

## Schutz eines Spartrafos

### 1. Einleitung

Transformatoren sind wertvolle Betriebsmittel die entscheidend zur Versorgungssicherheit des Netzes beitragen. Die optimale Auslegung des Transformatorschutzes stellt sicher, dass eventuell auftretende Fehler schnell geklärt werden, und damit Folgeschäden minimiert werden. Eine besondere Bauform der Transformatoren ist der sogenannte Spartransformator, bei dem im Gegensatz zum Volltransformator nicht 2 unabhängige Wicklungen die Spannungs- und Stromtransformation durchführen. Vielmehr wird ein Teil der Wicklung von beiden Seiten genutzt was zu einer deutlich kompakteren Bauform führt.

Die Bandbreite der Spartransformatoren reicht von kleinen Verteilnetztransformatoren (ab 1000 kVA) bis zu Großtransformatoren von mehreren hundert MVA. Ihr Einsatz ist umso interessanter, je weniger das Verhältnis Oberspannungs- zu Unterspannungsseite von 1 abweicht, d.h. je weniger Energie über die magnetische Kopplung übertragen wird, was zu einer Einsparung an Eisenmaterial führt.

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

### 2. Schutzkonzept

Der Differentialschutz bietet einen schnellen, selektiven Kurzschlusschutz, alleine oder in Ergänzung zum Buchholzschutz. Bei größeren Einheiten ab etwa 5 MVA gehört er zur Standardausrüstung. Neben der Hauptschutzfunktion, welche einen Kurzschluss innerhalb des Schutzobjektes zuverlässig abschaltet, enthält ein vollwertiges Schutzkonzept eine Reihe weiterer ergänzender Funktionen, die sich um andere Probleme, wie zum Beispiel Überlast, Übererregung etc. kümmern. Alle hierzu notwendigen Funktionen sind bereits in den SIPROTEC 4-Geräten enthalten. Reserveschutzfunktionen ergänzen das Schutzkonzept auf sinnvolle Weise.

Ein Beispiel eines vollständigen Schutzkonzeptes eines Spartrafos zeigt das Bild 2.



Bild 1 SIPROTEC-Transformatorschutz

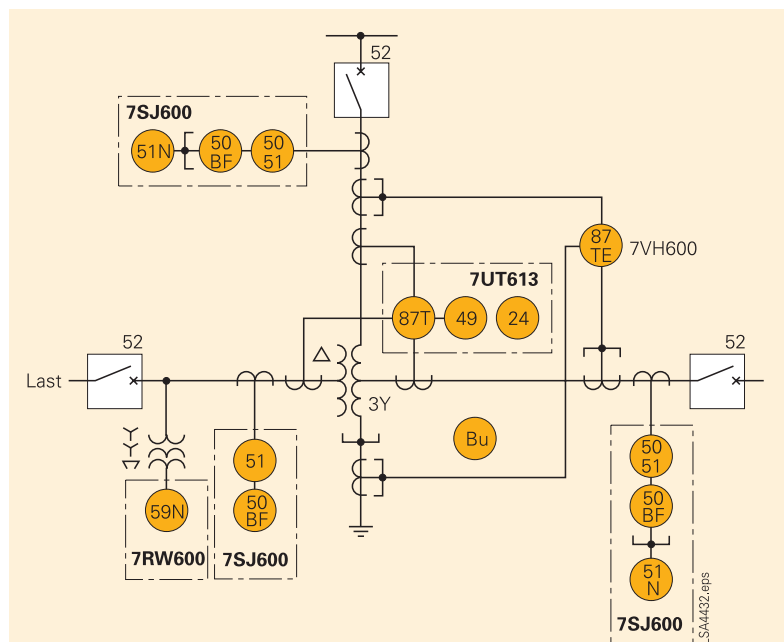


Bild 2 Schutz eines Spartransformators

Für dieses Beispiel ist ein Differentialschutz 87T in der Ausführung für 3 Wicklungen zu wählen (7UT613), damit die Dreiecksausgleichswicklung in den Schutzbereich eingeschlossen werden kann (verschiedene Alternativen der Anschaltungen werden in Kapitel 3 ausführlich erläutert). Fehlt diese, kann ein Spartrafo auch mit dem 7UT612 vollständig geschützt werden.

Der integrierte Überlastschutz 49 wird auf die Durchgangsleistung abgestimmt und schützt den Trafo vor Überhitzung und vorzeitiger Alterung. Der Übererregungsschutz 24 verhindert eine unzulässige Erwärmung des Eisens.

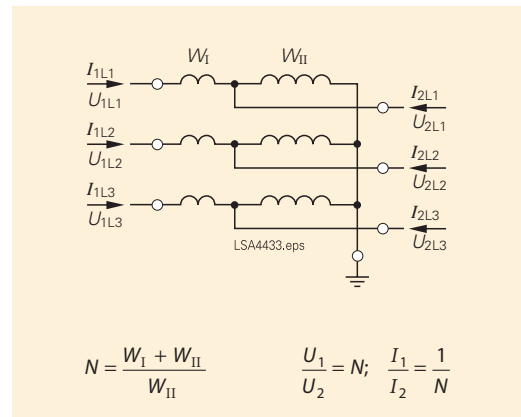
Zur Erhöhung der Erdfehlerempfindlichkeit wird im englischen Einflussgebiet oft ein zusätzlicher Hochimpedanz-Erdfehlerdifferentialschutz 87TE eingesetzt. Das einphasige Relais 7VH600 liegt an der Parallelschaltung der Wandler der Abgänge und des Wandlers im Sternpunkt. Die sieben Wandler (3 Seite 1, 3 Seite 2, 1 Sternpunkt) müssen allerdings zusätzlich vorgesehen werden und nach Klasse TPS (IEC 60044-6) ausgelegt sein. Ein Ansprechwert von 10 %  $I_n$  wird üblicherweise erreicht. Zusätzlich oder alternativ kann auch ein Überstromrelais  $I_{e>t}$  ANSI 50N in der Sternpunktverbindung vorgesehen werden. Dieses muss dann allerdings zeitlich mit den unterlageren Überstromrelais koordiniert werden.

