

## Schutz eines Dreiwickler-Transformators

### Dreiwicklungs- Transformator

110 kV/25 kV/10 kV

Yyn0d5

25 kV-Seite: starr geerdet

#### Schutzfunktionen:

87 T - Differentialschutz

87 N - Erdfehlerdifferentialschutz

50/51 - UMZ als Reserveschutz

49 - Thermischer Überlastschutz

46 - Schiefelastschutz

24 - Übererregungsschutz

### 1. Einleitung

Transformatoren sind wertvolle Betriebsmittel die entscheidend zur Versorgungssicherheit des Netzes beitragen. Die optimale Auslegung des Transformatorschutzes stellt sicher, dass evtl. auftretende Fehler schnell geklärt werden, und damit Folgeschäden minimiert werden.

Neben den Auslegungshinweisen wird ein komplettes Einstellbeispiel mit SIPROTEC Schutzgeräten für einen Dreiwickler-Transformator im Übertragungsnetz beschrieben.

### 2. Schutzkonzept

Die Bandbreite der Hochspannungstransformatoren reicht von kleinen Verteilnetztransformatoren (ab 100 kVA) bis zu Großtransformatoren von mehreren hundert MVA. Der Differentialschutz bietet einen schnellen, selektiven Kurzschlusschutz, alleine oder in Ergänzung zum Buchholzschutz. Bei größeren Einheiten ab etwa 5 MVA gehört er zur Standardausrüstung.

#### 2.1 Differentialschutz

Der Transformator-differentialschutz enthält eine Reihe von Zusatzfunktion (Anpassung an Übersetzung und Schaltgruppe, Stabilisierung gegen Einschalt-Rush und Übererregung) und erfordert deshalb einige grundsätzliche Überlegungen für die Projektierung und Wahl der Einstellwerte.

Die je Relais integrierten Zusatzfunktionen können mit Vorteil genutzt werden. Es ist jedoch zu beachten, dass Reserveschutzfunktionen aus Redundanzgründen jeweils in einer getrennten Hardware (weiterem Relais) anzuordnen sind. So kann der im Differentialschutz 7UT613 enthaltene Überstromzeitschutz nur als Reserveschutz gegen externe Fehler im angeschlossenen Netz genutzt



Bild 1 SIPROTEC-Transformatorschutz

werden. Der Reserveschutz für den Transformator selbst muss als getrenntes Überstromrelais (z.B. 7SJ602) vorgesehen werden. Der Buchholzschutz als schneller Kurzschlusschutz wird mit dem Transformator geliefert.

Für die einzelnen Funktionen werden die Gerätebezeichnungen nach ANSI (American National Standard) verwendet. Der Differentialschutz hat danach zum Beispiel die ANSI-Nr. 87

Der Differentialschutz 7UT613 ist neben dem Buchholzschutz als unabhängiger schneller Kurzschlusschutz vorgesehen.

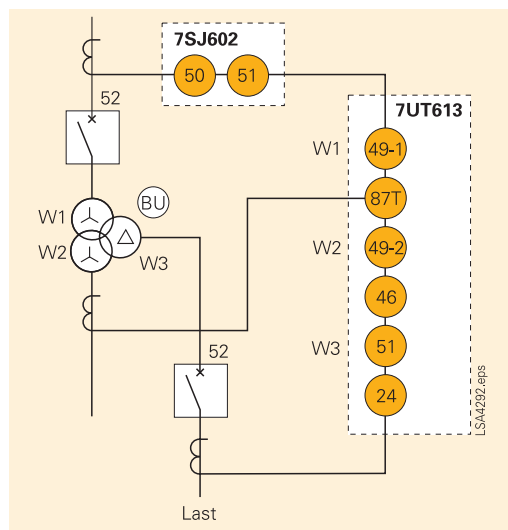
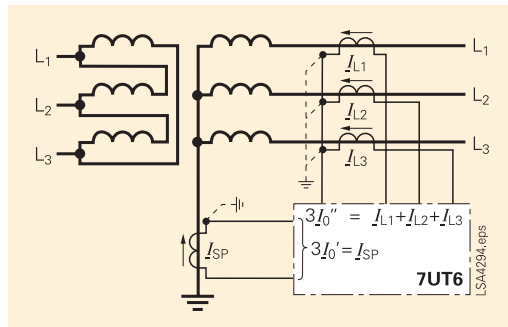


Bild 2 Schutz eines Dreiwickler-Transformators

### 2.2 Erdfehlerdifferentialschutz

Der Erdfehlerdifferentialschutz erfasst Erdkurzschlüsse in Transformatoren bei denen der Sternpunkt niederohmig oder starr geerdet ist. Er ermöglicht eine schnelle und selektive Abschaltung bei Erdschluss in der Wicklung. Der Schutz basiert auf einem Vergleich des Sternpunktstromes  $I_{SP}$  mit den Phasenströmen der Hauptwicklung.



**Bild 3** Anschluss Erddifferentialschutz an einer geerdeten Sternwicklung

Als Ansprechempfindlichkeit sollte  $\leq 10\%$  des Stromes bei Klemmenerdschluss (90%-Schutzbereich) angestrebt werden. Dazu ist der einphasige Zusatzmesseingang mit Anschluss  $I_{Z1}$  des 7UT613 zu verwenden und mittels Einstellung der zugehörigen Hauptwicklung zuzuordnen. Damit wird der Erdstrom dieses Einganges mit den Phasenströmen der Hauptwicklung verglichen.

