

Bild 8-1 Buchholz- und Hermetik-Schutz – Schaltzeichen

Sind auf der Oberspannseite des MS/NS-Transformators Sicherungen vorhanden, kann die Auslösung durch den Buchholz-Schutz auch mit AC 230 V vorgenommen werden.

In den letzten Jahren werden Transformatoren mit hermetisch geschlossener Ausführung in den Verteilernetzen eingesetzt. Ein spezieller Hermetik-Schutz spricht bei Ölverlust oder unzulässiger Gasbildung an.

8.2 Differenzialschutz

8.2.1 Arbeitsweise

Der Differenzialschutz vergleicht in einem Brückenweig den in das Schutzobjekt hineinfließenden mit dem aus ihm wieder herausfließenden Strom.

Im **Bild 8-2** ist das Prinzip bei einem angenommenen Transformatorübersetzungsverhältnis von 1:1 dargestellt.

Bei einem außerhalb des Differenzialschutzbereichs auftretenden Fehler (z. B. im Leitungsabgang = J01) ist der im Auslösesystem A fließende Strom (ebenso wie bei Betriebslast) $I_d = i_1 - i_2 \approx 0$. Dagegen addieren sich bei einem innen liegenden Fehler die Ströme im Auslösesystem A, d. h. $I_d = i_1 + i_2$.

Der Differenzialschutz erfasst Fehler an allen Betriebsmitteln, die zwischen den ober- und unterspannungsseitigen Stromwandlern eingebaut sind oder Störungen an den Wandlern selbst (**Bild 8-3**).

Beim ungestörten Transformator treten bei Betriebslast bzw. beim außen liegenden Fehler unerwünschte Falschströme im Brückenweig auf. Die Ursachen hierzu sind begründet durch:

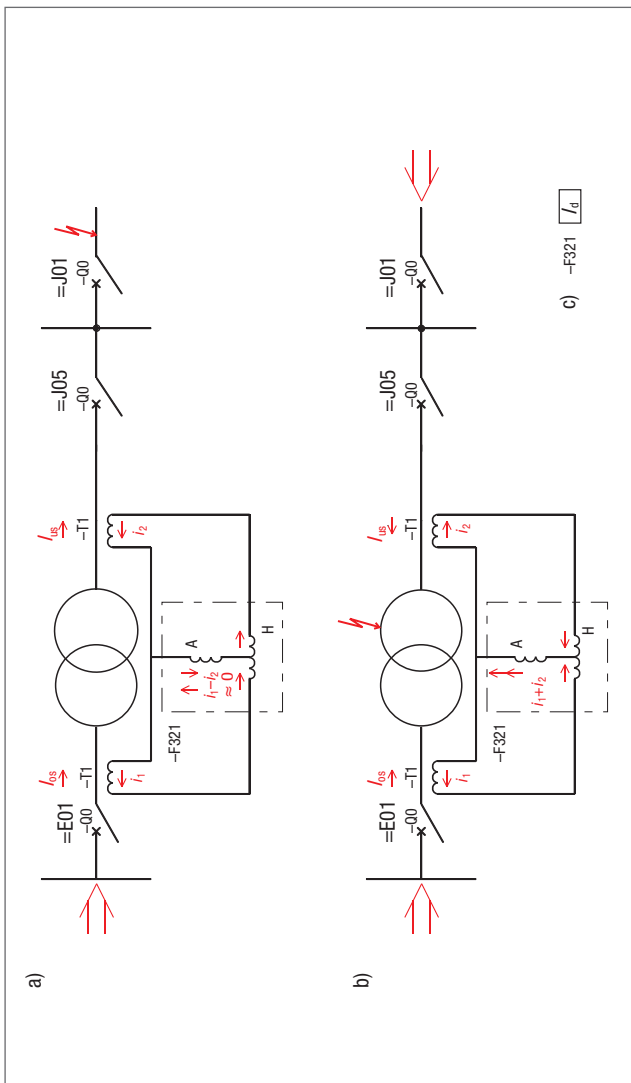


Bild 8-2 Differenzialschutz – Prinzip: a) Arbeitsweise bei außen liegendem Fehler, b) Arbeitsweise bei Fehler innerhalb, c) Schaltzeichen

