein nachgeschaltetes getrenntes Zeitglied in Form eines Uhrhemm- oder

Windflügelwerkes, Ölkolbens, Lederbalges o.ä. erreicht. Der Mechanismus wurde im Störfall von einem Elektromagneten über eine durchgespannte Zugfeder mit konstanter Geschwindigkeit zum Abläufen gebracht (**Bild 2**).

Schon 1902 wurden von allen grösseren Firmen in Deutschland Schutzeinrichtungen gebaut.

Differenzialschutz

Im Jahre 1903 schlugen die Engländer Merz und Price einen Längs-Stromvergleichsschutz vor (**Bild 3**). Sie gelten als Erfinder des Differenzialschutzes. Eine erste grössere Anwendung erfolgte 1906 im 20-kV-Kabelnetz der County of Durham Electrical Power Distribution Co. in Nordengland [4]. 1907 ging das Patent von Merz und Price in den Besitz von AEG über. Kurz darauf führte die AEG den Differenzialschutz in Deutschland auf der Grube Heinitz bei Luisenthal (Saar) und beim EW Westfalen ein. Während im angelsächsischen Raum auch heute noch der Differenzialschutz als Standard-Leitungsschutz dient, fand er im deutschsprachigen Raum seine Hauptanwendung bei Transformatoren und Generatoren.

1920 entwickelte W. Pfannkuch, AEG, einen Kabelschutz unter Benutzung von Hilfsadern am Umfang des Hauptleiters und erhielt ein Jahr später sein Patent zum «Pfannkuch»-Schutz. [3] Im gleichen Jahr gab Martin Höchstädter den «Lypro-Kabelschutz» zur Erfassung von zweipoligen Kurzschlüssen und Erdschlüssen an. Diese Spaltleitersysteme erregten zunächst grosses Aufsehen, mussten aber nach einigen Jahren dem vielseitigeren Distanzrelais weichen.

Der entfernungabhängige Spannungsabfall-Schutz

1904 erhielt Christian Krämer, F&G, das Patent «Relais zur selbständigen Ausschaltung eines Wechselstroms», bei dem mit einer Ferraris-Scheibe als Verzögerungsglied der Spannungsabfallrelais als selektiver Kurzschlusschutz genutzt wird. Das Prinzip wurde in groben Zügen angegeben und gilt als Erfindung des Distanzschutzes.

1919 setzte Josef Biermanns, AEG, AMZ-Schutz als Leitungsstaffelschutz ein. Dieser hatte aber den Nachteil, dass die Auslösezeiten stark mit dem Generatoreinsatz schwankten. Mit grösseren Strömen wurde die Auslösezeit geringer, was zwar erwünscht war, aber die damaligen Relais verringerten die Auslösezeit nicht genau umgekehrt proportional mit dem Strom, sondern eher schneller. Die Zeitsprünge zwischen den einzelnen Stufen wurden zu klein und führten zum Verlust der Selektivität. Die damaligen Schalter und Relais erforderten mindestens eine Staffelzeit von 0,5 bis 1,5 s. Die Relaiszeiten gingen aber bei hohen Strömen bis auf Zeitunterschiede von 0,1 bis



KHF

Bild 4 Thermisches Überstromrelais ST, BBC.

Hochheim



Bild 5 Fe-H-Widerstände, Bütow-Schutz.

0,2 s zurück, sodass eine Auslösung des vorgeordneten Anlagenteils nicht verhindert werden konnte. [3]

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 20. Jahrhunderts als nicht mehr ausreichend. Um die Netze frei zu gestalten, entwickelte sich der Distanzschutz als wichtigstes Element der Schutztechnik. Bereits 1904 schlug Christian Krämer, F&G, ein Schutzrelais vor, das die Grundzüge des Distanzrelais trägt. Der Patentanspruch lautet: «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.»