### 2.3 Reserveschutzfunktionen

Der integrierte Überstromzeitschutz (51) im 7UT613 dient als Reserveschutz für Fehler im versorgten Netz. Ein getrennter Überstromschutz auf der Unterspannungsseite ist deshalb nicht erforderlich. Das Relais 7SJ602 kann als Reserveschutz gegen Kurzschlüsse im Transformator und als zusätzlicher Reserveschutz gegen unterspannungsseitige Fehler angewendet werden. Die Schnellauslösestufe  $I >> (50)$  ist über den durchfließenden Kurzschlussstrom einzustellen, damit sie nicht bei Fehlern auf der Unterspannungsseite anspricht. Die verzögerte Auslösung (51) muss dem Überstromschutz im 7UT613 überstaffelt werden.

Wegen der unterschiedlichen Nennleistungen wird den Wicklungen S2 und S3 jeweils ein getrennter Überlastschutz (im 7UT613 integriert) zugeordnet. Die Dreieckwicklung, die oft nur für Eigenversorgung genutzt wird, erhält einen eigenen Überstromzeitschutz (51) (im 7UT613 integriert) gegen Phasenfehler.

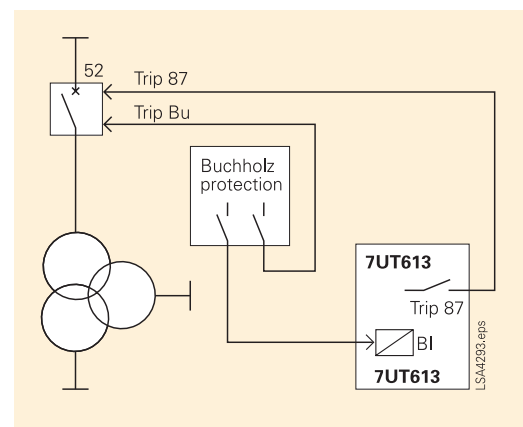
Bei kleiner Nennleistung der Tertiärwicklung und entsprechend angepasster Wandlerübersetzung ist zu prüfen, ob nicht ein externer Zwischenwandler benötigt wird.

### 2.4 Einbindung Buchholzschutz

Der Buchholzschutz des Transformators wertet den Gasdruck des Transformatorbuchs aus und erfasst damit schnell und sensitiv interne Fehler des Transformators. Für die Einbindung sollten folgende Überlegungen beachtet werden:

- Auslösekommando des Buchholzschutzes sollte direkt und unabhängig vom Differentialschutz auf den Leistungsschalter wirken
- Auslösekommando des Buchholzschutzes sollte im Störfallprotokoll/Störschrieb des Differentialschutzes aufgezeichnet werden

Durch die Einkopplung des Auslösekommandos über Binäreingang des Differentialschutzes stehen aussagekräftige Daten für die Auswertung im Störfall zur Verfügung.



**Bild 4** Einbindung Buchholzschutz

### 3. Einstellungen

#### 3.1 Einstellhinweise für Differentialschutz

Der Differentialschutz als Hauptschutzfunktion des 7UT613 ist in wenigen Schritten parametriert und eingestellt:

- Schutzobjekt „Dreiphasentrafo“ parametrieren
- Zuordnung der Messstellen am Hauptschutzobjekt

Beispiel:

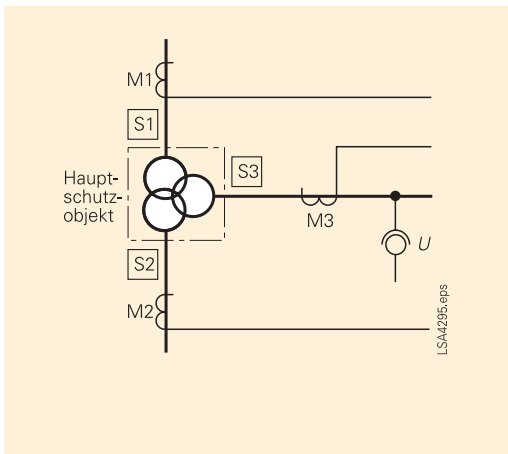


Bild 5 Topologie am Dreiwickler-Transformator

Seiten:

- S1 Oberspannungsseite des Hauptschutzobjektes (Transformator)
- S2 Unterspannungsseite des Hauptschutzobjektes (Transformator)
- S3 Seite der Tertiärwicklung des Hauptschutzobjektes (Transformator)

Messstellen 3-phasig zugeordnet:

- M1 dem Hauptschutzobjekt zugeordnete Messstelle für Seite 1
- M2 dem Hauptschutzobjekt zugeordnete Messstelle für Seite 2
- M3 dem Hauptschutzobjekt zugeordnete Messstelle für Seite 3

Achten Sie bei der Definition der Seiten auf die Festlegungen, die Sie bei der Topologie (Bild 5) des Hauptschutzobjektes getroffen haben. Die Seite 1 ist stets die Bezugswicklung, hat also die Stromphasenlage  $0^\circ$  und keine Schaltgruppenkennziffer. Üblicherweise ist dies die Oberspannungswicklung des Transformators. Die Objektdaten betreffen Angaben für jede der Seiten des Schutzobjektes, wie sie bei der Festlegung der Topologie definiert worden sind.

Das Gerät benötigt folgende Angaben für die Primärwicklung (Seite S1):

- Die primäre Nennspannung  $U_N$  in kV (verkettet)
- Die Nennscheinleistung
- Die Behandlung des Sternpunktes
- Die Schaltgruppe des Transformators

Bei Transformatoren sind im Allgemeinen bei durchfließendem Strom die auf der Sekundärseite der Stromwandler gemessenen Ströme nicht gleich, sondern werden von der Übersetzung und der Schaltgruppe des zu schützenden Transformators sowie den Nennströmen der Stromwandler bestimmt. Um die Ströme vergleichbar zu machen, müssen sie daher erst angepasst werden. Diese Anpassung geschieht bei 7UT613 rechnerisch. Externe Anpassungsmittel sind daher normalerweise überflüssig. Die digitalisierten Ströme werden jeweils auf die Transformator-Nennströme umgerechnet. Hierzu wurden dem Schutzgerät die Transformator-Nenndaten, also Nennscheinleistung, Nennspannungen, und die primären Nennströme der Stromwandler eingegeben.

