

Schutz von langen Leitungen mit SIPROTEC 7SD5

■ 1. Einleitung

Der Schutz von langen Übertragungsleitungen war bisher eine Domäne des Distanzschutzes. Die vielfach vorhandene moderne Informationsübertragungstechnik mit der Möglichkeit Vergleichssignale zuverlässig über große Entfernungen auszutauschen, macht den Differentialschutz für den Einsatz auf langen Übertragungsleitungen interessant. Hohe Empfindlichkeit und strenge Selektivität sind weitere Aspekte die für den Differentialschutz sprechen. Das Gerät SIPROTEC 7SD5 bietet neben dem Differentialschutz umfangreiche Reserveschutz- und Zusatzfunktionen für den kompletten Schutz von Übertragungsleitungen an.

■ 2. Schutzkonzept

In diesem Applikationsbeispiel wird im Wesentlichen der Differentialschutz von Zweienden-Leitungen beschrieben. Neben dieser Anwendung beherrschen moderne SIPROTEC Differential-Schutzgeräte folgende Anforderungen:

- Schutz von Mehrbeinkonfigurationen
- Transformator im Schutzbereich
- Anpassung an verschiedene Übertragungsmedien wie LWL oder digitale Kommunikationsnetze

Für den Schutz einer Zweienden-Leitung werden folgende Schutzfunktionen empfohlen:

- 87 L Differentialschutz
- 67 N Gerichteter Überstromschutz
- 79 Automatisches Wiedereinschaltung
- 50 BF Schalterversager-Schutz
- 59/27 Unter- und Überspannungsschutz
- 25 Synchron und Einschaltkontrolle