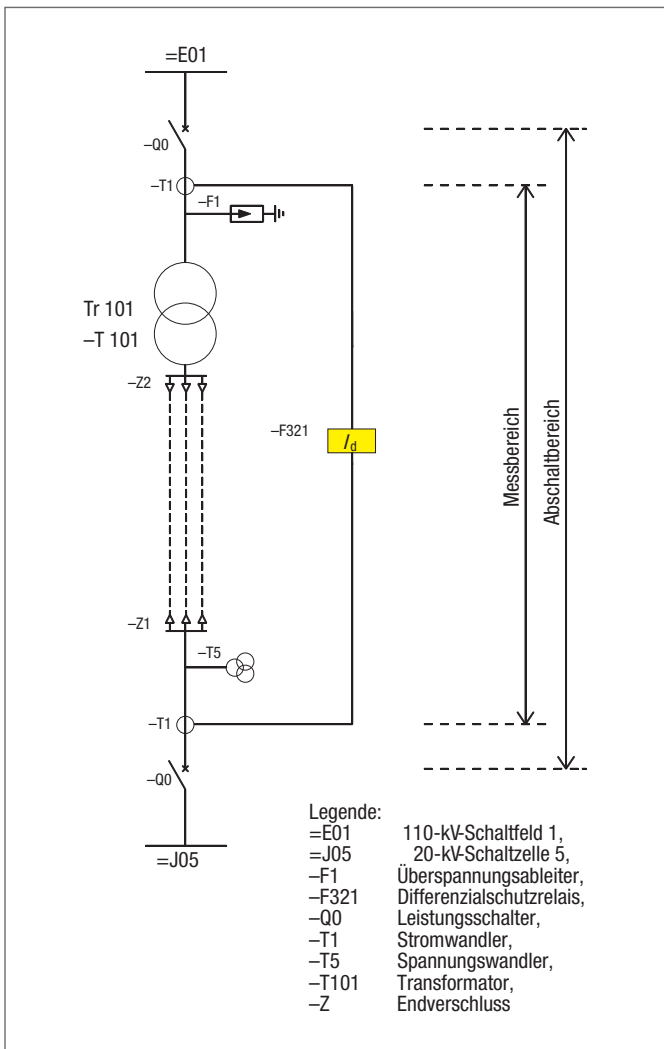


Bild 8-3 Differenzialschutz – Bereich

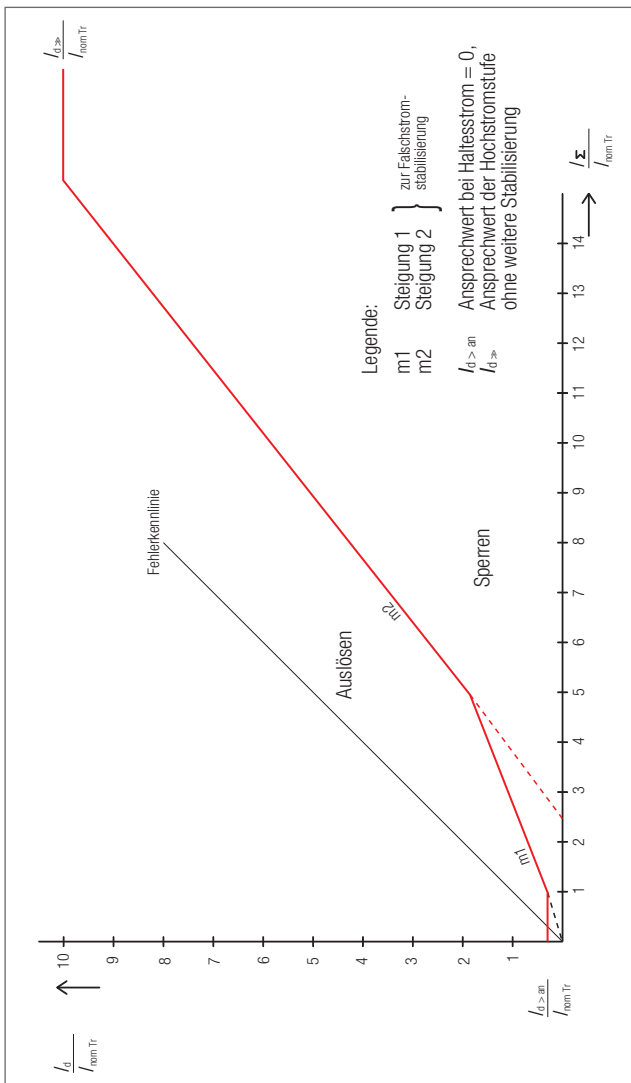


Bild 8-4 Auslösekennlinie beim Differenzialschutz

- den nur in der Primärwicklung fließenden Magnetisierungsstrom,
- die nicht genau an die Transformatornennströme angepassten Stromwandler, dies gilt insbesondere für die Änderung des Übersetzungsverhältnisses durch den Stufenschalter und
- Betrags- und Winkelfehler der Stromwandler [T13].

