

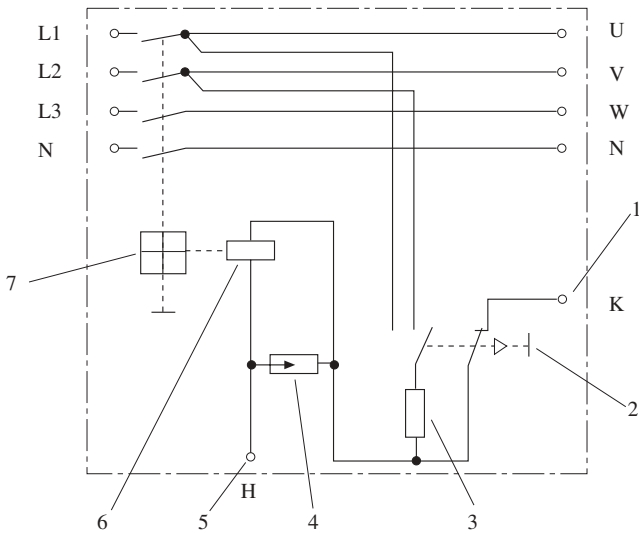
## 4 Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

### 4.1 Historischer Rückblick

In Band 82 der VDE-Schriftenreihe, Abschnitt 4.2.1, wurde beschrieben, wie sich die Fehlerstrom-Schutzschaltung entwickelt hat, wobei eine Zeitspanne von dreißig Jahren, etwa von 1930 bis 1960, überbrückt wurde, innerhalb der allerdings fünf Jahre lang durch den Krieg der technische Fortschritt zum Stillstand gekommen war.

Die Fehlerspannungs-Schutzschalter der Zwischenkriegszeit, die noch in den ersten Jahren der Nachkriegszeit, etwa bis 1960, praktisch unverändert weitergebaut wurden, waren einfache Konstruktionen mit primitiven Schaltschlössern und Kontaktapparaten, die gerade den Schalternennstrom ausschalten konnten. Sie hatten einen Arbeitsstromauslöser, der sicherstellte, daß der Schalter mit  $800\ \Omega$  in Serie mit der Auslösespule unter  $65\ \text{V}$  und in Serie mit  $200\ \Omega$  unter  $24\ \text{V}$  ausschaltete. Der Überspannungsableiter für die Auslösespule, der parallel zu dieser angeordnet war, fehlte meistens oder bestand aus einem kleinen Keramikzylinder, über dessen Enden kappenartig Hülsen gestülpt waren, deren zackige Enden eine offene Funkenstrecke mit etwa  $1\ \text{mm}$  Luftspalt bildeten. Verständlicherweise wurden die Spulen bei atmosphärischen Überspannungen immer wieder zerstört, und dies änderte sich auch nicht, als man später kleine Gasableiter für den Überspannungsschutz einsetzte. Die Schalter hatten eine Prüftaste, durch die über einen Prüf Widerstand die Auslösespule nacheinander an zwei Außenleiter gelegt wurde, wobei zuerst die Verbindung zur Anschlußklemme für den Schutzleiter unterbrochen wurde (**Bild 4.1**). Fertigungsfehler führten oft zu mangelnder Rückstellung dieses Kontakts, wodurch eine Unterbrechung der Erdungsleitung entstand, die man nicht einmal erkennen konnte, weil die Prüftaste weiter funktionierte. Wenn der Schalter mechanisch versagte, brannte bei einem Körperschluß die beim Auslösevorgang hoch überlastete Auslösespule durch, und auch dadurch wurde die Verbindung des Schutzleiters mit der Hilfserde unterbrochen. All dies führte dazu, daß trotz internationaler Normung (CEE-Publ. Nr. 18, voltage-operated earth leakage circuit-breakers) diese Methode des Schutzes gegen gefährliche Berührungsströme etwa ab Mitte der sechziger Jahre nicht mehr angewendet wurde.