Die Dreieckswicklung, die neben ihrer Ausgleichsfunktion oft auch für die Eigenversorgung verwendet wird, erhält einen eigenen Überstromzeitschutz 50, 50N für externe Phasenfehler. Das Spannungsrelais 7RW600 (59N) an der offenen Dreieckswicklung des Spannungswandlers erfasst die Verlagerungsspannung  $3U_0$  mit der ein Erdschluss in der Tertiärwicklung oder in dem angeschlossenen Verteilungsnetz angezeigt wird. Auf der Ober- und Unterspannungsseite wird ein Überstromzeitschutz 50, 50N angeordnet, jeweils mit Schnellauslösestufe  $I >>$  und zeitverzögerter Stufe  $I >$  gegen Phase- und Erdfehler. Wahlweise kann auch der integrierte Überstromzeitschutz im 7UT613 auf eine der beiden Seiten projektiert werden.

Für jeden Abgang ist der Schalterversagerschutz 50 BF im entsprechenden Schutzgerät zu aktivieren.

Die als Übersicht vorgestellten, einzelnen Elemente werden im folgenden Schritt für Schritt beschrieben.

### ■ 3. Aufbau eines Spartrafos



**Bild 3** Aufbau und Übersetzungsverhältnisse bei einem Zweiwicklungs-Spartrafo

Bei Spartrafos gibt es nur die Schaltgruppe Yyn0, d.h. es findet keine Phasendrehung der Ströme und Spannungen zwischen Primär- und Sekundärseite statt. Der gemeinsame Sternpunkt ist immer geerdet. Deswegen besteht immer eine galvanische Kopplung beider Seiten. Die Verteilung des Sternpunktstromes auf beide Seiten hängt von mehreren Faktoren, z.B. Wicklungsverteilung und Vorhandensein einer Tertiärwicklung ab.

### ■ 4. Realisierung mit SIPROTEC

#### 4.1 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 Hardware-redundanzgründen jeweils in einer getrennten Hardware (weiterem Relais) anzuordnen sind. So kann der im Differentialschutz 7UT612/613 enthaltene Überstromzeitschutz nur als Reserveschutz gegen externe Fehler im angeschlossenen Netz genutzt 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 ist neben dem Buchholzschutz als unabhängiger schneller Kurzschlusschutz vorgesehen.

Der Differentialschutz für einen Spartrafo kann abhängig von den zur Verfügung stehenden Stromwandlern auf 2 verschiedene Arten realisiert werden.

1. Differentialschutz über die gesamte Trafobank (zu verwendender Schutz 7UT612 (2 Wicklungen) / 7UT613 (3 Wicklungen)).

In diesem Fall werden wie im Bild 4 gezeigt, jeweils drei Phasenstromwandler für jede Seite verwendet. Der Sternpunktwandler hat hier für den Differentialschutz keinerlei Bewandtnis, kann jedoch für einen Reserveüberstromzeitschutz verwendet werden. Er kann je nach weiterer Verwendung durch andere Schutzfunktionen auf jede der beiden Seiten eingestellt werden.

2. Stromvergleich je Sparwicklung:

Verwendung von Phasenstromwandlern vor der Sternpunktzusammenführung (Erdstromwicklung). Im Bild 5 hingegen sieht man, dass auch die Zuleitungen zum Sternpunkt jeweils einen Phasensmesswandler haben. In diesem Fall kann der Spartrafo wie ein Dreieckobjekt behandelt werden.

Beide Anschlussarten unterscheiden sich grundsätzlich voneinander und werden getrennt nacheinander im Kapitel 5 behandelt.

#### 4.2 Erdfehlerdifferentialschutz

Der Erdfehlerdifferentialschutz kann beim Spartrafo nicht angewendet werden.

#### 4.3 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 7SJ600 auf der Oberspannungsseite 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.

Die Wicklungen S1 und S2 können mit dem integrierten Überlastschutz geschützt werden.