Besondere Verdienste haben sich die 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 haben. Dem waren verschiedene Patente vorangegangen. Am 23. April 1908 kam es zur Erteilung eines Patentbeschlusses an die AEG (Erfinder Kuhlmann), nach dem erstmalig eine vom Strom angetriebene Ferraris-Scheibe vorgeschlagen wurde, bei der ein besonderer Spannungsmagnet bremsend wirkt, wo-

durch sich eine distanzabhängige Kommandozeit ergibt. Zwei Monate später erhielt Kuhlmann ein grundlegendes Patent zum strom- und spannungsabhängigen Distanzschutz als Kipprelais (Wagebalkenprinzip) mit Ferraris-Scheibe und Drehanker. Da es sich beim Wagebalkenrelais um eine mechanische Vorrichtung handelt, ist der Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung unbedeutend, sodass der beim elektromechanischen Relais typische Impedanzkreis entsteht.

Es folgte 1911 eine Erfindung von W. Wecken, die die Grundlage für den selektiven Spannungsabfallschutz bildet.

Der Impedanzschutz

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 nach dem Entwickler benannten Biermannsrelais wurden Mitte 1924 im 30-kV-Netz der Thüringer Elektrizitäts-Lieferungsgesellschaft (ThELG), mit Sitz in Gotha, in Betrieb genommen.

Bereits die ersten Jahre der Entwicklung des Distanzschutzes waren von einer Flut von Patenten begleitet. Von 1908 bis Anfang der 1920er-Jahre folgten Erfindungen von Kuhlmann, Wecken, Chrichton, G. J. Meyer, Ackerman und Biermanns. Die Ablaufzeit änderte sich im Verhältnis Spannung/Strom = Impedanz, was schliesslich zu der Bezeichnung «Impedanzschutz» (oder auch «widerstandsabhängiges Relais») führte. Durchgesetzt hat sich allerdings wegen der entfernungsabhängigen Auslösezeit der Begriff «Distanzschutz». Stöcklin,

BBC, entwickelte 1927 ein Distanzrelais und bringt dieses – zur gleichen Zeit wie S&H – mit stetiger Kennlinie auf den Markt. Ein Test des Relais erfolgte im gleichen Jahr im 50-kV-Netz der E.W. Olten-Aarburg A.-G.

Henri Puppikofer, MFO, stellte 1929 ein Maximal-Impedanzrelais mit einer Ansprechkenlinie als Hyperbel vor. Nach Kurzschlussversuchen im 135-kV-Netz wurde dieses bei den SBB eingesetzt. Matthey-Doret, BBC, entwickelt 1950 das Ein-Perioden-Distanzrelais. [2]

Buchholzschutz

Im Jahre 1921 erhielt Max Buchholz das erste Patent für die heute nach ihm benannte Schutzeinrichtung. Im Buchholzrelais wurde im Gegensatz zu den bisherigen Schutzsystemen erstmalig eine Einrichtung benutzt, die nicht durch die Abweichung des Strom-, Spannungs- oder Leistungszustandes vom Sollwert aktiviert wurde, sondern durch mechanische Vorgänge, die mit Störungen verbunden sind. Ölersetzungerscheinungen konnten bereits im Anfangsstadium ermittelt werden. [5]

Überlastschutz

Die Verwendung thermischer Relais zum Schutz von Generatoren wurde in Europa besonders durch BBC eingeführt und fand grossen Anklang.

Die VDE-Vorschriften schrieben bei Generatoren über 5 MVA den Einbau von sechs Widerstandsthermometern oder Thermo-Elementen im Ständer zur

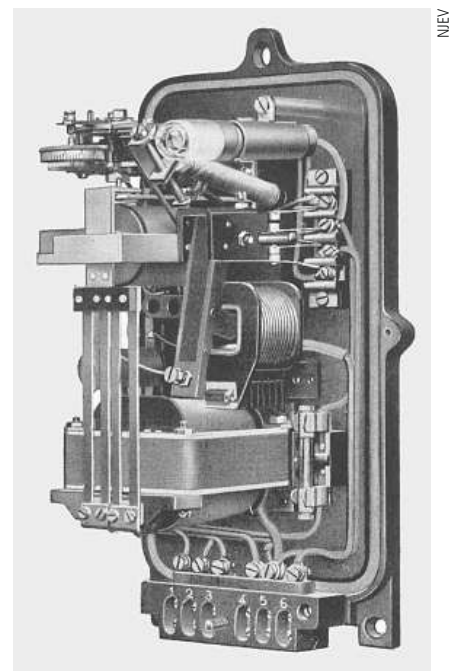


Bild 6 Distanzrelais-System Dr. Wideröe, NJEV.