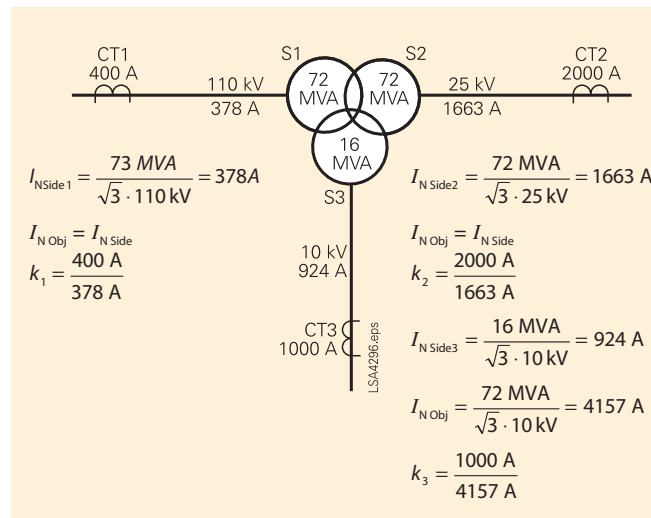


Bild 6 Beispiel für die Betragsanpassung

Bild 6 zeigt ein Beispiel für die Betragsanpassung. Aus der Nennscheinleistung des Transformators (72 MVA) und den Nennspannungen der Wicklungen (110 kV und 25 kV) errechnen sich die primären Nennströme der beiden Seiten S1 (378 A) und S2 (1663 A). Da die Stromwandler-Nennströme von diesen Seiten-Nennströmen abweichen, werden die sekundären Ströme mit den Faktoren  $k_1$  und  $k_2$  multipliziert.

Die dritte Wicklung (S3) dagegen ist nur für 16 MVA dimensioniert (z.B. als Eigenbedarfswicklung). Der Nennstrom dieser Wicklung (= Seite des Schutzobjektes) beträgt daher 924 A. Für den Differentialschutz muss jedoch mit vergleichbaren Strömen gerechnet werden. Deshalb muss für die dritte Wicklung ebenfalls die Nennleistung des Schutzobjektes von 72 MVA zu Grunde gelegt werden. Diese ergibt einen Nennstrom (hier Strom unter Nennbedingungen des Schutzobjektes, d.h. bei 72 MVA) von 4157 A. Dies ist die Bezugsgröße für die Ströme der dritten Wicklung. Die Ströme werden also mit dem Faktor k3 multipliziert. Diese Betragsanpassung nimmt das Gerät auf Basis der eingestellten Nennwerte selbsttätig vor. Zusammen mit der ebenfalls einzugebenden Schaltgruppe ist es in der Lage, nach festgelegten Rechenregeln den Stromvergleich durchzuführen. Dies wird an folgendem Beispiel für die Schaltgruppe Y(N)d5 mit Sternpunktterdung verdeutlicht:

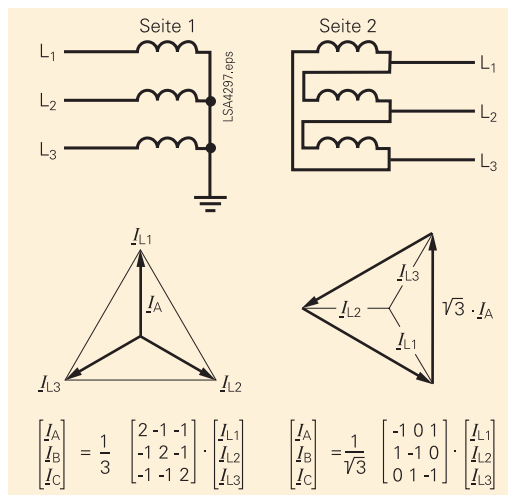


Bild 7 Zeigerdiagramme bei symmetrischen Strömen

Bild 7 zeigt die Wicklungen und darunter die Zeigerdiagramme symmetrisch durchfließender Ströme. Die Matrixgleichung lautet in allgemeiner Form:

$$(I_m) = k \cdot (k) \cdot (I_n)$$

Auf der rechten (Stern-)Seite sind die Leiterströme gleich den Wicklungsströmen (die Betragsanpassung ist im Bild nicht berücksichtigt).

Da innerhalb des Schutzbereiches kein Punkt geerdet ist, kann im Schutzbereich bei äußerem Fehler kein nennswertiger Nullstrom auftreten, auch wenn der Sternpunkt des Netzes an einer anderen Stelle geerdet ist. Bei einem Erdfehler innerhalb des Schutzbereiches ist dagegen ein Nullstrom an der entsprechenden Messstelle möglich, wenn das Netz an einer anderen Stelle geerdet ist oder ein zweiter Erdschluss im Netz vorliegt (Doppelerdschluss im nicht geerdeten Netz). Da also Null-

ströme nur bei inneren Fehlern auftreten können, sind sie für die Stabilität des Differentialschutzes ohne Einfluss. Beim inneren Fehler gehen dagegen die Nullströme (weil von außen kommend) praktisch voll in die Empfindlichkeit ein. Eine besonders hohe Empfindlichkeit bei Erdfehlern im Schutzbereich lässt sich mit dem Überstromzeitenschutz für Nullstrom und/oder dem einphasigen Überstromzeitenschutz der auch als Hochimpedanz-Differentialschutz eingesetzt werden kann, erreichen. Die Differentialschutzfunktion muss per Parametrierung aktiv geschaltet werden. Der Differentialschutz 7UT613 ist bei Lieferung inaktiv geschaltet. Der Grund liegt darin, dass der Schutz nicht betrieben werden darf, ohne dass zumindest die Schaltgruppen und Anpassungswerte zuvor richtig eingestellt wurden. Ohne diese Einstellungen kann es zu unvermuteten Reaktionen des Gerätes kommen.