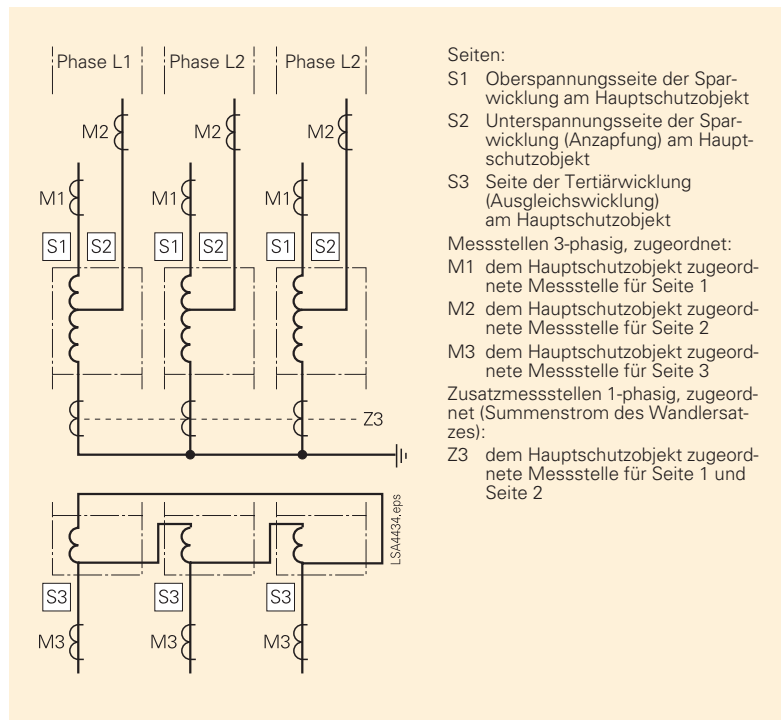


Bild 4 Topologie einer Transformatorbank, bestehend aus 3 einphasigen Spartransformatoren mit als Tertiärwicklung herausgeführter Ausgleichswicklung

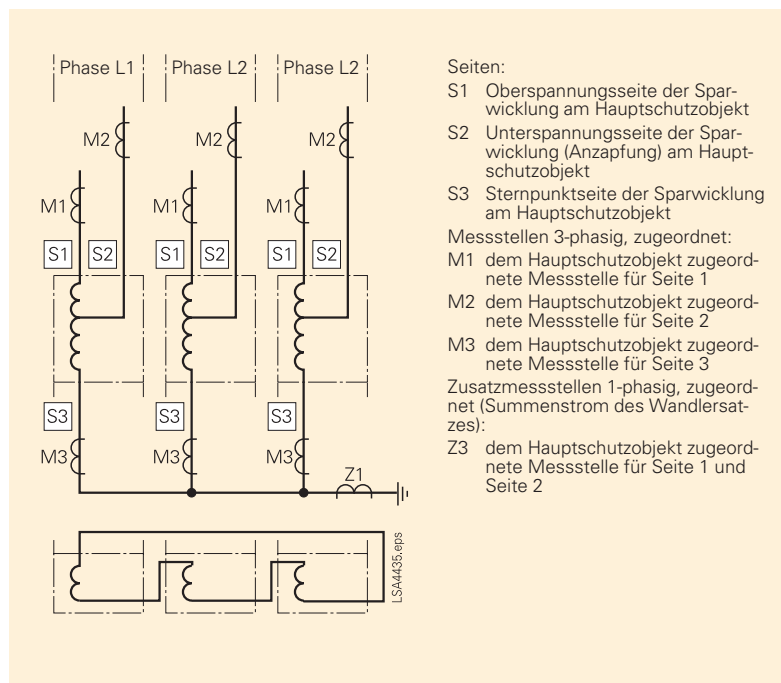


Bild 5 Topologie einer Transformatorbank, bestehend aus 3 einphasigen Spartransformatoren; Topologie-Definitionen für einen Stromvergleichsschutz pro Phase, d.h. vor der Sternpunktzusammenführung steht bei M3 eine phasenselektive Strommessung zur Verfügung

Die Dreieckwicklung, die oft nur für Eigenversorgung genutzt wird, erhält einen eigenen Überstromzeitschutz (51) sowie aufgrund der kleineren Nennleistung der Tertiärwicklung auch einen eigenen Überlastschutz. Beides kann z.B. mit dem 7SJ600 (Bild 2) realisiert werden.

#### 4.4 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.

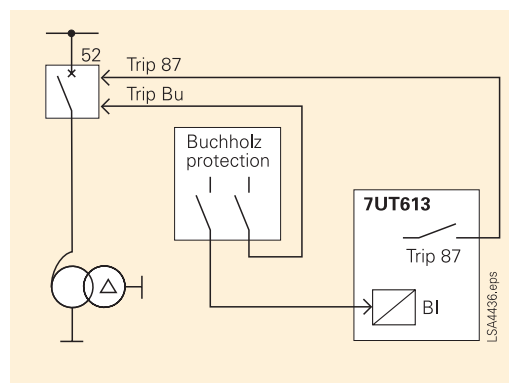


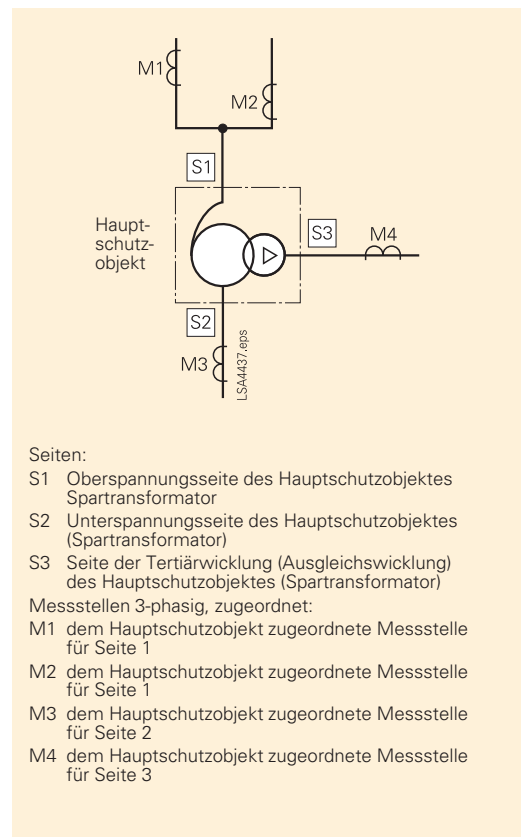
Bild 6 Einbindung in den Buchholzschutz

## 5. Einstellungen

### 5.1 Einstellhinweise für Differentialschutz über die gesamte Trafobank

Der Differentialschutz als Hauptschutzfunktion des 7UT612 / 613 ist in wenigen Schritten parametrierbar und eingestellt:

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



- Seiten:
- S1 Oberspannungsseite des Hauptschutzobjektes Spartransformator
  - S2 Unterspannungsseite des Hauptschutzobjektes (Spartransformator)
  - S3 Seite der Tertiärwicklung (Ausgleichswicklung) des Hauptschutzobjektes (Spartransformator)
- Messstellen 3-phasig, zugeordnet:
- M1 dem Hauptschutzobjekt zugeordnete Messstelle für Seite 1
  - M2 dem Hauptschutzobjekt zugeordnete Messstelle für Seite 1
  - M3 dem Hauptschutzobjekt zugeordnete Messstelle für Seite 2
  - M4 dem Hauptschutzobjekt zugeordnete Messstelle für Seite 3

Bild 7 Topologie eines Spartrafos mit als Tertiärwicklung herausgeführter Ausgleichwicklung

Die Topologie beim Spartrafo wird folgendermaßen festgelegt:

Seite 1 ist die erste der Sparwicklungen, sinnvollerweise wählt man hier die Oberspannungsseite. Seite 2 ist die zweite der Sparwicklungen, sinnvollerweise wählt man hier die Unterspannungsseite. Danach folgen eventuelle weitere Anzapfungen. Sollte eine Dreiecksausgleichswicklung vorliegen, so ist diese zuletzt zuzuordnen.

Das Gerät benötigt folgende Angaben über das Schutzobjekt:

- Die primäre Nennspannung  $U_N$  in kV (verkettet)
- Die sekundäre Nennspannung  $U_N$  in kV (verkettet)
- Die Nennscheinleistung, welche beim Spartrafo für beide Seiten gleich ist.

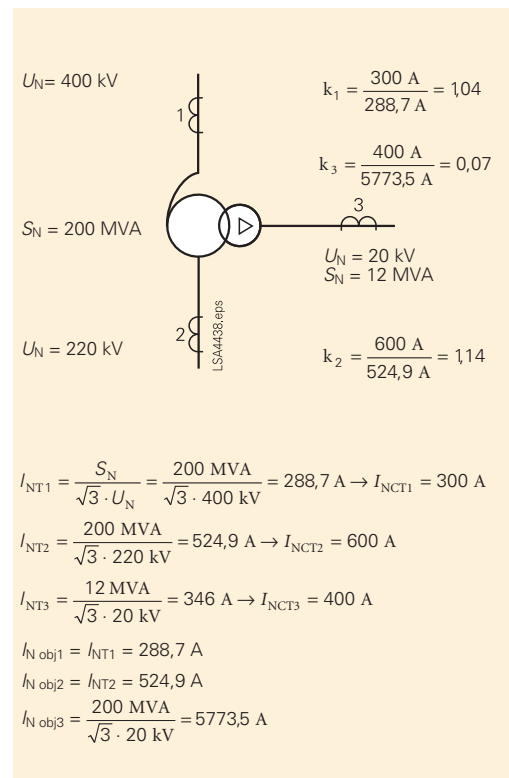
Mit der Einstellung „Spartrafo“ in der Konfiguration wird automatisch festgelegt, dass keine Schaltungsgruppierung vorgenommen (Phasewinkel  $0^\circ$  zwischen Ober- und Unterseite) sowie die Nullstromelimination auf beiden Seiten durchgeführt wird.

Bei Transformatoren sind im Allgemeinen bei durchfließendem Strom die auf der Sekundärseite der Stromwandler gemessenen Ströme nicht gleich, sondern werden von der Übersetzung 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 (häufige Ausnahme: Tertiärwicklung mit kleinerer Nennscheinleistung). Die digitalisierten Ströme werden jeweils auf die Transformator-Nennströme umgerechnet. Hierzu werden dem Schutzgerät die Transformator-Nennspannungen, also Nennscheinleistung, Nennspannungen, und die primären Nennströme der Stromwandler eingegeben.

Bild 8 zeigt ein Beispiel für die Betragsanpassung. Aus der Nennscheinleistung des Transformators (200 MVA) und den Nennspannungen der Wicklungen (400 kV und 220 kV) errechnen sich die primären Nennströme der beiden Seiten S1 (288,7 A) und S2 (525 A). Da die Stromwandler-Nennströme von diesen Trafo-Nennströmen abweichen, werden die sekundären Ströme mit den Faktoren  $k_1$  und  $k_2$  multipliziert. Die dritte Wicklung (S3) dagegen ist nur für 12 MVA dimensioniert (z.B. als Eigenbedarfwicklung). Der Nennstrom dieser Wicklung (= Seite des Schutzobjektes) beträgt daher 346 A. Für den Differentialschutz muss jedoch mit vergleichbaren Strömen entsprechend den Übersetzungsverhältnissen der einzelnen Seiten des Trafos gerechnet werden. Deshalb muss für die dritte Wicklung ebenfalls die Nennleistung des Schutzobjektes von 200 MVA zu Grunde gelegt werden. Diese ergibt einen rechnerischen Nennstrom (hier Strom unter Nennbedingungen des Schutzobjektes, d.h. bei 200 MVA) von 5773,5 A. Dies ist die Bezugsgröße für die Ströme der dritten Wicklung. Die Ströme werden also mit dem Faktor  $k_3$  multipliziert. Diese Betragsanpassung nimmt das Gerät auf Basis der eingestellten Nennwerte selbsttätig vor.