Siemens



Bild 7 Distanzrelais 7SL24, Siemens, 1975.

Überwachung der Wicklungstemperaturen vor. Nach dem Einbau waren sie schwer zugänglich, weshalb man bei Defekten oft auf Ersatz verzichtete und stattdessen die Temperatur der Generatoren durch Thermorelais überwachte. Diese Geräte enthielten ein thermisches Element, dessen Erwärmung durch den dem Hauptstrom proportionalen Relaisstrom die Erwärmung der Hauptmaschine abbildete (**Bild 4**).

Zur Mustermesse 1942 in Basel stellt MFO das thermische Überstromzeitrelais mit getrennter Momentanauslösung und Bimetall, Limitherm, vor.

Ständer- und Rotorerdchlusschutz

1924 schlägt Walter Bütow, AEG, zur Erhöhung der Empfindlichkeit des Erdchlusschutzes bei Fehlern in der Nähe des Generatorsternpunktes den Einbau strom- und spannungsabhängiger Widerstände vor. [3] Dieser ging als «Bütow-Schutz» in die Geschichte ein. **Bild 5** zeigt die auf dem Schutzschrank aufgesetzten Eisen-Wasserstoff-Widerstände.

Zur Rotorerdchlussfassung fertigt BBC 1947 die Rotorerdchlusschutzzeineinrichtung RBV.

Frequenzschutz

Ein über längere Zeit hinaus anhaltender Betrieb der Generatoren im Unterfrequenzbereich wirkt sich insbesondere ungünstig auf die Lebensdauer der Turbogeneratoren aus. Andererseits müssen Generatoren möglichst lange am Netz bleiben, um bei aus dem Gleichgewicht geratenem Verhältnis von Verbrauch und Erzeugung Netzzusammenbrüche zu vermeiden.

Der deutsch-amerikanische Elektroingenieur Charles Proteus Steinmetz, später angestellt bei GE und 1901/02 Präsident des Berufsverbandes American Institute of Electrical Engineers (AIEE), gilt als Erfinder des Frequenzrelais.

Einzug der Halbleitertechnik

Es war ein entscheidender Schritt, als 1937 erstmals der Trockengleichrichter in der Selektivschutztechnik angewendet wurde, und zwar zunächst bei den Impedanzmessgliedern als den verbesserungsbedürftigen Bausteinen der damaligen Distanzrelais. Der wichtigste Unterschied war, dass jetzt das Drehmoment nicht mehr quadratisch, sondern linear mit dem Kurzschlussstrom anstieg und dass Sättigungserscheinungen vermieden wurden. Es machte nun keine Schwierigkeiten mehr, ein genaues und elektrisch wie mechanisch einwandfreies Funktionieren selbst bis zu den höchsten vorkommenden Strombereichen zu erzielen.

Die Kommandozeiten wurden wegen der kleineren Masse der bewegten Teile halbiert und später noch weiter verringert. Besonders vorteilhaft war auch der ausserordentlich geringe Leistungsverbrauch solcher Gleichrichterschaltungen: Er wurde um mehr als eine Grössenordnung kleiner, obwohl gleichzeitig die kürzesten erfassbaren Kabelstrecken auf den fünften Teil des bis dahin Erreichten verringert wurden. Ein wesentlicher Vorteil des Gleichrichterbetriebs lag auch darin, dass die Kennlinien der Relais mit ohmschen Widerständen nach einfachen Gesetzmässigkeiten wie bei der Messbereichserweiterung eines Voltmeters bequem und in genau definierter Weise skalenmässig eingestellt werden konnten. Die Relais konnten somit am Einbaort einfacher bedient werden.

