

# ETAPPEN DER INNOVATION

## VON DER MAGNETISCHEN ZUR ELEKTRONISCHEN WAAGE

Während sich in Deutschland und Österreich als schnellschaltender Leitungsschutz der Distanzschutz als Hauptschutz im Hoch- und Höchstspannungsnetz, aber auch im Mittelspannungsnetz durchgesetzt hat, ist dagegen in Ländern wie England, den USA und Russland der Strom-, Phasen- und Signalvergleichsschutz von Anfang an bis heute als Fernleitungsschutz zu finden. Bei Transformatoren, Generatoren und Motoren gilt der Differentialschutz weltweit als Grundsatz. Durch regenerative Einspeisungen und kurze Kabelverbindungen im Mittelspannungsnetz bzw. als Haupt- und/oder Reserveschutz im Hoch- und Höchstspannungsnetz gewinnt der Leitungsdifferentialschutz an Bedeutung.

### Differentialschutz als Selektivschutz

Als Erfinder des Differentialschutzes, der die Ströme auf beiden Seiten eines Anlagenteiles vergleicht, gelten die Engländer Merz und Price (Patent 16. Februar 1904). Auf beiden Seiten einer Leitung oder eines Transformators wurden Stromwandler installiert und deren Se-

kundärseiten gegeneinander geschaltet, sodass im Normalbetrieb kein Strom fließen konnte. **Abb. 1** Die Wandler waren über Hilfsleitungen zusammenschaltet. Zum Schutz der Leitungen waren auf jeder Seite Relais montiert, die den zugehörigen Leistungsschalter auslösten.

Bei Transformatoren war nur ein Relais erforderlich, welches auf beide Seiten wirkte. Bei einem Fehler zwischen den beiden Wandlern flossen auf beiden Seiten nicht mehr die gleichen Ströme, sodass die Relais Spannung erhielten und auslösten. Die Schaltung hatte den Nachteil, dass die Wandler praktisch im Leerlauf – also offen – betrieben wurden, was zu hohen Spannungen im Wandler-

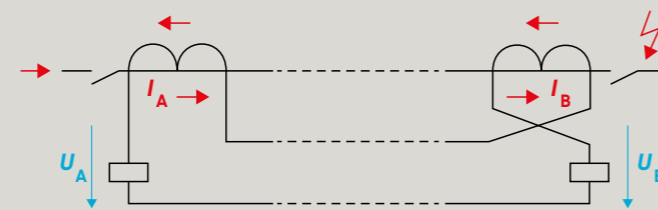


Abb. 1 Differentialschutz nach Merz-Price, 1904

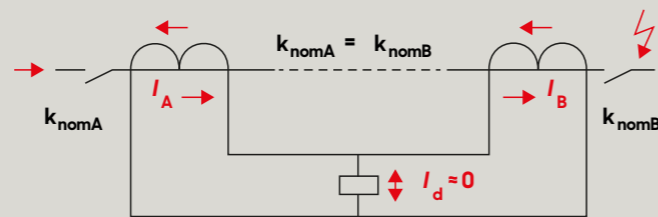


Abb. 2 Brückenschaltung

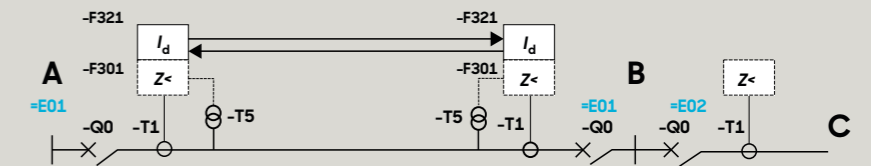


Abb. 3 Leitungsdifferentialschutz mit integriertem oder separatem Distanzschutz

sekundärkreis führte. Man ging deshalb dazu über, die Brückenschaltung zu wählen. **Abb. 2**

### Grenzen des Differential-schutzes

Durch die Begrenzung des Schutzbereiches auf die Wandlereinbauorte fehlt der Schutz der Sammelschiene bzw. der Reserveschutz für die anschließende Leitung, sodass der Einbau eines zusätzlichen Überstromzeit-schutzes erforderlich war. Bei heutigen digitalen Schutzeinrichtungen ist ein zusätzlicher Überstromzeit- bzw. Distanzschutz im Leitungsdifferential-Relais integriert.

Abb. 3

### Falschstromproblem

Selbst bei Einsatz von Wandlern gleicher Bauart und Übersetzungsverhältnisse an den beiden Leitungsenden kommt es – insbesondere auch bei unterschiedlicher Wandlerbebürdung – abhängig von der Größe des Kurzschlussstroms bei außenliegenden Fehlern zu unterschiedlichen Wandlerverhalten und damit zu unterschiedlichen Beträgen auf der Sekundärseite der Stromwandler.

Das wiederum hat zur Folge, dass im Brückenweig ein sogenannter Falschstrom fließt, der zur ungewollten Anregung des Differential-schutzes führt. Es ergibt sich die Forderung, dass der Ansprechwert  $\Delta I'_{an}$  mit steigendem Durchgangsstrom  $I'_D$  zunimmt. Für dieses messende Relais hat sich der Begriff „Prozent- oder falschstromstabilisierendes Differentialrelais“ durchgesetzt.