Schaut man in die technischen Daten des 7UT612/613 so ist ein zulässiges Verhältnis  $0,25 < k < 4$  für Phasenströme angegeben. D.h. im Falle der Wicklung 3, hat  $k_3$  ein unzulässig kleines Verhältnis. Hier ist ein Anpasswandler vorzusehen, um in den zulässigen Bereich zu kommen. Er sollte so dimensioniert sein, dass der Anpassfaktor knapp über dem minimalen Wert von 0,25 zu liegen kommt. Im vorliegenden Fall könnte man also nehmen:

$$n > 0,25 / (400 \text{ A} / 5773,5 \text{ A}) = 3,6, \text{ z.B. } n=4.$$



**Bild 8** Beispiel eines Spartrafos für die Betragsanpassung

Zusammen mit der Information Spartrafo ist das Schutzgerät nun in der Lage, einen Stromvergleich durchzuführen. Im folgenden Beispiel soll das Prinzip erläutert werden (siehe Bilder 9 und 10):



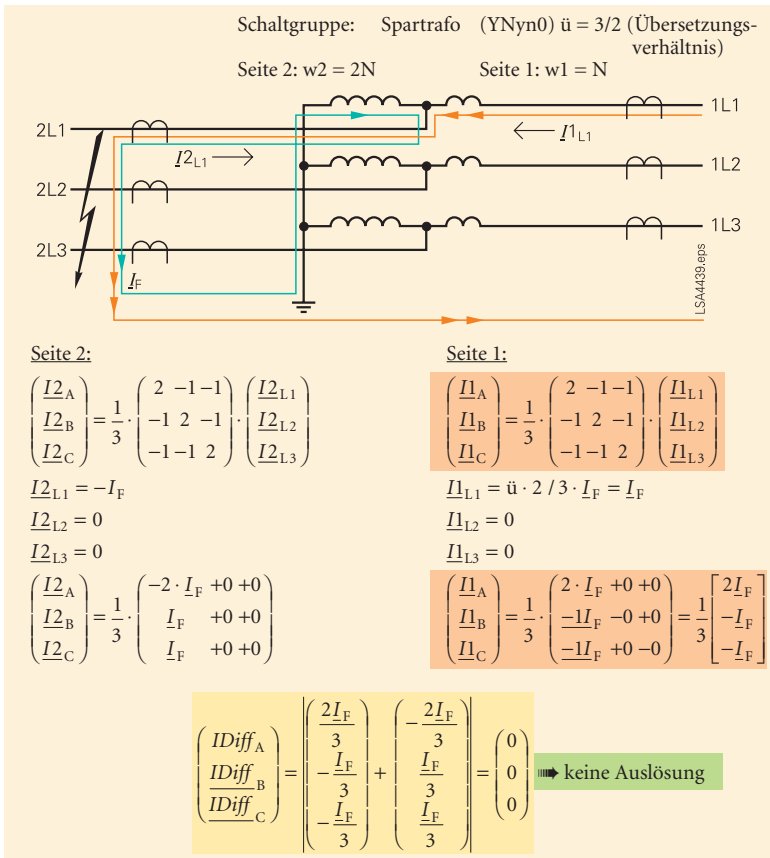


Bild 9 Berechnung des Differentialstromes beim Spartrafo für einen externen Fehler