Das erste derartige Schnelldistanzrelais SD4 der AEG wurde von 1937 bis nach dem Kriegsende angewendet. Die Betriebserfahrungen waren so überzeugend, dass man sich schliesslich auf breiter Basis diesem Konstruktionsprinzip zuwandte. [6]

Der von 1928 bis 1932 in Deutschland bei der Dr. Paul Meyer AG, später AEG, wirkende Relaispezialist Rolf Wideröe fertigte nach seiner Rückkehr in sein Heimatland 1933 bei N. Jacobsens Elektriske Verksted a/s, NJEV (N), ein Distanzrelais unter Verwendung einer Neonröhre (**Bild 6**). [7]

Da bewegliche Kontakte der elektromechanischen Relais eine gewisse Unsicherheit für die Schutzeinrichtungen darstellten, versuchte man zunächst, die Elektronenröhre als kontaktloses Schaltelement zu verwenden. Wegen der beschränkten Lebensdauer des Glühfadens bei Röhren suchte man nach Lösungen unter Einsatz von passiven und aktiven Halbleiterbauelementen. Die Versuche

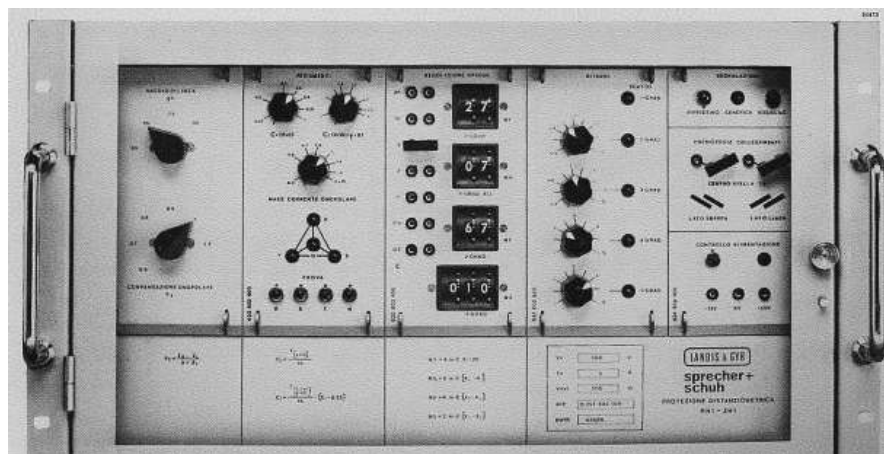


Bild 8 Distanzrelais RN1-ZH1, S&S, 1978.

Sprecher + Schuh

BBC



Bild 9 Richtungsvergleichsrelais LR91, BBC, 1982.

mit Röhren wurden – abgesehen von einigen Ausnahmen – etwa 1955 endgültig aufgegeben, weil die Halbleitertechnik ein Höchstmass an Betriebssicherheit zu gewährleisten versprach.

Einzug der Elektronik

Der erste elektronische Distanzschutz kommt 1959 zum Einsatz. So berichtet die EdF (F) von der Inbetriebnahme eines Transistor-Distanzschutzes im 220-kV-Netz, der im ersten Jahr bei 40 ein- und mehrpoligen Fehlern in 38 Fällen einwandfrei gearbeitet hat. Nach Herstellerangaben hatte das Relais im Strom- und Spannungspfad nur einen Verbrauch von 2 VA und die Stufenkennlinie sollte sich bei weitgehender Unabhängigkeit vom Kurzschlussstrom nahezu der Idealkennlinie nähern. Auch von einem englischen Hersteller wurde über ein transistorisiertes Distanzrelais mit Mho-Kennlinie berichtet, das für das südafrikanische Höchstspannungsnetz entwickelt wurde und sich dort im Probetrieb bewährt hat. Bemerkenswert war aber, dass die englischen Hersteller dieses Relais vor allzu hemmungsloser Begeisterung für die Transistorrelais gewarnt haben. Sie sollten nur da angewandt werden, wo mit ihnen tatsächlich Vorteile erzielbar wären. Die hochentwickelten elektromagnetischen Relais in Gleichrichter-Brückenschaltung, unter Umständen in Verbindung mit Transduktoren, wären zurzeit noch besser und wirtschaftlicher.