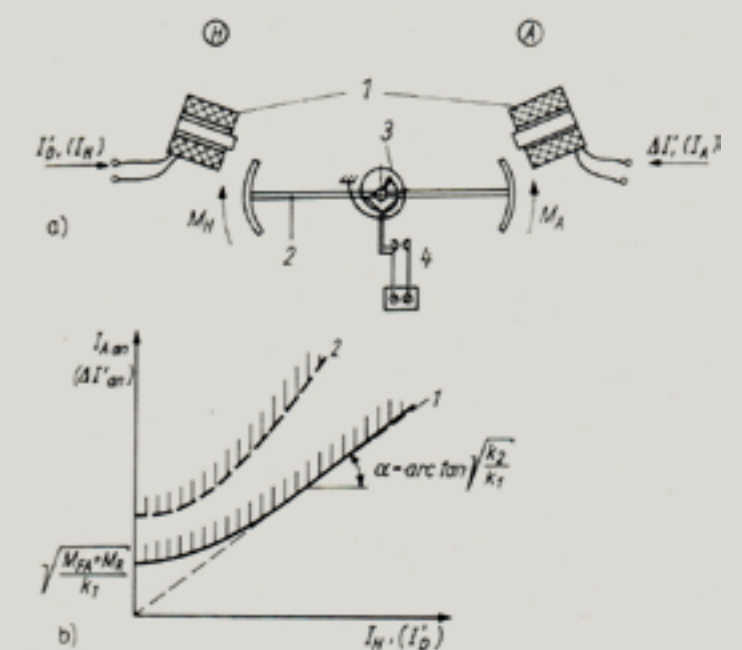


Abb. 4 Falschstromstabilisierung mit magnetischer Waage

- a) Aufbau
- 1 Erregerspulen
- 2 Drehanker
- 3 Rückstellfeder
- 4 Kontakt
- b) Ansprechkennlinien mit den Grenzkurven 1 und 2

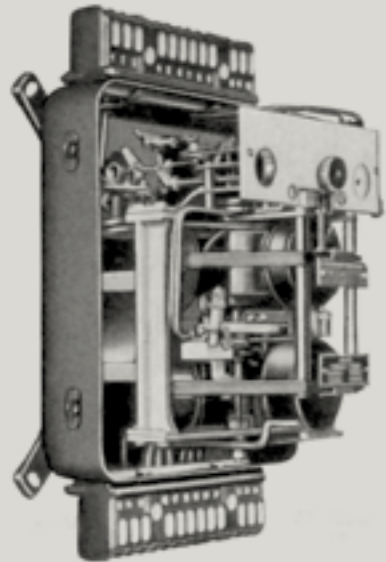


Abb. 5 Diff.-Relais QS1, AEG

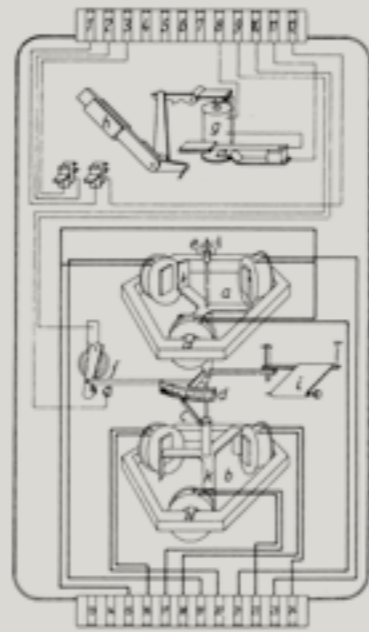


Abb. 6 QS1, Innenschaltung und mechanischer Aufbau

a

b

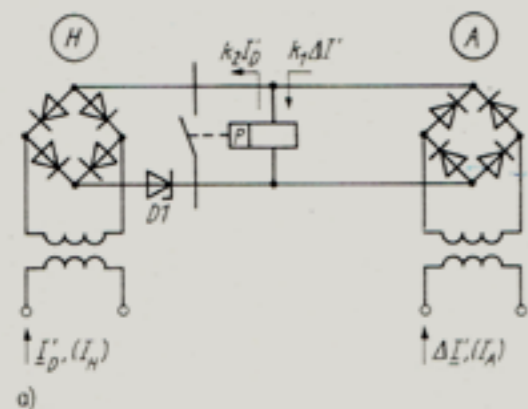


Abb. 7 Falschstromstabilisierung mit elektrischer Waage

- a) Aufbau  
 b) Ansprechkennlinien  
 1 ohne Zenerdiode  
 2 und 3 mit Zenerdiode, Einstellbereich