Die Einstellung der Kennlinie des Differentialschutzes basiert auf folgenden Überlegungen:

- Als Ansprechwert für den Differentialstrom kann die Voreinstellung von  $0,2 \times I_N$  bezogen auf den Nennstrom des Trafos in der Regel übernommen werden.
- Der Fußpunkt 1 berücksichtigt stromproportionale Falschströme welche durch Übersetzungsfehler der Wandler verursacht werden können. Die Steigung dieses Kennlinienabschnittes wird auf 25 % eingestellt.
- Die Zusatzstabilisierung erhöht die Stabilität des Differentialschutzes im Bereich sehr hoher durchfließender Kurzschlussströme bei außenliegenden Fehlern und basiert auf dem Einstellwert EXF-Stab (Adresse 1256) und hat die Steigung 1 (Adresse 1241).
- Der Fußpunkt 2 führt zu einer höheren Stabilisierung im Bereich hoher Ströme, bei denen Stromwandlersättigung auftreten kann. Die Steigung dieses Kennlinienabschnittes wird auf 50 % eingestellt.

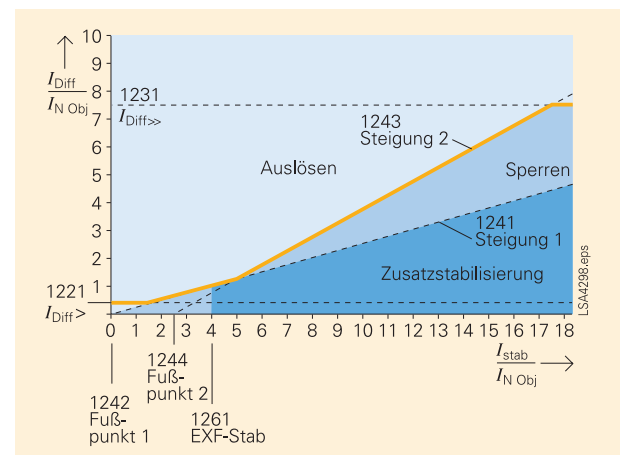


Bild 8 Auslösekennlinie des Differentialschutzes

### 3.1.1 Hinweise zur Zusatzstabilisierung

Im Bereich sehr hoher durchfließender Ströme bei äußerem Kurzschluss wird eine dynamische Zusatzstabilisierung wirksam. Beachten Sie, dass der Stabilisierungsstrom die arithmetische Summe der in das Schutzobjekt einfließenden Ströme ist, also doppelt so hoch wie der durchfließende Strom selbst. Die Zusatzstabilisierung wirkt nicht auf die  $I_{>>}$  Stufe.

Die maximale Dauer der Zusatzstabilisierung nach Erkennen eines externen Fehlers stellen Sie in Vielfachen von einer Periode ein. Der empfohlene Einstellwert liegt bei 15 Perioden (Voreinstellung). Die Zusatzstabilisierung wird automatisch auch vor Ablauf der eingestellten Dauer aufgehoben, sobald erkannt wird, dass sich der Arbeitspunkt  $I_{\text{Diff}}/I_{\text{Stab}}$  stationär (d.h. über mindestens eine Periode) innerhalb des Auslösegebietes nahe der Fehlerkennlinie befindet. Die Zusatzstabilisierung arbeitet für jede Phase getrennt, kann jedoch aufgrund der vorliegenden Schaltgruppe auf die Blockierung aller Phasen ausgedehnt werden („Crossblock-Funktion“). Der empfohlene Einstellwert für die „Crossblock-Funktion“ liegt bei 15 Perioden (Voreinstellung).

### 3.1.2 Hinweise zur Einstellung der Inrush-Blockierung

Beim Einschalten des Trafos entsteht ein Einschalttrush, welcher durch einen hohen Anteil 2. Harmonischer gekennzeichnet ist, und zu einer Fehlanregung des Differentialsschutzes führen kann. Die Voreinstellung der Einschaltstabilisierung mit 2. Harmonischer von 15 % kann unverändert übernommen werden. Um im Ausnahmefall bei besonders ungünstigen Einschaltbedingungen, bedingt durch die Bauart des Transformators stärker stabilisieren zu können, kann ein kleinerer Wert eingestellt werden.

Die Einschaltstabilisierung kann mittels der „Crossblock“-Funktion erweitert werden. Das bedeutet, dass bei Überschreiten des Oberschwingungsanteils in nur einer Phase alle drei Phasen der  $I_{\text{Diff}}>>$  Stufe blockiert werden. Ein Einstellwert von 3 Perioden, die für die Zeit der gegenseitige Blockierung nach Überschreiten der Differentialstromschwelle wirksam ist, wird empfohlen (Voreinstellung).

### 3.1.2 Hinweise zur Einstellung der Übererregungs-Blockierung

Stationäre Übererregung bei Transformatoren ist durch ungeradzahlige Oberschwingungen gekennzeichnet. Hier eignet sich die dritte oder fünfte Harmonische zur Stabilisierung. Da bei Transformatoren häufig die dritte im Trafo eliminiert wird (z.B. in einer Dreieckswicklung), wird meist die fünfte Harmonische verwendet. Der Anteil an 5. Harmonischen, der zum Sperren des Differentialsschutzes führt, wird mit 30 % (Voreinstellung) eingestellt. Die Einstellung der Cross-Block-Funktion ist hier in der Regel nicht erforderlich.