Das weltweit erste Distanzrelais mit polygonaler Charakteristik war das 1970 von Asea gefertigte dreiphasige statische Relais ROZOG mit einer Wirkzeit von 21 ms.

Die Entwicklung hin zu statischen Relais führte zu ausgereiften Konstruktionen, die eine wertvolle Ergänzung zu den elektromechanischen Relais darstellten. Die Entdeckung des Transistors 1948 durch den US-Physiker und späteren Nobelpreisträger William Bradford Shockley revolutionierte auch den Schutzrelaissektor, indem zehn Jahre später die ersten Veröffentlichungen über konkrete Anwendungen erschienen, und nach weiteren zehn Jahren Transistorschutzrelais industriell in Serie gefertigt wurden. [11]

Ein vorher nicht gekanntes Problem waren transiente Überspannungen, wie sie K. Berger 1958 beim Schalten von Trennschaltern in einer Schweizer 220-kV-Anlage beobachtete. Massnahmen zur Begrenzung wurden erforderlich.

Statische Schutzrelais

Halbleiter-Relais erschienen in den späten 1950er-Jahren. Diese Relais verfügten über elektronische Bauelemente wie Dioden, Transistoren und Operationsverstärker und waren flexibler als elektromechanische Relais.

Basierend auf den Schutzkriterien und Kennlinien elektromechanischer Relais wurden Komponenten zunächst teilweise durch analog-elektronische (statische) Äquivalente ersetzt. Gleichzeitig wurden neue Messverfahren und Kennlinien eingeführt. Damit fielen viele Nachteile der elektromechanischen Relais weg, wie z.B. Kontaktverschmutzung und Lagerschäden. Um 1960 kamen voll-elektronische Schutzrelais auf den Markt, die sich nach Überwindung der «Kinderkrankheiten» durchsetzten. Bild 7 zeigt das einsystemige statische Distanzrelais 7SL24 von Siemens aus dem Jahr 1975.

BBC erreichte 1963 im 16^{2/3}-Hz-Bahnnetz mit dem Elektronischen Maximalstromrelais IHX103 Reaktionszeiten von 0,6 ms. Mit dem Elektronischen Halbperioden-Distanzrelais für 50 Hz wurden Kommandozeiten von 8 bis 13 ms erreicht. S&S fertigte die Familie der Hauptstromauslöser MUI1, MT1 und MUT1 sowie die RZ-Familie die AWE-Relais RZKC-Z1, RZKLC-Z1, die Kondensator-Vorschaltgeräte GC1, GCA201 und das Lichtbogenüberwachungsrelais ERW. H. Gutmann, AEG, stellte in einem Schweizer Patent von 1965 ein Distanzrelais mit ellipsenförmiger Kennlinie vor. BBC fertigte 1971 den statischen Hochimpedanz-SS-Schutz IZX1 und Kolar, MFO, stellte im Oerlikon Nr. 362 die statischen Schutzrelais EIh, EUI, EIha



Sprecher Automation

Bild 10 Distanzrelais DD6-2, Sprecher Automation.

und EUh vor. 1978 produzierte S&S das statische Distanzrelais RN1-ZH1 (**Bild 8**).

1981 fertigte BBC das Statische Generatorschutz-Modulsystem GSX4 und GSX5e. Untersuchungen des Verlaufs von Trajektooren durch Dr. O. E. Lanz, BBC, führten 1982 zur Entwicklung des ultraschnellen Richtungsvergleichsrelais LR91 (**Bild 9**).