Zur Vermeidung von Fehlauflösungen muss die Auslösekennlinie oberhalb der Summe der Falschströme liegen (**Bild 8-4**). Dies wird erreicht, indem der Ansprechwert entsprechend hoch eingestellt wird und bei einem Vielfachen des Nennstroms eine Falschstromstabilisierung einsetzt. Letzteres geschieht, indem dem Falschstrom ein Haltestrom, gebildet aus $i_1 + i_2$, entgegenwirkt.

Des Weiteren kommt es beim Einschalten eines Transformators zum Einschaltstromstoß. Dieser sog. Rush-Effekt führt zum Auftreten eines Vielfachen des Nennstroms auf der zuschaltenden Seite, der sich im Relais voll als Differenzialstrom zeigt. Bei älteren elektromechanischen Relais musste deshalb die Auslösung bis zum Abklingen des Einschaltstroms verzögert werden. Modernere Relais werten die beim Einschalten eines Transformators auftretende zweite Harmonische aus und sperren bei Überschreitung eines bestimmten Werts des 100-Hz-Stroms zum 50-Hz-Strom die Auslösung.

Der Rush-Effekt tritt auch beim Fortschalten eines Fehlers im vorgeordneten Netz und sogar beim Zuschalten eines parallelen Transformators auf, wenn beide Transformatoren über die gleiche Zuleitung versorgt werden. Dieser „sympathetic inrush“ wird hervorgerufen durch das Gleichstromglied des eigentlichen Rush-Stroms, welcher am ohmschen Widerstand der Zuleitung eine Gleichspannungskomponente bewirkt, die den Fluss im schon im Betrieb befindlichen Transformator in Sättigung bringt. Dies kann u. U. zum Fehlauflösen eines bereits in Betrieb befindlichen Transformators beim Einschalten eines weiteren Transformators führen.

Beim elektromechanischen Schutz ist aus folgenden Gründen der Einsatz von **Zwischenwandlern** erforderlich:

- Ausgleich der mit Transformatorübersetzung nicht übereinstimmenden Stromwandlernennströme,
- Ausgleich der Phasenverschiebung zwischen den Spannungsebenen (Kennziffer der Schaltgruppe $\neq 0$ bzw. 6),
- Elimination der Nullkomponente bei niederohmiger oder kompensierter Erdung des Transformatorsternpunkts (Dreieckschaltung beim Zwischenwandler).

Das Übersetzungsverhältnis der Zwischenwandler kann mit folgenden Formeln ermittelt werden.

Bei einer Schaltgruppe YNyn0 gilt:

$$k_{Zwdl_{OS}} = \frac{S_{nomTr}}{U_{OS} (1-p)^2 k_{Wdl_{OS}} I_{nomRel}}$$

p Stufungsbereich des Transformators
(bei $\pm 16\%$ ist $1 - p^2 = 0,974$)

$$k_{Zwdl_{US}} = \frac{S_{nomTr}}{U_{US} \sqrt{3} k_{Wdl_{US}} I_{Rel}}$$

Hat der Transformator die Schaltgruppe YNd5, so gilt:

$$k_{Zwdl_{US}} = \frac{S_{nomTr}}{U_{US} k_{Wdl_{US}} I_{Rel}}$$

Bei digitalen Relais wird Vorstehendes softwaremäßig gelöst, sodass die Zwischenwandler entfallen.

Für die Einstellung der Amplitudenanpassung muss immer eine für alle Wicklungen gleiche Bezugsleistung angesetzt werden. Bei Zweiwicklern wird hierbei von der Nennleistung ausgegangen. Bei Dreiwicklern wird die Nennleistung der leistungsstärksten Wicklung herangezogen. Handelt es sich z. B. um einem 110/20/10-kV-Transformator, 40/20/20 MVA, so wird bei allen Wicklungen mit 40 MVA gerechnet.