Bild 1 SIPROTEC Leitungsdifferentialschutz 7SD5

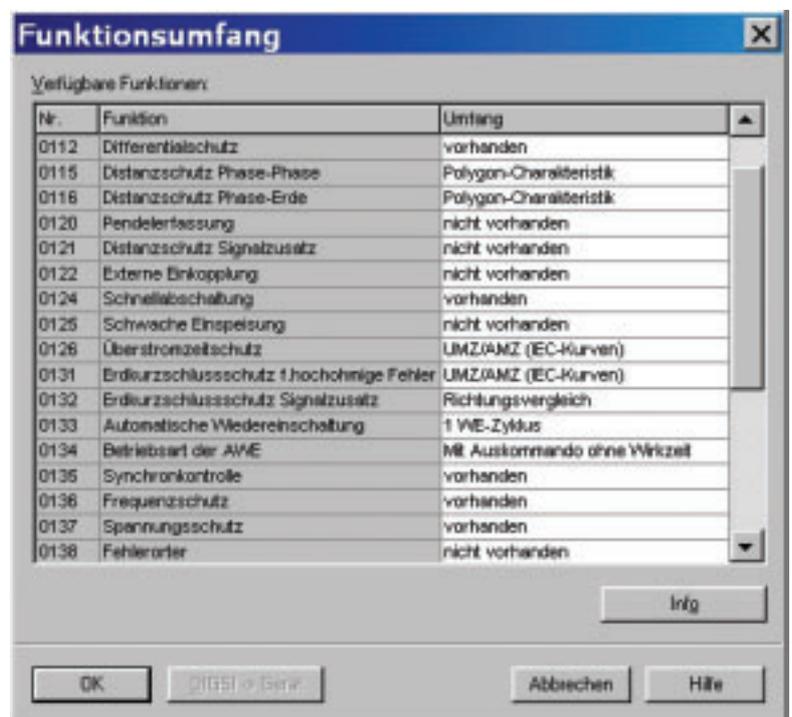


Bild 2 Einstellungen für den Funktionsumfang des 7SD5

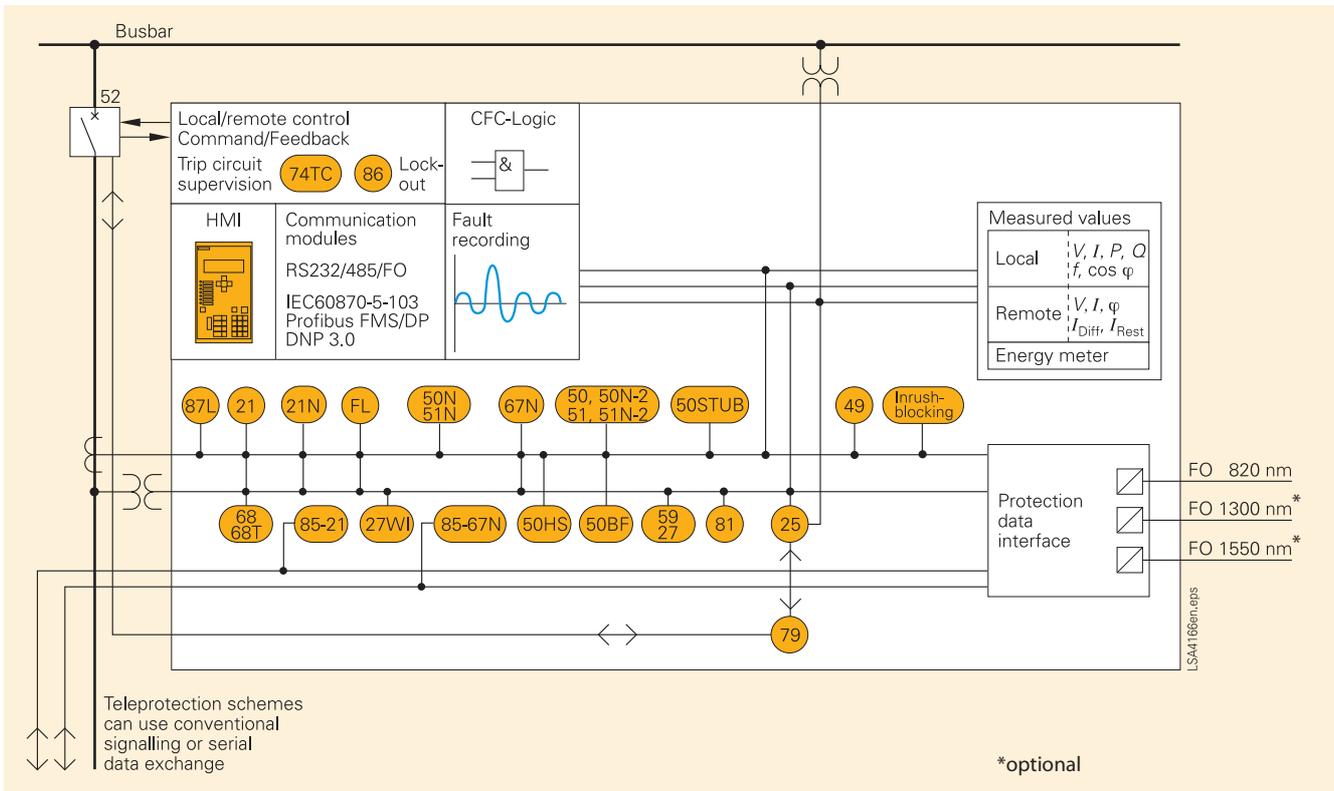


Bild 3 Funktionsumfang des SIPROTEC 7SD5

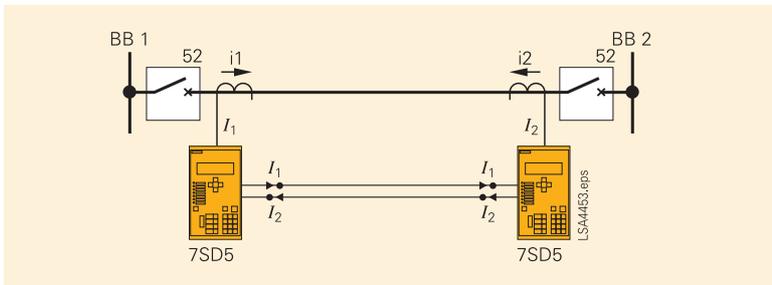


Bild 4 Differentialschutz für eine Leitung mit zwei Enden (einphasiges System)