Digitale Schutzrelais

Insbesondere George Rockefeller, Westinghouse, leitete mit seinem 1969 veröffentlichten Beitrag [12] die neue Schutzgeneration ein. Bereits 1971 testete Westinghouse den Leitungsschutz Prodar mit Computer auf der 220-kV-Leitung Tesla-Bellota, PG&E (US). Die erste volldigitalisierte Schutzanlage Europas unter Einsatz eines Prozessrechners für Schutzaufgaben und Protokollierung in Echtzeit ging 1977 im 110/20-kV-UW Bad Kissingen, ÜWU in Betrieb [8].

Frequenz- und Motorschutzgeräte waren die ersten Schutzrelais mit Mikroprozessoren. Als typisches Beispiel gelten das Frequenzrelais FC95 und das Motorschutzrelais MC91, BBC. [9]

Als vorteilhaft haben sich Mehrprozessoranordnungen mit einem gemeinsamen Rechnerbus für den internen Informationsaustausch bei komplexeren Schutzeinrichtungen erwiesen. Bereits bei der teildigitalen Distanzschutzeinrichtung SD36, AEG, die in Mittelspannungsnetzen seit 1985 eingesetzt wurde, hat man Datenerfassung und -bedienung mit Hilfe von 8-bit-Prozessoren getrennt. [10]

1987 stellten Dr. W. Fromm und Dr. H.A. Maier, BBC, einen Vergleichsschutz bei Hochspannungsleitungen nach dem Ladungsverfahren vor.

Zu den ersten digitalen Distanzrelais zählen: RELZ100 (ABB, 1986), PD551 (AEG, 1995), DD1 (EAW, 1992), SHNB (GEC, 1980), DTIVA2 (Protecta, 1995), SEL-21 (SEL, 1984) und 7SA502 (Siemens, 1986). Neben der Distanzschutzfunktion sind nun AWE, Unterimpedanzanregung, Synchrocheck und Fehlerortler in einem Gerät vereinigt. Ereignisse, Messwerte und Störschriebe können über eine serielle Schnittstelle zur Leittechnik übertragen und dort im Comtrade-Format ausgewertet werden. Hinzu kommt eine weitestgehende Eigenüberwachung.

1987 fertigte BBC das Multifunktionale Motorschutzrelais MCX913 und den digitalen Generatorschutz Modures 216 mit 16-Bit- μ P, Intel 80186. Mit der Inbetriebnahme der 50-kV-GIS- und 16-kV-Duplex-Anlage im WKW Calan-

casca, EGL, gehen der numerische Relais-Generatorschutz REG316, der Leitungsschutz REL316, der Transformatorschutz RET316, der SS-Schutz INX und die Steuerung REC 316 in Betrieb.

Ab 1995 wurden von allen Relaisherstellern kombinierte Schutz- und Steuergeräte gefertigt, die vor allem in der Mittelspannung erfolgreich eingesetzt wurden. Als Beispiel dient das Distanzrelais DDE6-2 mit abgesetztem Bedientableau von Sprecher Automation aus dem Jahre 2008 (**Bild 10**).

In den Wasserkraftwerken der SBB kamen 1995 das volldigitalisierte DRS Generatorschutzsystem und 2002 die DRS-Light-Geräte als Reserveschutz für die Bahnleitungen und der SS-Schutz DRS-BB, ELIN, im KW Uttendorf, ÖBB und UW Genf, SBB, zum Einsatz. Der Ersteintritt des gerichteten Überstromzeitrelais mit integrierter Steuerung BC1703 ACP, SAT, erfolgte 2003 in der 16-kV-Schaltanlage im UW Innertkirchen, KWO.

Das weltweit erste IEC-61850-konforme System wurde 2004 in der 16-kV-Unterstation Winznaschachen, Atel, mit Leitsystem Sicam PAS von Siemens in Betrieb genommen. Mit der Modernisierung des 380/220-kV-UW Sils, KHR, kam IEC-61850-Technik von ABB zur Anwendung.

Die Schutz- und Leittechnik wächst zusammen und adaptive Lösungen lassen erste Schritte der automatischen Anpassung der Schutzeinstellungen an die Netztopologie bzw. durch Störungsauswertungen erkennen.