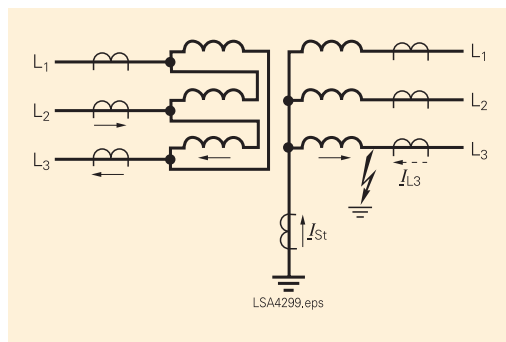
### 3.2 Erdfehlerdifferentialschutz

Der Erdfehlerdifferentialschutz erfasst Erdkurzschlüsse in Transformatoren, bei denen der Sternpunkt geerdet ist, selektiv und mit hoher Empfindlichkeit. Voraussetzung ist, dass ein Stromwandler in der Sternpunktzuführung, also zwischen Sternpunkt und Erder, eingesetzt ist. Dieser Sternpunktstromwandler und die Leiterstromwandler grenzen den Schutzbereich ab.

Im Normalbetrieb fließt in der Sternpunktzuführung kein Strom  $I_{\text{St}}$ . Auch die Summe der Leiterströme

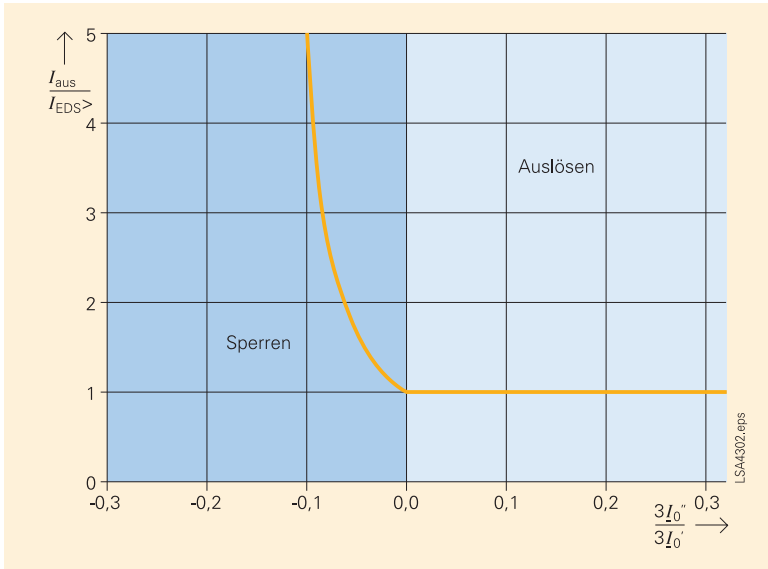
$$3I_0 = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} \text{ ist annähernd null.}$$

Bei einem Erdkurzschluss im Schutzbereich (Bild 9) fließt auf jeden Fall ein Sternpunktstrom  $I_{\text{St}}$ ; je nach den Erdungsverhältnissen des Netzes kann auch über die Leiterstromwandler ein Erdstrom auf die Fehlerstelle speisen (gestrichelter Pfeil), der jedoch mehr oder weniger in Phase mit dem Sternpunktstrom ist. Dabei ist die Stromrichtung in das Schutzobjekt als positiv definiert.



**Bild 9** Stromverteilung bei einem Erdkurzschluss innerhalb des Trafos

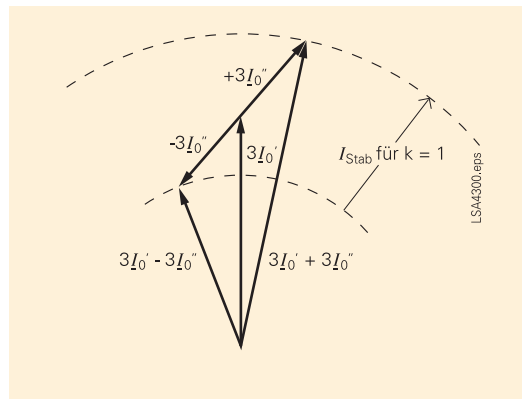
Bei einem äußeren Erdkurzschluss fließt auch ein Nullstrom über die Leiterstromwandler. Dieser hat primärseitig die gleiche Größe wie der Sternpunktstrom und ist in Gegenphase mit diesem. Zur Stabilisierung wird daher sowohl die Größe der Ströme als auch deren Phasenlage zueinander ausgewertet. Für den Erddifferentialschutz ergibt sich folgende Auslösekennlinie:



**Bild 10**  
Auslösekennlinie  
Erddifferentialschutz

Bei obigen Beispielen wurde angenommen, dass bei äußerem Erdkurzschluss  $3I_0''$  und  $3I_0'$  in Gegenphase sind, was für die Primärgrößen auch stimmt. Durch Wandler sättigung kann jedoch eine Phasenverschiebung zwischen dem Sternpunktstrom und der Summe der Leiterströme vorge-tauscht werden, die die Stabilisierungsgröße schwächt. Bei  $\varphi(3I_0''; 3I_0') = 90^\circ$  ist die Stabilisierungsgröße Null. Dies entspricht der klassischen Richtungsbestimmung mit der Methode der Summen- und Differenzbeträge.

Das folgende Zeigerdiagramm zeigt die Stabilisierungsgröße beim äußeren Fehler:



**Bild 11**  
Zeigerdiagramm  
Stabilisierungsgröße bei  
einem äußeren Fehler

Die Erdfehlerdifferentialschutzfunktion muss per Parametrierung aktiv geschaltet werden. Der Erddifferentialschutz 7UT613 ist bei Lieferung inaktiv geschaltet. Der Grund liegt darin, dass der Schutz nicht betrieben werden darf, ohne dass zumindest die Zuordnung und Polarität der Stromwandler zuvor richtig eingestellt wurden. Ohne diese Einstellungen kann es zu unvorhergesehenen Reaktionen des Gerätes kommen.