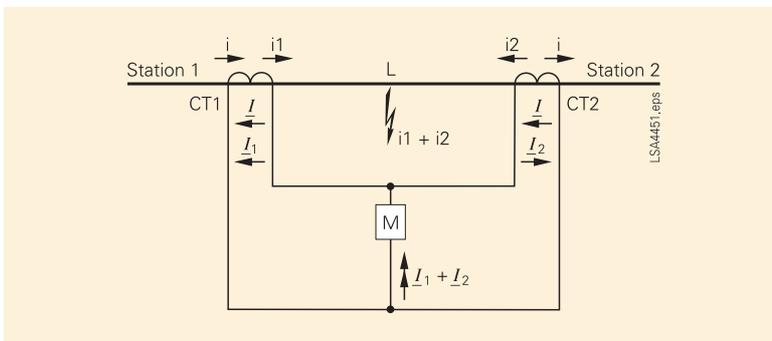


Bild 5 Grundprinzip eines Differentialschutzes für eine 2-Enden Leitung

2.1 Differentialschutz

Der Differentialschutz basiert auf einem Stromvergleich. Beim Differentialschutz macht man sich die Tatsache zunutze, dass z.B. ein Leitungsabschnitt L (Bild 5) bei einem störungsfreien Betrieb stets denselben Strom I an seinen beiden Enden führt. Dieser Strom fließt auf einer Seite in den entsprechenden Bereich hinein und verlässt diesen auf der anderen Seite wieder. Eine Differenz im Strom ist ein eindeutiges Anzeichen für eine Störung innerhalb dieses Leitungsabschnitts. Die Sekundärwicklungen der Stromwandler CT1 und CT2 an den Leitungsenden könnten bei gleicher Übersetzung so zusammengeschaltet werden, dass sich ein geschlossener Stromkreis mit dem Sekundärstrom I ergibt und ein in die Querverbindung geschaltetes Messglied M beim ungestörten Betriebszustand stromlos bleibt.

Bei einem Fehler im durch die Wandler abgegrenzten Bereich bekommt das Messglied einen zur Summe $i_1 + i_2$ der von beiden Seiten einfließenden Fehlerströme proportionalen Strom $I_1 + I_2$ zugeführt. Die einfache Anordnung nach Bild 5 führt also bei einem Kurzschluss im Schutzbereich, in dem ein für das Ansprechen des Messgliedes M ausreichender Fehlerstrom fließt, zuverlässig zum Arbeiten des Schutzes.

2.2 Ladestromkompensation

Die Ladestromkompensation ist eine Zusatzfunktion für den Differentialschutz. Sie ermöglicht eine Verbesserung der Empfindlichkeit, indem der durch die Kapazitäten der Freileitung oder des Kabels verursachte Ladestrom, der im eingeschwungenen Zustand durch die verteilte Kapazität der Leitung fließt, kompensiert wird. Infolge der Kapazitäten der Leiter gegen Erde und gegeneinander fließen auch im störungsfreien Betrieb Ladeströme, die eine Differenz der Ströme an den Enden des Schutzbereiches hervorrufen. Insbesondere bei Kabeln und langen Leitungen können die kapazitiven Ladeströme beachtliche Werte erreichen. Sind die abweisseitigen Wandleranschlüsse an die Geräte angeschlossen, kann der Einfluss der kapazitiven Ladeströme weitgehend rechnerisch kompensiert werden. Es besteht die Möglichkeit hier eine Ladestromkompensation zu aktivieren, die den tatsächlichen Ladestrom bestimmt. Bei zwei Leitungsenden übernimmt jedes Gerät die Hälfte der Ladestromkompensation, bei M Geräten übernimmt jedes den M ten Teil. Zur Vereinfachung zeigt Bild 6 ein einphasiges System.

Für den ungestörten Betrieb können Ladeströme stationär als annähernd konstant angesehen werden, da sie nur von der Spannung und den Leitungskapazitäten bestimmt werden. Ohne Ladestromkompensation müssen sie daher bei der Einstellung der Empfindlichkeit des Differentialschutzes berücksichtigt werden. Mit Ladestromkompensation ist eine Berücksichtigung an dieser Stelle nicht notwendig. Mit der Ladestromkompensation werden auch die stationären Magnetisierungsströme von Querreaktanzen berücksichtigt.

2.3 Gerichteter Erdkurzschlusschutz (67 N)

Der Nullstrom wird als Messgröße verwendet. Gemäß seiner Definitionsgleichung ergibt die Summe der drei Phasenströme, d.h.

$3I_0 = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3}$, den Nullstrom. Die Richtungsbestimmung erfolgt mit dem gemessenen Strom $I_E (= -3I_0)$, der mit einer Referenzspannung U_P verglichen wird.