Ist der Differenzialstrom so groß, dass er nur bei einem innen liegenden Fehler zustande kommt, so kann ohne Berücksichti-

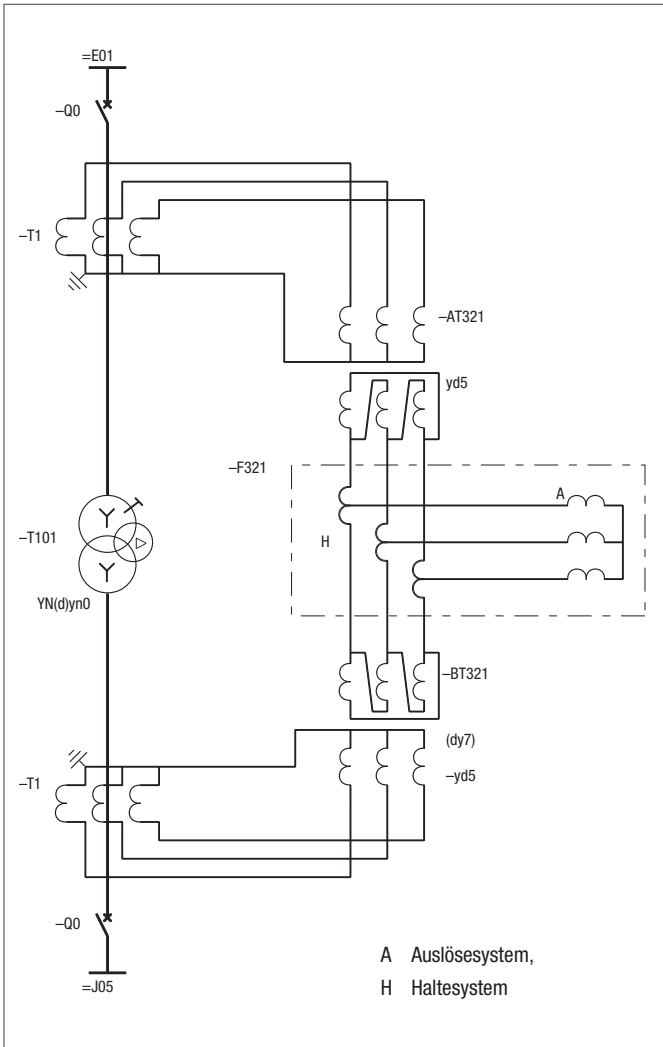


Bild 8-5 Anpassung des Differenzialschutzes mit Zwischenwandlern

gung der Stabilisierung ausgelöst werden. Diese unstabilierte Schnellauslösung wirkt auch dann, wenn z. B. wegen Stromwandlersättigung durch ein Gleichstromglied im Kurzschlussstrom eine zweite Harmonische auftritt, die von der Einschaltstabilisierung als Rush-Strom interpretiert werden könnte.

Die Nullstromfilterung erfolgt also beim elektromechanischen Schutz durch den Einbau von Zwischenwandlern in yd-Schaltung (siehe **Bild 8-5**). Beim digitalen Schutz geschieht dies durch die Aktivierung des Nullstromfilters (z. B. Parameter „Sternpunkt an dieser Trafoseite geerdet“). Dies hat allerdings zur Folge, dass die Empfindlichkeit bei einpoligen Fehlern um $\frac{1}{3}$ geringer wird, da $I_0^{1/3}$ von I_k ausmacht. Führt man dem Differenzialschutz den Sternpunktstrom der geerdeten Transformatorseite zu, braucht der Nullstromfilter nicht aktiviert zu werden, man erreicht wieder gleiche Empfindlichkeit für ein- und mehrpolige Fehler und bei gleichzeitiger Aktivierung des **Nullstromdifferenzialschutzes** kann dieser noch empfindlicher eingestellt werden (z. B. $0,15 I_{nom}$).

In **Bild 8-6** ist die Arbeitsweise im NOSPE-Netz (angenommen mit einem 300-A-Widerstand und Wandlerübersetzung 1:1) dargestellt.

Der Einsatz des Nullstromdifferenzialschutzes empfiehlt sich bei

- niederohmiger (NOSPE),
- kurzzeitiger niederohmiger (KNOSPE) bzw.
- starrer Sternpunkterdung (SSPE).

Im resonanzgeerdeten (RESPE) Netz fließt beim Erdschluss im Differenzialschutzbereich nur der Erdschlussreststrom, sodass der Nullstromdifferenzialschutz nicht anregt. Trotzdem wird auch hier der Einsatz für die Fehlerfälle Doppelerdschluss mit je einem Fußpunkt innerhalb und außerhalb des Differenzialschutzbereichs sowie Erdschluss bei Transformatoreinschaltung ohne angeschlossenes Netz empfohlen.

Der Nullstromdifferenzialschutz wird ausführlich in [T9] behandelt.