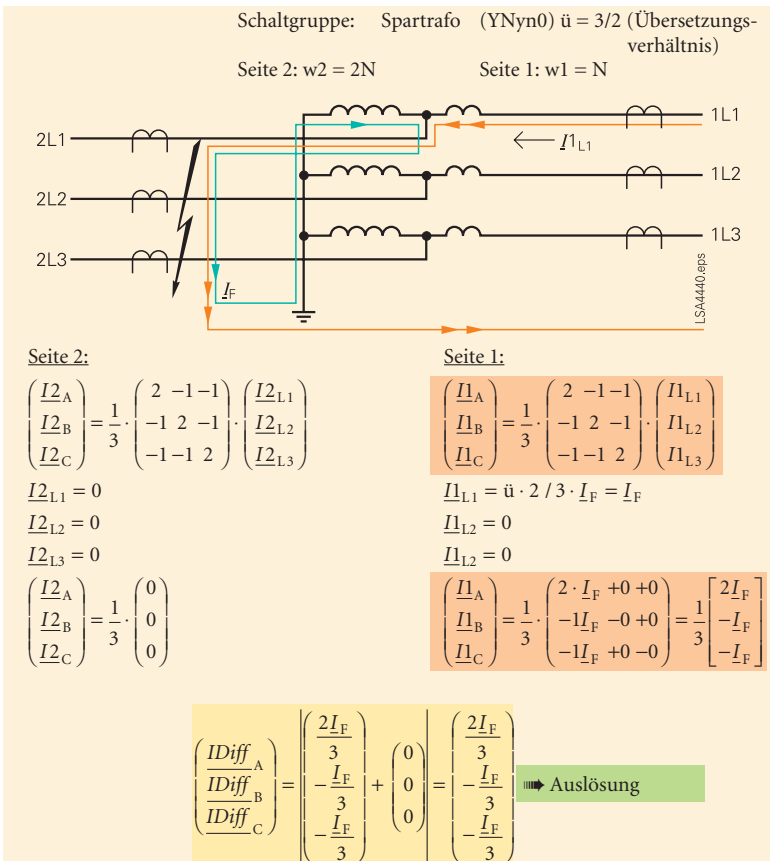


Bild 10 Berechnung des Differentialstromes bei einem internen Fehler

Von beiden Seiten wird auf eine „virtuelle“ Seite umgerechnet, auf deren Basis der Stromvergleich durchgeführt wird. Im Falle der Vektorgruppe 0 (wie sie beim Spartrafo immer vorliegt) geschieht dies durch eine Einheitsmatrix. Die verwendeten Matrizen ergeben sich aus der Einheitsmatrix durch die Subtraktion des Nullstromes von der Messung (entspricht 1/3 der Summe aller drei Phasenströme). Dies ist notwendig, da eine Aufteilung des Sternpunktstromes auf beide Seiten des Schutzobjektes nicht möglich ist.

### 5.2 Einstellhinweise für Differentialschutz bei Stromvergleich je Sparwicklung

Sind auf den Zuleitungen zum Sternpunkt je Phase Stromwandler vorhanden (Erdungswicklung), so kann ein Knotenschutz je Phase realisiert werden. Stromübersetzungsverhältnisse und deren Änderungen (Tap changes) wirken sich nicht aus, da hier die drei Eintrittsstellen des Stromes gemessen werden und die Endpunkte des Kirchhoffschen Knotens bilden.

Ein derartiger Stromvergleich ist für Erdfehler empfindlicher als der normale Differentialschutz (siehe Bild 11). Das ist deshalb interessant, weil diese Fehler bei Trafobänken die höchste Wahrscheinlichkeit besitzen. Eine evtl. Ausgleichswicklung oder Tertiärwicklung darf bei dieser Anwendung nicht in den Schutz mit einbezogen werden, auch wenn sie herausgeführt und mit Stromwandlern versehen sein sollte, da diese nicht zum geschützten (phasenselektiven) Knoten gehört.

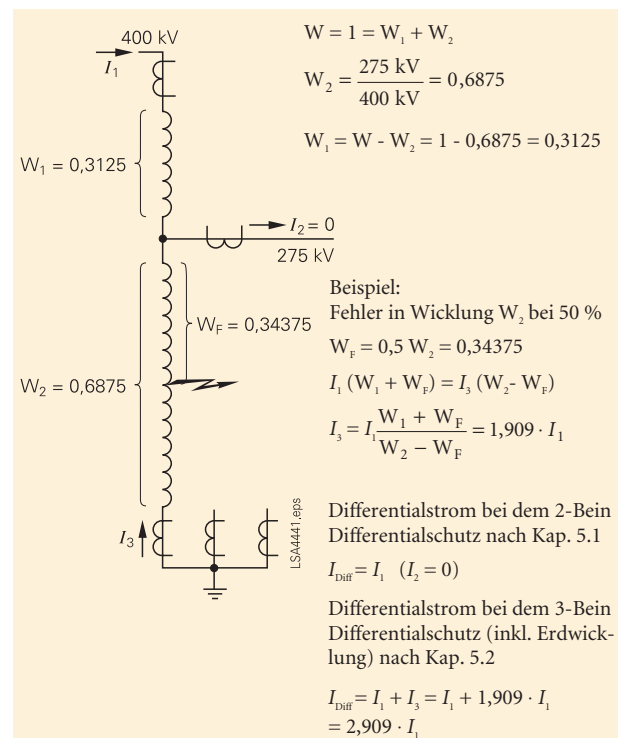


Bild 11 Erhöhung der Empfindlichkeit durch Verwendung von phasenselektiven Erdungswicklungen

Die Topologie wird wie folgt festgelegt:

Die beiden Sparwicklungen werden zu S1 und S2 (Anzapfung).

Die Erdungswicklung ist in diesem Fall als Seite 3 einzustellen. Liegt eine weitere Anzapfung vor, dann wird die Erdungswicklung als Seite 4 festgelegt. Sobald eine der Seiten als Erdungswicklung definiert ist, macht der Schutz automatisch einen Knotendifferentialschutz über alle beteiligten Sparwicklungen.

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 Differential-schutzes basiert auf folgenden Überlegungen:

- Als Ansprechwert für den Differentialstrom  $I_{\text{Diff}} >$  kann die Voreinstellung von  $0,2 \times I_N$  bezogen auf den Nennstrom des Trafos in der Regel übernommen werden.
- Die Steigung 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 den Einstellwert EXF-Stab (Adresse 1261) 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.
- Die Schwelle  $I_{\text{Diff}} >>$  arbeitet ohne Stabilisierung und ist für hohe Kurzschlussströme auf der Primärseite des Trafos mit gleichzeitiger großer Wandler-sättigung vorgesehen. Sie sollte mind. 20 % höher als der max. durchfließende Kurzschlussstrom bzw. der max. Inrushstrom eingestellt werden.