Für die Empfindlichkeit des Schutzes ist die Einstellung des Wertes  $I_{EDS >}$  maßgebend. Dies ist der Erdkurzschlussstrom, der über die Sternpunkt-zuführung des Transformators einfließt. Ein evtl. vom Netz einfließender weiterer Erdstrom geht nicht in die Ansprechempfindlichkeit ein. Der Stromwert bezieht sich auf den Betriebs-nennstrom der zu schützenden Seite des Trafos. Der voreingestellte Ansprechwert von  $0,15 I_{InS}$  ist normalerweise angemessen.

### 3.3 Reserveschutzfunktionen

#### 3.3.1 Überstromzeitschutz

Der Überstromzeitschutz (UMZ) des 7UT613 dient als Reserveschutz für den Kurzschluss-schutz der nachgeschalteten Netzteile, wenn Fehler dort nicht rechtzeitig abgeschaltet werden, so dass es zu einer Gefährdung des Schutzobjektes kommen kann.

Der Überstromzeitschutz kann einer der drei Spannungsseiten des Trafos zugeordnet werden. Dabei ist auch auf die richtige Zuordnung zwischen den Messeingängen des Gerätes und den Messstellen (Stromwandlersätze) der Anlage zu achten. Die Stufe  $I >>$  ergibt zusammen mit der Stufe  $I >$  oder mit der Stufe  $I_p$  eine zweistufige Kennlinie. Wenn der Überstromzeitschutz auf der Speiseseite des Transformators wirkt, wird die Stufe  $I >>$  so eingestellt, dass sie für Kurz-schlüsse bis in das Schutzobjekt hinein anspricht, bei einem durchfließenden Kurzschlussstrom aber nicht.

**Berechnungsbeispiel:**

Transformator Y(N)d5

72 MVA

25 kV/10 kV

uk = 12 %

Stromwandler 2000 A/1 A auf der 25-kV-Seite

Der Überstromzeitschutz wirkt auf die 25-kV-Seite (= Speiseseite).

Der maximal mögliche dreiphasige Kurzschlussstrom auf der 10-kV-Seite bei starrer Spannung auf der 25-kV-Seite würde betragen:

$$I_{3\text{polmax}} = \frac{1}{U_{k\text{Trafo}}} \cdot I_{N\text{Trafo}} = \frac{1}{U_{k\text{Trafo}}} \cdot \frac{S_{N\text{Trafo}}}{\sqrt{3} \cdot U_N} =$$

$$\frac{1}{0,12} \cdot \frac{72\text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 25\text{ kV}} = 13856,4\text{ A}$$

Mit einem Sicherheitsfaktor von 20 % ergibt sich der primäre Einstellwert:

$$I_{>>} = 1,2 \times 13856,4\text{ A} = 16628\text{ A}$$

Bei Parametrierung in Sekundärgrößen werden die Ströme in Ampere auf die Sekundärseite der Stromwandler umgerechnet.

Sekundärer Einstellwert:

$$I_{>>} = \frac{16628\text{ A}}{2000\text{ A}} \cdot 1\text{ A} = 8,314\text{ A}$$

d.h. bei Kurzschlussströmen über 16628 A (primär) oder 8,314 A (sekundär) liegt mit Sicherheit ein Kurzschluss im Trafobereich vor. Dieser kann vom Überstromzeitschutz sofort abgeschaltet werden. Erhöhte Einschaltstromstöße (Rush) werden, soweit ihre Grundschwingung den Einstellwert übersteigt, durch die Verzögerungszeiten der  $I_{>>}$  stufe unschädlich gemacht. Die Einschaltstabilisierung wirkt nicht auf die Stufen  $I_{>>}$ .

Die Stufe  $I_{>}$  stellt den Reserveschutz für die unterlagerte Sammelschiene dar. Sie wird größer als die Summe der Abgangsnennströme eingestellt. Anregung durch Überlast muss ausgeschlossen sein, da das Gerät in dieser Betriebsart mit entsprechend kurzen Kommandozeiten als Kurzschlusschutz, nicht als Überlastschutz arbeitet. Dabei ist dieser Wert auf die Oberspannungsseite des Transformators umzurechnen. Die Verzögerungszeit richtet sich nach der Staffelzeit in den Abgangsleitungen. Sie ist 300 ms größer als die größte Staffelzeit auf der Unterspannungsseite einzustellen. Ferner ist in diesen Fall die Inrush-Stabilisierung für die  $I_{>}$  Stufe wirksam zu parametrieren, damit ein Fehlansprechen der  $I_{>}$  Stufe durch den Einschalttrush des Trafos verhindert wird.

**3.3.2 Schiefastschutz**

Beim Transformator kann der Schiefastschutz als empfindlicher Schutz auf der Speiseseite bei stromschwachen 1- und 2-poligen Fehlern eingesetzt werden. Dabei lassen sich auch unterspannungsseitige, einpolige Fehler entdecken, welche auf der Oberspannungsseite kein Nullsystem im Strom hervorrufen (z.B. bei Schaltgruppe DYN).