Ausführlich wird die Historie der Schutz- und Leittechnik in einer Serie in der Zeitschrift PACWorld www.pacw.org behandelt. Eine aktuelle Liste mit Links zu den bisherigen Veröffentlichungen befindet sich unter [13].

Link

www.walter-schossig.de

Referenzen

- [1] W. Schossig, «Die Entwicklung der Relaischutztechnik und die Rolle der Schweiz», Vortragsfolien, Fachtagung Schutztechnik am 4. Dezember 2014 in Bern. ETG Electrosuisse, 117 S., www.walter-schossig.de/Literatur
- [2] Von der Calor zur ABB Calor Emag Mittelspannung GmbH. Festschrift zur 75-jährigen Firmengeschichte. Hrsg.: ABB
- [3] H. Titze, «Die Entwicklung des Selektivschutzes für elektrische Anlagen.» Erweiterte Fassung einer im Konrad-Matschoss-Preisausschreiben 1962 ausgezeichneten Arbeit. 44 S.
- [4] K. Kuhlmann, «Sicherheits- und Empfindlichkeitsfaktor des Leitungsschutzsystems von Merz und Price», Archiv für Elektrotechnik, Bd. 1 (1912) H.3, S.110–124 und 150–162.
- [5] H. Borsi, M. Ulrich, D. Leibfried, «Das neue «elektronische» Buchholzrelais». ew 97(1998) H.13, S.46–52.
- [6] H. Gutmann, «25 Jahre Trockengleichrichter in der Selektivschutztechnik», AEG-Mitteilungen 53 (1963) H.1/2; S.1–4.
- [7] Distance Relays System Wideröe for Short-circuit Protection of Electrical Power System. N. Jacobsens Elektriske Verksted a/s, Oslo, Norway.
- [8] M. Mainka, G. Ziegler, «25 Jahre digitaler Schutz. Vom zentralen Stationsrechner zu verteilten Mikroprozessoren», Elektrizitätswirtschaft 98 (1999), H.10, S.49–53.
- [9] U. Mörke, «Mikroprozessoren in der Netzschutztechnik», ETZ 105 (1984) H.3, S.128–131.
- [10] W. Offhaus, P. Schegner, «Entwicklungstendenzen beim digitalen Leitungsschutz», ETZ 113 (1992) H.17, S.1070–1075.
- [11] A. Kolar, «Verwendung von Computern anstelle von Schutzeinrichtungen», Bulletin SEV/VSE 61 (1970) H.10, S. 442–446.
- [12] G.D. Rockefeller, «Fault protection with a digital computer», IEEE on PAS, Vol. -PAS-88 (1969) 4, S.438–464.
- [13] History in «Protection Automation Control World». www.walter-schossig.de/PACWorld-History.pdf

Autor



Walter Schossig, VDE, Gotha (D), ehemals Ingenieur für Relaischutz bei der Thüringer Energie AG, VDE-Ausschuss «Geschichte der Elektrotechnik» und Autor des Bandes «Netzschutztechnik».

info@walter-schossig.de

Résumé

L'évolution de la technique des relais de protection

Coup d'œil sur le rôle de la Suisse

En ce qui concerne les technologies employées, l'évolution de la technique de protection s'est effectuée parallèlement aux développements généraux du domaine de l'électrotechnique. Ainsi, les coupe-circuit à fusible ont été les premiers à être utilisés, puis est venu le tour des premiers équipements de mesure du courant, tels que les disjoncteurs de puissance des chaudières à mazout. Les transformateurs de courant permettant le raccordement de relais secondaires ont été mis en œuvre peu après.

Afin d'éliminer les problèmes de sélectivité, on a alors introduit les relais de surintensité à temps indépendant. La protection différentielle a, quant à elle, été inventée dès 1903. Au début des années 1920 ont suivi les protections de distance, ainsi que le relais Buchholz. En 1937, le redresseur sec, qui offrait une protection fiable et un réglage facile, a alors fait ses premiers pas. En 1959, la première protection de distance électronique a été utilisée et la caractéristique polygonale a été commercialisée en 1970. À partir des années 1970, les solutions entièrement numériques ont annoncé une nouvelle ère et offert de nouvelles possibilités.