#### Hinweise zur Zusatzstabilisierung

Im Bereich sehr hoher durchfließender Ströme bei äußerem Kurzschluss wird eine dynamische Zusatzstabilisierung wirksam. Die Voreinstellung 4.0 kann in der Regel unverändert übernommen werden. Der Wert ist auf den Nennstrom des Schutzobjektes bezogen. Beachten Sie, dass der Stabilisierungsstrom die arithmetische Summe der in das Schutzobjekt einfließenden Ströme ist, also

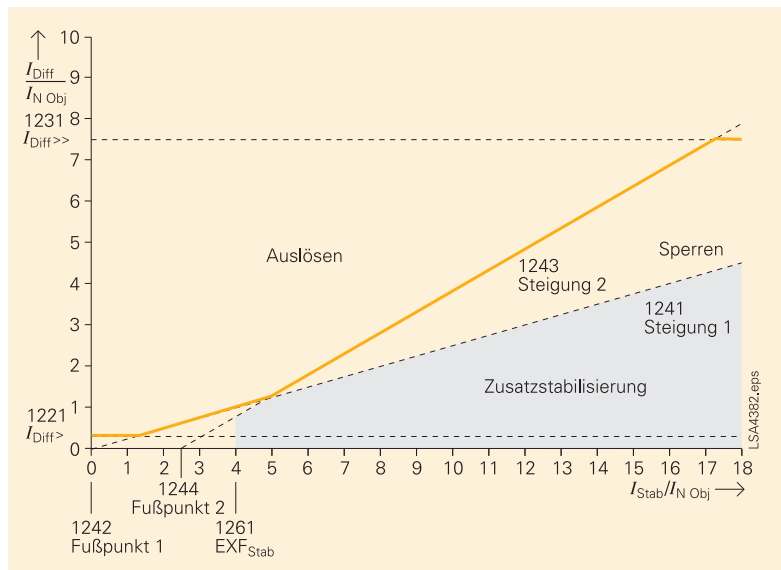


Bild 12 Auslösekennlinie Differentialschutz

doppelt so hoch wie der durchfließende Strom selbst. Die Zusatzstabilisierung wirkt nicht auf die  $I_{\text{Diff}} >>$ -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).

#### 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 Differentialschutzes 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 gegenseitigen Blockierung nach Überschreiten der Differentialstromschwelle wirksam ist, wird empfohlen (Voreinstellung).

### 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 Differential-schutzes führt, wird mit 30 % (Voreinstellung) eingestellt. Die Einstellung der Cross-Block-Funktion ist hier in der Regel nicht erforderlich.

### 5.3 Reserveschutzfunktionen

#### 5.3.1 Überstromzeitschutz

Der Überstromzeitschutz (UMZ) des 7UT612 / 613 dient als Reserveschutz für den Kurzschlusschutz 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 Speiseite des Transformators wirkt, wird die Stufe  $I>>$  so eingestellt, dass sie für Kurzschlüsse bis in das Schutzobjekt hinein anspricht, bei einem durchfließenden Kurzschlussstrom aber nicht.

Berechnungsbeispiel:

Transformator YNyn0 (Sparschaltung)

50 MVA

66 kV/33 kV

$u_k = 12\%$

Stromwandler 500 A/1 A auf der 66-kV-Seite

Der Überstromzeitschutz wirkt auf die 66-kV-Seite (= Speiseite).

Der maximal mögliche dreiphasige Kurzschlussstrom auf der 33-kV-Seite bei starrer Spannung auf der 66-kV-Seite würde betragen:

$$I_{3\text{pol max}} = \frac{1}{u_{k \text{ Trafo}}} \cdot I_{N \text{ Trafo}} = \frac{1}{u_{k \text{ Trafo}}} \cdot \frac{S_{N \text{ Trafo}}}{\sqrt{3}U_N}$$

$$= \frac{1}{0,12} \cdot \frac{35 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 66 \text{ kV}} = 3645 \text{ A}$$

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

$$I>> = 1,2 \times 3645 \text{ A} = 4374 \text{ A}$$

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

Sekundärer Einstellwert:

$$I>> = \frac{4375 \text{ A}}{500 \text{ A}} \cdot A = 8,75 \text{ A}$$

d.h. bei Kurzschlussströmen über 4374 A (primär) oder 8,8 A (sekundär) liegt mit Sicherheit ein Kurzschluss im Trafobereich vor. Dieser kann vom Überstromzeitschutz sofort abgeschaltet werden. Erhöhte Einschaltstromstöße (Rush) müssen ebenfalls berücksichtigt werden. 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 eine Zeitstufe z.B. 200 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 Fehlsprechen der  $I>$  Stufe durch den Einschalttrush des Trafos verhindert wird.

#### 5.3.2 Überlastschutz

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

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

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 Übertemperatur ihre Asymptote hat. Die Voreinstellung von 1,15 kann für die Ober-spannungswicklung übernommen werden.

Zeitkonstante  $\tau$  bei thermischem Abbild:

Die Erwärmungszeitkonstante  $\tau_{th}$  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  $\tau$  auf 7,2 min einzustellen.