Durch den Schiefastschutz der Oberspannungswicklung (im Beispiel 110 kV) lassen sich unterspannungsseitig (im Beispiel 25 kV) die folgenden Fehlerströme erfassen:

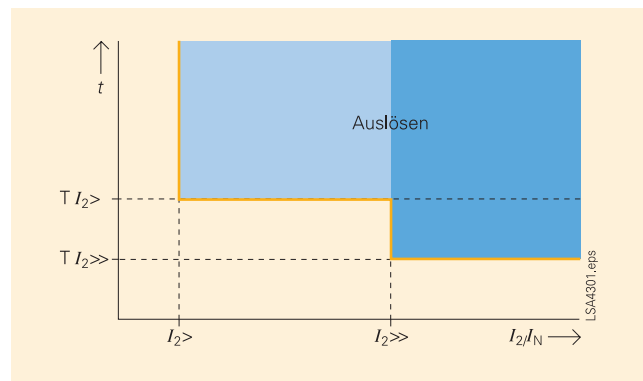
Stellt man für die Oberspannungsseite  $I_2 > = 0,1\text{ A}$  ein, so lässt sich damit unterspannungsseitig ein Fehlerstrom von

$$I_{F1} = 3 \cdot \frac{110\text{ kV}}{25\text{ kV}} \cdot \frac{400\text{ A}}{1\text{ A}} \cdot 0,1\text{ A} = 528\text{ A}$$

bei einpoligen,

$$I_{F2} = \sqrt{3} \cdot \frac{100\text{ kV}}{25\text{ kV}} \cdot \frac{400\text{ A}}{1\text{ A}} \cdot 0,1\text{ A} = 305\text{ A}$$

beim zweipoligen Fehler entdecken. Das entspricht 26 % bzw. 15 % des Transformatornennstromes. Da es sich hier um einen unterspannungsseitigen Kurzschluss handelt, muss die Verzögerungszeit mit den Zeiten von unterlagerten Schutzgeräten koordiniert werden. Die unabhängige Charakteristik ist zweistufig.



**Bild 12** Auslösekennlinie Schiefastschutz

Stufe  $I_2 >$  kann zur Warnmeldung eingesetzt werden. Nach Ablauf der Verzögerungszeit der Stufe  $I_2 >>$  kann ein Auslösebefehl abgesetzt werden.

### 3.3.3 Überlastschutz

Der thermische Überlastschutz verhindert eine thermische Überbeanspruchung des zu schützenden Transformators. Beim 7UT6 sind zwei Methoden der Überlasterfassung möglich:

- Überlastschutz mit thermischem Abbild nach IEC 60255–8,
- Heißpunktberechnung mit Ermittlung der relativen Alterungsrate nach IEC 60354.

Von diesen beiden Methoden kann eine ausgewählt werden. Die erste zeichnet sich durch einfache Handhabung und eine geringe Zahl von Einstellwerten aus; die zweite erfordert einige Kenntnisse über das Schutzobjekt und dessen Umgebung und Kühlung und benötigt die Kühlmitteltemperatur über eine angeschlossene Thermobox. Die zweite Möglichkeit wird eingesetzt, wenn der Transformator an seiner Leistungsgrenze betrieben wird, und über die Heißpunktberechnung die relative Alterungsrate überwacht werden soll. Für diese Anwendung wird der Überlastschutz mit thermischem Abbild ausgewählt, der auf die Oberspannungsseite wirken soll. Da die Ursache der Überlastung normalerweise außerhalb des Schutzobjektes liegt, ist der Überlaststrom ein durchfließender Strom. Das Gerät errechnet die Übertemperatur gemäß einem thermischen Einkörpermodell nach der thermischen Differentialgleichung

$$\frac{d\Theta}{dt} + \frac{1}{\tau_{th}} \cdot \Theta = \frac{1}{\tau_{th}} \cdot \left( \frac{I}{I_{N\text{Obj}}} \right)^2$$

Die Schutzfunktion stellt somit ein thermisches Abbild des zu schützenden Objektes (Überlastschutz mit Gedächtnisfunktion) dar. Es wird sowohl die Vorgeschichte einer Überlast als auch die Wärmeabgabe an die Umgebung berücksichtigt. Das Ansprechen des Überlastschutzes wird als Meldung ausgegeben.

#### Hinweise zur Einstellung:

Bei Transformatoren ist der Nennstrom der zu schützenden Wicklung maßgebend, den das Gerät aus der eingestellten Nennscheinleistung und Nennspannung berechnet. Als Basisstrom für die Überlasterfassung wird der Nennstrom der dem Überlastschutz zugeordneten Seite des Hauptschutzobjektes herangezogen. Der Einstellfaktor  $k$  ist durch das Verhältnis des thermisch dauernd zulässigen Stromes zu diesem Nennstrom bestimmt:

$$k = \frac{I_{\max}}{I_{N\text{Obj}}}$$

Der zulässige Dauerstrom ist gleichzeitig der Strom, bei dem die e-Funktion der Übertempera-

tur ihre Asymptote hat. Die Voreinstellung von 1,15 kann für die Oberspannungswicklung übernommen werden.

Zeitkonstante  $T$  bei thermischem Abbild:

Die Erwärmungszeitkonstante  $T_{th}$  für das thermische Abbild ist vom Trafo-Hersteller anzugeben. Achten Sie darauf, dass die Zeitkonstante in Minuten einzustellen ist. Häufig gibt es anders lautende Angaben, aus denen sich die Zeitkonstante ermitteln lässt:

Beispiel:

$t_6$  Zeit; dies ist die Zeit in Sekunden, für die der 6-fache Nennstrom der Trafowicklung fließen darf.

$$\frac{\tau_{th}}{\text{min}} = 0,6 \cdot t_6$$

Hat die Trafowicklung eine  $t_6$  Zeit von 12 s

$$\frac{\tau_{th}}{\text{min}} = 0,6 \cdot 12 \text{ s} = 7,2$$

so ist die Zeitkonstante  $t$  auf 7,2 min einzustellen.