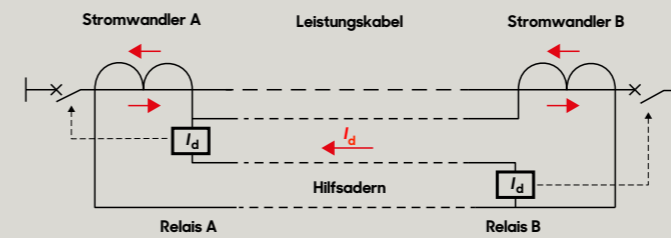
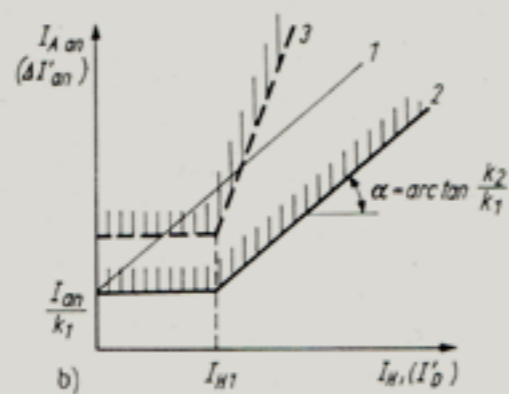


Abb. 8 Prinzip Leitungsdifferentialschutz

Eine Falschstromstabilisierung nach dem Prinzip des elektromagnetischen Vergleichs, der „magnetischen Waage“, zeigt **Abb. 4**.

Das Messsystem „magnetische Waage“ vergleicht die Drehmomente  $M_A$  und  $M_H$  auf der Auslösesseite (A) und der Halteseite (H) miteinander, unter Einbeziehung des durch die Rückstellfeder hervorgerufenen Moments  $M_{FA}$  in der Ausgangsstellung des Relais und des Reibungsmoments  $M_R$ . Die Ansprechkennlinie  $I_{A\text{an}} = f(I_H)$  ist in b) dargestellt. Von ihr wird die eingangs formulierte Forderung nach steigendem Ansprechstrom  $\Delta I'_{\text{an}}$  mit zunehmender Halteseite  $I'_D$  erfüllt.

AEG stellt 1931 hierzu das neue Differential-Relais QS1 mit zwei vollkommen gleichen Magnetsystemen vor, deren Drehanker auf einer gemeinsamen Welle sitzen und einander entgegenarbeiten. **Abb. 5 und Abb. 6**

Mit der Einführung der Gleichrichter- und Drehspulentechnik Anfang der 50er-Jahre wird die Stromdifferenzbildung mittels elektrischem Vergleich, „elektrische Waage“, vorgenommen. **Abb. 7**

Beim Leitungsdifferentialschutz ist an den örtlich entfernten Vergleichspunkten ein Leistungsschalter, der im Fehlerfall betätigt werden muss.

**Abb. 8** zeigt das Grundprinzip des Leitungsdifferentialschutzes.

### Vorteile des Leitungsdifferentialschutzes

100 % der Leitung werden in Schnellzeit erfasst. Bei allen Vergleichsschutzarten können im Gegensatz zum Impedanz- (Distanz-) Schutz die Längen der Leitung beliebig kurz sein. Parallelkabel, ja sogar Dreibeine bzw. Mehrendenleitungen, stellen – sieht man von der erforderlichen Wirkverbindung (Steuer- oder Fernmelde- bzw. LWL) ab – kein Problem dar. Sie sichern eine schnelle Abschaltung bei Fehlern im gesamten Schutzbereich.

Die technischen Daten, wie Länge, Querschnitt und Material, werden für die Einstellung des Leitungsdifferentialschutzes lediglich für die Berechnung des Ladestroms der zu schützenden Leitung benötigt. Um ein Fehlansprechen bei der Einschaltung zu vermeiden, kann als Einstellregel  $I_d \approx 3I_C$  der Leitung angenommen werden.

Es werden hohe Ansprechempfindlichkeiten bis etwa  $0,3 I_n$  eingestellt. Dies kann bei geringen Kurzschlussströmen und bei Zwischensystemfehlern, z. B. 380- und 110-kV-Leitungen auf einem Gestänge, erforderlich sein. Bei Netzpendelungen oder Kurzschlusswechseln sind Leitungsdifferentialschutz-Einrichtungen selektiv.

Beim digitalen Leitungsdifferentialschutz mit LWL ist die Sternpunktbehandlung des Stromnetzes ohne Belang, da der Stromvergleich pro Phase erfolgt und damit unterschiedliche Gewichtungen für verschiedene Fehler – wie sie bei den traditionellen Mischwandler-Differentialschutzverfahren auftreten – passé sind. Der digitale Leitungsdifferentialschutz ermöglicht eine leiterselektive Fehlererfassung und somit eine einpolige AWE.

Lesen Sie die Vollversion mit mehr Details zum Thema Leitungsdifferentialschutz auf unserer Website [www.netzschutz-magazin.com](http://www.netzschutz-magazin.com)

### Walter Schossig,

geb. 1941, Autor des Buches „Netzschutztechnik“ 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 Schutzzeineinrichtungen“ und im Bayernwerk-AK „Schutz-einrichtungen“. Bis heute aktiv im VDE AK.