Wie in Band 82 der VDE-Schriftenreihe, Abschnitt 4.2.1, beschrieben, beruht die Idee eines Fehlerstrom-Schutzschalters auf einer deutschen Patentschrift aus dem Jahre 1928. Aber erst nach dem Zweiten Weltkrieg begann man in Deutschland und Österreich intensiv mit der Entwicklung von Fehlerstrom-Schutzschaltern für eine industrielle Fertigung. In anderen Ländern war bis etwa Mitte der fünfziger Jahre der FI-Schutzschalter noch so gut wie unbekannt. In Frankreich wurde das Prinzip des Differentialschutzes aber bereits angewendet, um den Stromdiebstahl durch den Anschluß von Geräten zwischen einem Außenleiter und Erde (Wasserleitung) zu



**Bild 4.1** Fehlerspannungs-FU-Schutzschalter (Heinisch-Riedl-Schalter, Trennwart)

oben: Schaltbild

- |   |   |
|---|---|
| 1 Klemme für den Anschluß des Schutzleiters | 5 Klemme für den Anschluß der Hilfserdungsleitung |
| 2 Prüfeinrichtung                           | 6 Auslösespule                                    |
| 3 Prüf Widerstand                           | 7 Schaltschloß                                    |
| 4 Überspannungsableiter                     |   |

unten: Ansicht eines FU-Schutzschalters, Nennstrom 25 A (Baujahr 1950)

verhindern. Erst Ende der fünfziger Jahre setzte die stürmische Entwicklung der FI-Schutzschaltertechnik ein.

Man baute damals FI-Schutzschalter mit großen Summenstromwandlern mit mehreren Primärwindungen, die über eine Sekundärwicklung einen Arbeitsstromauslöser, ähnlich wie bei den FU-Schutzschaltern, betätigten. Bald stellte sich heraus, daß mit den üblichen Anzugsmagneten nicht viel auszurichten war. Die Schalter waren erschütterungsempfindlich, teuer und unzuverlässig. Man konnte Auslöseempfindlichkeiten bis herunter zu 300 mA erreichen, aber dies war mit Rücksicht auf die Zuverlässigkeit der Schalter und ihre Sicherheit gegen Fehlauflösungen infolge mechanischer Erschütterungen kaum mehr zu verantworten. Die Schalter dieser Entwicklungsspanne hatten daher einen Nennfehlerstrom von 0,5 A oder 1 A. Damals wurde von einer deutschen Firma zum ersten Mal ein neuer Weg eingeschlagen, und damit war der netzspannungsabhängige FI-Schutzschalter geboren. Bei den bisherigen Ausführungsformen wurde ja die Auslöseenergie vom Summenstromwandler geliefert, und die Sekundärwicklung hatte keine galvanische Verbindung zum Netz. Um nun den betriebsmäßigen Spannungsfall und damit die Erwärmung im Schalter möglichst klein zu halten – und mit dem Wunsch nach kleinstem Werkstoffaufwand für den Summenstromwandler –, lag es nahe, Energie aus dem Netz für die Schalterauslösung zu verwenden. Die neue Lösung verwendete also ein Kaltkathodenrohr (Thyratron) als Verstärkungseinrichtung, und zwar eine ungeheizte, gasgefüllte Elektronenröhre mit Anode, Katode und Steuerelektrode, die nach **Bild 4.2** in den Sekundärstromkreis des Summenstromwandlers geschaltet wurde.

Der Schalter war aber teuer, nicht betriebsicher wegen der Zündschwierigkeiten der damals verwendeten Thyratrons und führte nicht zum erhofften Erfolg.

Man begann gleichzeitig die netzspannungsunabhängigen FI-Schutzschalter weiter zu entwickeln. Es lag deshalb nahe, sich eines Haltemagnetauslösers zu bedienen, bei dem also der Strom im Sekundärkreis des Summenstromwandlers nicht einen Anzugsmagneten (Arbeitsstromauslöser) betätigt, sondern einen Anker zum Abfallen bringt und dadurch das Schaltschloß auslöst. Dies bedingt natürlich, daß beim Einschalten der abgefallene Anker wieder in seine Ausgangslage rückgestellt wird, und damit eine Komplizierung des Schaltschlusses. Auf die Formen dieser sogenannten Permanentmagnetauslöser wird in Abschnitt 4.3.1 eingegangen. Die Energie, die der Summenstromwandler lieferte, war vor allem für hohe Auslöseempfindlichkeiten (etwa mit Nennfehlerstrom 30 mA) immer noch sehr gering, und so führte die Suche nach höheren Auslöseenergien 1957 in Österreich zu einem neuen Prinzip, das in den kommenden Jahrzehnten die moderne FI-Schutzschaltertechnik wesentlich beeinflußt hat. Dabei wird über die Sekundärwicklung des Summenstromwandlers und einen Gleichrichter ein Kondensator geladen, der nach Erreichen der gewünschten Ladespannung – und damit auch Ladeenergie – über ein spannungsabhängiges elektronisches Schaltelement impulsartig den Fehlerstromauslöser betätigt. Dieser Auslöser kann ein Arbeitsstromauslöser oder ein Permanentmagnetauslöser sein.