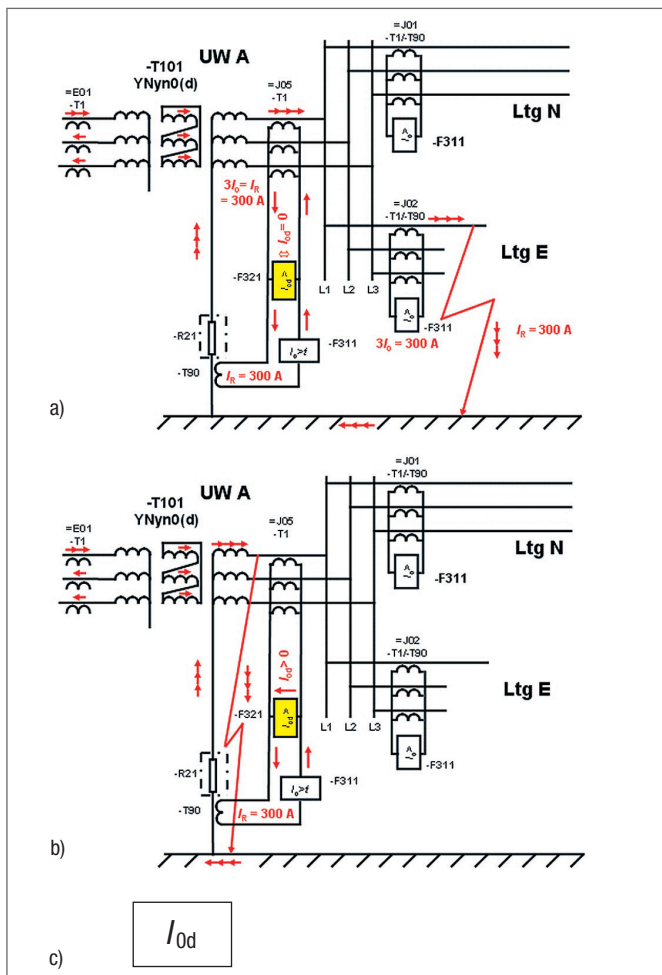


Bild 8-6 Nullstromdifferenzialschutz – Prinzip –
a) Arbeitsweise bei außen liegendem Fehler,
b) Arbeitsweise bei innen liegendem Fehler,
c) Schaltzeichen

8.2.2 Einstellregeln

Der Ansprechwert muss bei Betriebslast und bei außen liegenden Fehlern stets über den dabei auftretenden Falschströmen liegen.

Nachstehende Einstellempfehlungen werden gegeben:

Ansprechwert bei Haltestrom $I_{\Sigma} = 0$

$$I_{d>} = 0,2 \bar{I}_{\text{nom}} \text{ (bei Trafo-Regelbereich } \pm 16 \% \text{)}$$

als arithmetischer Mittelwert gilt:

$$\bar{I}_{\text{nom}} = (I_{\text{nom Stufe 1}} + I_{\text{nom Stufe 19 bzw. 27}}) / 2.$$

Anstieg für die Falschstromstabilisierung

$$m_1 = 0,25 \text{ mit Fußpunkt } I_{\Sigma} = 0$$

$$m_2 = 0,50 \text{ mit Fußpunkt } I_{\Sigma} = 2,5 I_{\text{nom}}$$

Schnellauslösung bei stromstarken Fehlern

$I_{d>}$ wie Hochstromschnellstufe beim Überstromzeitschutz
(siehe Kapitel 8.3.2)

Einschaltstabilisierung

$$\frac{I_{100}}{I_{50}} = 0,15$$

Übererregungsstabilisierung

$$\frac{I_{250}}{I_{50}} = 0,15$$

Nullstromdifferenzialschutz

$I_{0d>} = 0,15 I_{\text{nom}}$ bezogen auf I_{nom} der zugehörigen Leistungswicklung

Nullstromfilter bei Sternpunktbehandlung des zugehörigen Transformators SSPE, (K)NOSPE und RESPE aktivieren. Ist der Sternpunkt einer Transformatorenwicklung isoliert (z. B. 110-kV-Wicklung in Bild 8-6) so ist auch im starr, niederohmig oder induktiv geerdeten Netz bzw. auch bei angeschlossenen Überspannungsableiter [T11] der Nullfilter nicht zu aktivieren.