### 3.3.4 Übererregungsschutz

Der Übererregungsschutz dient zur Erkennung erhöhter Induktion in Generatoren und Transformatoren, insbesondere in Kraftwerk-Blocktransformatoren. Eine Erhöhung der Induktion über den Nennwert führt rasch zu einer Sättigung des Eisenkerns und zu hohen Wirbelstromverlusten, die wiederum zu einer unzulässigen Erwärmung des Eisens führen.

Die Anwendung des Übererregungsschutzes setzt voraus, dass Messspannungen an das Gerät angeschlossen sind. Der Übererregungsschutz misst den Quotienten Spannung/Frequenz  $U/f$ , der bei vorgegebenen Abmessungen des Eisenkerns proportional der Induktion  $B$  ist. Setzt man den Quotienten  $U/f$  in Relation zu Spannung und Frequenz unter Nennbedingungen des Schutzobjektes  $U_{N\text{Obj}}/f_N$ , erhält man ein direktes Maß für die Induktion bezogen auf die Induktion unter Nennbedingungen  $B/B_{N\text{Obj}}$ . Alle konstanten Größen kürzen sich damit weg:

$$\frac{B}{B_{N\text{Obj}}} = \frac{U}{U_{N\text{Obj}}} \cdot \frac{f_N}{f} = \frac{U/f}{U_{N\text{Obj}}/f_N}$$

Durch diese relative Beziehung sind keinerlei Umrechnungen nötig. Sie können alle Werte direkt auf die zulässige Induktion bezogen angeben. Die Nenngrößen des Schutzobjektes haben Sie dem Gerät 7UT613 bereits bei den Objekt- und Wandlerdaten bei der Einstellung des Differentialschutzes mitgeteilt.





■ 5. Anschlussschaltplan

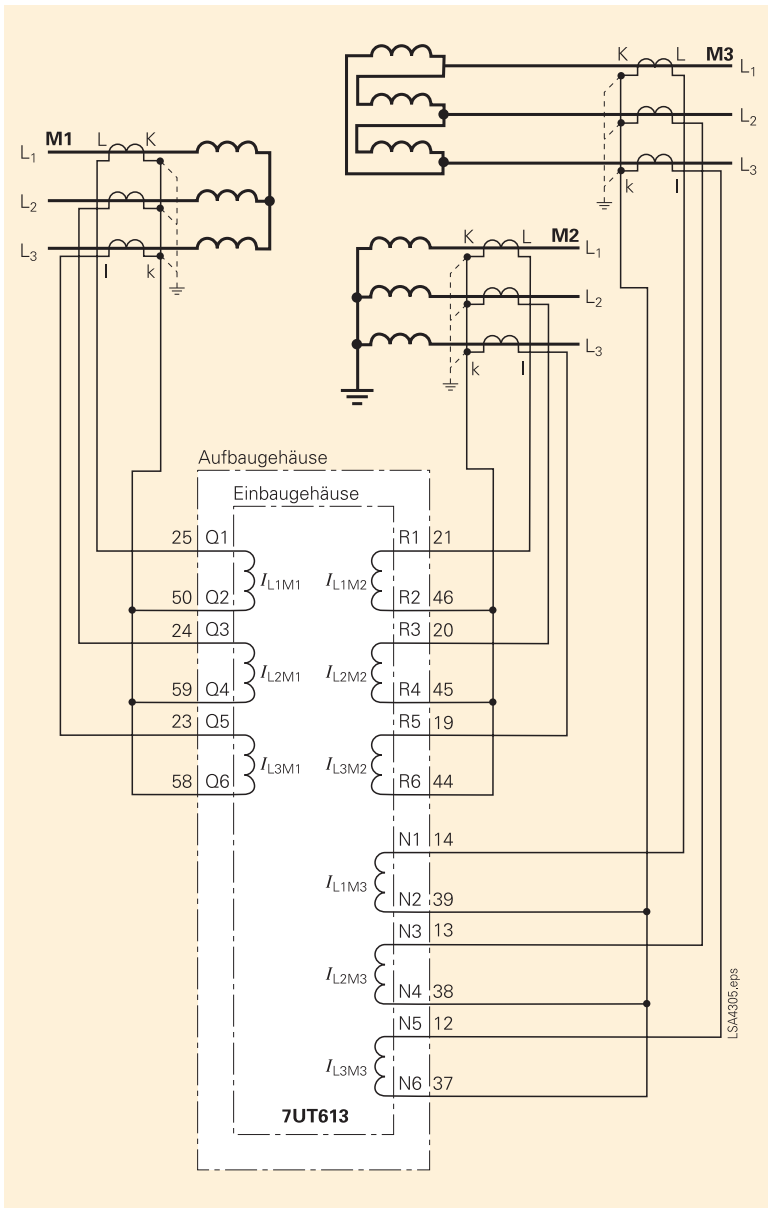


Bild 14 Anschlussschaltplan für 7UT613

■ 6. Zusammenfassung

Optimaler Schutz des Transformators mit SIPROTEC-Schutzgeräten bedeutet Investitionsschutz des wertvollen Betriebsmittels und liefert somit einen Beitrag zur höchsten Versorgungssicherheit.

Aus schutztechnischer Sicht bietet das SIPROTEC-Gerät 7UT613 einen umfassenden Kurzschlusschutz für den Haupt- und Reserve-schutz von Transformatoren in einem Gerät. Umfangreiche Messfunktionen erlauben einen reibungslosen Anschluss des Gerätes ohne Zusatzgeräte und ermöglichen die Überwachung des Transformators im Betrieb hinsichtlich seiner elektrischen und thermischen Kennwerte. Die Voreinstellung des Gerätes sind so gewählt, dass der Anwender nur die bekannten Daten des Transformators und der Primärwandler zu parametrieren hat. Viele Werte der Voreinstellung können problemlos übernommen werden und erleichtern damit den Aufwand für Parametrierung und Einstellung.