**5.3.3 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:

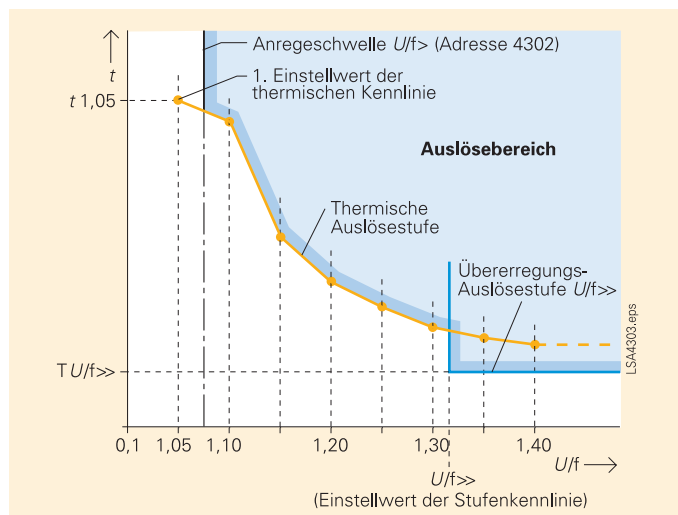
$$\frac{B}{B_{N\text{Obj}}} = \frac{\frac{U}{U_{N\text{Obj}}}}{\frac{f}{f_N}} = \frac{U / f}{U_{N\text{Obj}} / f_N}$$

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.

Einstellhinweise:

Der vom Hersteller des Schutzobjektes angegebene Grenzwert der dauernd zulässigen Induktion im Verhältnis zur Nenninduktion ( $B/B_N$ ) bildet die Grundlage der Einstellung des Grenzwertes. Dieser Wert ist gleichzeitig Warnstufe und der Mindestwert für die thermische Kennlinie (siehe Bild 13)

**Bild 13**  
Kennlinie für den Übererregungsschutz



Nach Ablauf der eingestellten zugehörigen Verzögerungszeit (etwa 10 s) der Übererregungsstufe  $U/f >$  erfolgt eine Warnmeldung. Große Übererregung gefährdet das Schutzobjekt schon in kurzer Zeit. Die Schnellauslösestufe  $U/f >>$  wird daher max. auf 1 s Verzögerungszeit eingestellt. Die thermische Kennlinie soll die Erwärmung, also Temperaturerhöhung, des Eisens durch Übererregung, nachbilden. Durch die Eingabe von 8 Verzögerungszeiten für 8 vorgegebene Induktionswerte  $B/B_{N_{Obj}}$  (vereinfacht  $U/f$  bezeichnet) wird die Erwärmungskennlinie angenähert. Zwischenwerte werden linear interpoliert. Liegen keinerlei Angaben vom Hersteller des Schutzobjekts vor, wird man die voreingestellte Standardkennlinie beibehalten.

## ■ 6. Weiterführende Funktionen

### 6.1 Einbindung in die Stationsleittechnik

Der Schutz kann über die Systemschnittstelle an ein Stationsleitsystem angeschlossen werden und parallel über die Service-Schnittstelle an einen Sternkoppler für die getrennte Fernkommunikation mit einem PC betrieben werden.

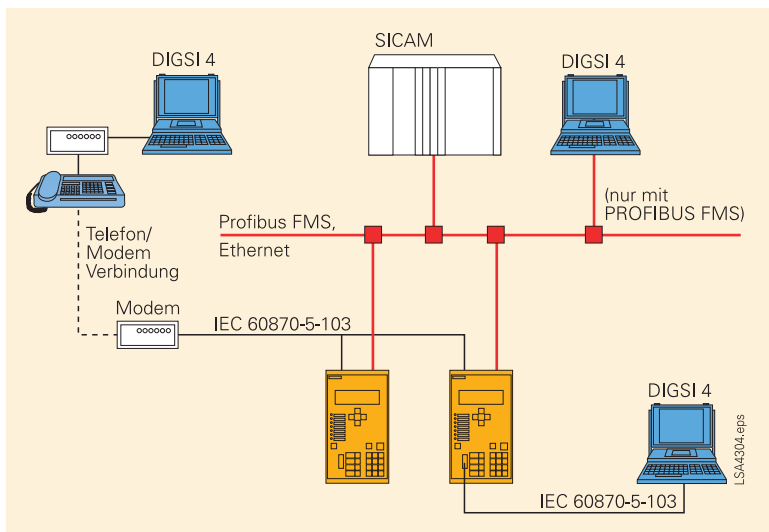


Bild 14 Einbindung in die Stationsleittechnik

Über die Systemschnittstelle werden

- Meldungen
- Alarme
- Messwerte

vom Trafo-Differentialschutz zum Stationsleitsystem übertragen. Für jede der aktivierten Schutzfunktionen stehen Meldungen zur Verfügung, welche im Rahmen der Anlagenparametrierung entweder zum Stationsleitsystem übertragen werden können oder auf die LED's oder Meldekontakte im Schutzgerät rangiert werden können. Diese Rangierung ist mittels der DIGSI-Rangiermatrix einfach und übersichtlich möglich.

### Serviceschnittstelle

Das 7UT613 verfügt über eine getrennte Service-schnittstelle, die mittels Fernkommunikation über Modem ausgelesen werden kann. Der Schutztechniker wird im Büro schnell und umfassend über die Störung des Trafos informiert. Mit der Software DIGSI werden die Daten dann im Büro analysiert. Falls die Fehlerklärung aus der Ferne nicht ausreicht, so liefern die Störfalldaten Hinweise für einen effizienten Serviceeinsatz

## ■ 7. 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 Gerät SIPROTEC 7UT612 bzw. 7UT613 einen umfassenden Kurzschlusschutz für den Haupt- und Reserveschutz von Transformatoren in einem Gerät. Weitere SIPROTEC-Geräte ergänzen den Hauptschutz und erhöhen die Zuverlässigkeit des Schutzschemas durch ihre Hardwareredundanz.

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.