Durch die Phasenverschiebung der drei Leiter-Erde-Spannungen um jeweils 120° ist der Einschalt-Rush-Strom in den Leitern unterschiedlich stark vertreten. Um ein Versagen der Einschaltsperrung zu vermeiden, besteht beim digitalen Schutz die Möglichkeit der Blockierung der Messsysteme in allen Leitern. Dies birgt jedoch die Gefahr der ungewollten Auslösever-

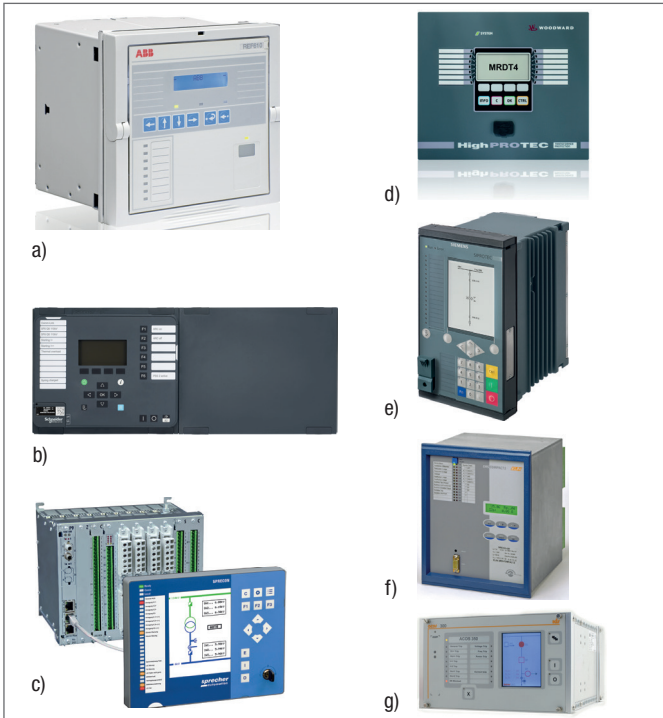


Bild 8-7 Digitaler Differenzschutz

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| a) RET610, ABB, | b) P634, Schneider Electric, |
| c) DQ6-1, Sprecher Automation, | d) MRDT4, Woodward, |
| e) 7UT82, Siemens, | f) DRS-COMPACT2, Elin/Andritz Hydro, |
| g) ACOS350, Vivavis (ehemals IDS) | |

hinderung. Es wird deshalb empfohlen, „cross-blocking“ (Oberschwingungssperre übergreifend) nicht zu aktivieren.

8.2.3 Relaissortiment

Aus der Vielzahl der Hersteller und der von ihnen angebotenen Relais ist in der **Tabelle 8-1** ein typisches Sortiment (Auszug) zusammengestellt.

Tabelle 8-1 Typisches Sortiment Differenzialschutz

Hersteller	ABB	AEG/ Schneider Electric	EAW/ Sprecher Automation	SEG/ Wood- ward	Siemens	Elin/ Andritz Hydro	Vivavis (ehemals IDS)
elektro- mechanisch	D2	RQ4...a	RQS4T1		RT2	QS3	
statisch	DT92	SQT	071	XD1-T	7UT7	IQ321	
digital	RET610	P634	DQ6-1	MRDT4	7UT82	DRS-COM- PACT2	ACOS395

8.3 Überstromzeitschutz

8.3.1 Arbeitsweise

Als Reserveschutz für das Differenzialrelais und den Buchholzschutz wird auf der Oberspannungsseite ein Überstromzeitschutz eingesetzt. Die Wirkungsweise wurde bereits beim Leitungsschutz beschrieben.

Beim digitalen Schutz besteht die Möglichkeit, durch die Hochstromstufe einen schnellschaltenden Reserveschutz auf der Oberspannungsseite zu schaffen. Die Einstellung erfolgt so, dass beim Fehler auf der Oberspannungsseite bzw. im Transformator die Hochstromstufe anspricht und etwa unverzögert auslöst. Bei einem Fehler auf der Unterspannungsseite darf aber die Hochstromstufe mit Sicherheit nicht anregen [T12].

Tabelle 8-2 Einstellung der Hochstromstufe

S_{nomTr} in kVA	u_{zTr} in %	$\frac{I_{k \text{ max}}}{I_{\text{nomTr}}}$	$\frac{I_{>}}{I_{\text{nomTr}}}$
< 630	4	25,0	30
630–4 000	6	16,7	20
> 4 000–10 000	7	14,3	17

Bei Netzausläufen sollte die Vorimpedanz beachtet werden, sodass durch Netzberechnungen geringere Ansprechwerte vorgenommen werden können.