No

«Der Sicherheitstester» EurotestXE MI 3102BT

Neu



Einfach - Selbsterklärend - Menügeführt
NIV und NIN Installationsprüfungen
FI Prüfungen Typ B und B+
Automatische Testabläufe, Messdatenspeicher
Schnittstellen RS232, USB und Bluetooth
Software EuroLinkPRO inkl.
Android Software optional



ELKO
SYSTEME AG



Messgeräte • Systeme • Anlagen
 Zur Kontrolle und Optimierung des Verbrauches elektrischer Energie
 Brülstrasse 47 CH-4312 Magden Telefon 061-845 91 45 Telefax 061-845 91 40
 E-Mail: elko@elko.ch Internet: www.elko.ch

ENERGIE IHRE ZUKUNFT

Master of Advanced Studies FHO in Energiesysteme

CAS Erneuerbare Energien | CAS Photovoltaik
 CAS Elektr. Energiesysteme | CAS Solare Wärme
 CAS Wärmepumpen/Kältetechnik | Master Thesis

Mehr Informationen: www.ntb.ch/energiemaster

NTB

**Interstaatliche Hochschule
für Technik Buchs**

FHO Fachhochschule Ostschweiz

Partner:



Schweizerische Eidgenossenschaft
 Confédération suisse
 Confederazione Svizzera
 Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
 Swiss Federal Office of Energy SFOE

Haushaltszähler zum Verkauf

Infolge Umbau auf Smart Metering, verkaufen wir eine grössere Anzahl Zähler der Fima Landis & Gyr zu einem sehr günstigen Preis.

ZMF120 ACd 10/80 A / 3x230/400V
 Jahrgang 2010/2011/2012/2013

ZMF120 ACtFs2 10/80 A / 3x230/400V
 Jahrgang 2010/2011/2012/2013

Alle Zähler sind in einem Los zugeteilt.

Für weitere Informationen kontaktieren Sie Carli Decurtins.

Telefonnummer 032 654 66 41

E-Mail carli.decurtins@swg.ch

Ihr regionaler Energieversorger.
www.swg.ch



100 % korrosionsfest für Abwasserreinigungs-, Kehrlichtverbrennungs- und Aussenanlagen, Lebensmittel- und Pharmaindustrie, Stollen, für Metro-, Bahn- und Strassentunnel.

• **LANZ HE-Stromschienen 400 A – 6000 A 1000 V IP 68. Korrosionsfest. Giessharzvergossen. Auch EMV-geschirmt. Auch mit 200 % Null-Leiter. EN/IEC-typen-geprüft. Produktion ISO 9001. Funktionserhalt im Brandfall E 30 / E 90. Planung, Lieferung, Montage kurzfristig.**

• **G-Kanäle, C-Kanäle, Gitterbahnen, Flachgitter Multibahnen, Weitspann-MB, Steigleitungen** Stahl feuerverzinkt DIN EN ISO 1461, rostfrei A4 WN 1.4571 oder WN 1.4539. Funktionserhalt im Brandfall E 30 / E 90.

• **MULTIFIX-Profileschienen Stahl verzinkt und rostfrei A4** Abrutschsicher verzahnt. ACS Schockattest 1 bar Basisschutz.

Robust dimensioniert. Perfekt verarbeitet. CE- und IEC-konform. Beratung, Offerte, preisgünstige Lieferung von lanz oensingen ag Tel. 062 388 21 21 Fax 062 388 24 24

Mich interessieren Bitte senden Sie Unterlagen.

Könnten Sie mich besuchen? Bitte tel. Voranmeldung!
 Name / Adresse / Tel. _____

•A6



lanz oensingen ag

CH-4702 Oensingen
 Telefon 062 388 21 21
www.lanz-oens.com

Südringstrasse 2
 Fax 062 388 24 24
info@lanz-oens.com