Die für die Richtungsbestimmung U_P erforderliche Spannung kann vom Sternpunktstrom I_Y eines geerdeten Transformatorsternpunktes abgeleitet werden, vorausgesetzt, dass der Wandler zur Verfügung steht. Außerdem können sowohl die Nullspannung $3U_0$ sowie der Sternpunktstrom I_Y eines Wandlers für die Messung verwendet werden. Die Referenzgröße U_P ist dann die Summe der Nullspannung $3U_0$ sowie ein Wert, der proportional zum Referenzstrom I_Y ist. Dieser Wert beträgt ca. 20 V für den Bemessungsstrom (Bild 7).

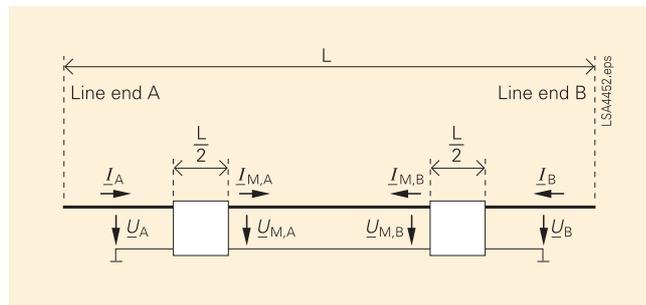


Bild 6 Ladestromkompensation für eine 2-Enden-Leitung (einphasiges System)

Die gerichtete Polarisierung unter Verwendung des Wandler-Sternpunktstroms ist unabhängig von den Spannungswandlern und funktioniert daher zuverlässig während einer Störung im Sekundärstromkreis des Spannungswandlers. Dies setzt aber voraus, dass Erdkurzschlussströme zumindest überwiegend über den Transformator gespeist werden, dessen Sternpunktstrom gemessen wird.

Zur Bestimmung der Richtung sind ein Mindeststrom $3I_0$ sowie eine Mindest-Verlagerungsspannung, die als $3U_0$ eingestellt werden kann, erforderlich. Ist die Verlagerungsspannung zu gering, kann die Richtung nur dann bestimmt werden, falls sie mit dem Wandler-Sternpunktstrom gepolt wird und dieser Wert einen Mindestwert überschreitet, der der Einstellung I_Y entspricht. Die Richtungsbestimmung mit $3U_0$ wird blockiert, falls über einen Binäreingang „Auslösen des Spannungswandler-Schutzschalters“ gemeldet wird.

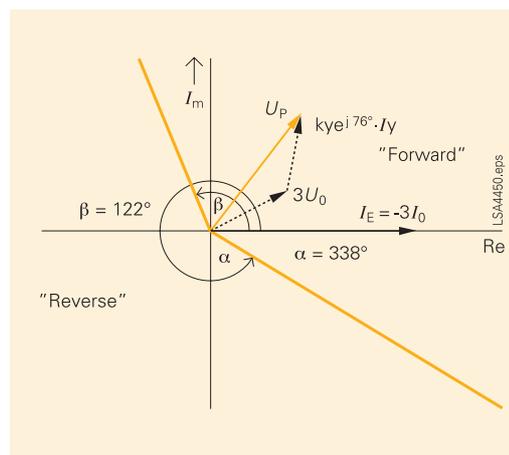


Bild 7 Richtungskennlinie eines Erdfehlerschutzes

2.4 Automatische Wiedereinschaltfunktion (79)

85 % der Lichtbogenfehler bei Freileitungen werden automatisch nach einem Auslösen durch den Schutz gelöscht. Dies bedeutet, dass die Leitung wieder eingeschaltet werden kann. Dieses automatische Wiedereinschalten ist nur bei Freileitungen zulässig, da die Möglichkeit des selbsttätigen Löschsens eines Lichtbogenfehlers nur dort zur Verfügung steht. Das automatische Wiedereinschalten darf in keinem anderen Fall verwendet werden. Besteht das Schutzobjekt aus einer Mischung aus Freileitungen und anderen Geräten (z.B. direkt an einen Wandler angeschlossene Freileitung oder eine Mischung aus Freileitung/Kabel), muss sichergestellt werden, dass das Wiedereinschalten nur bei einer Störung in der Freileitung durchgeführt werden kann. Können die Leistungsschalterpole einzeln betätigt werden, wird normalerweise eine einpolige Kurzunterbrechung bei einphasigen Kurzschlüssen und ein dreipoliges Wiedereinschalten bei mehrphasigen Kurzschlüssen in dem Stromversorgungsnetz mit geerdetem Sternpunkt ausgelöst. Ist der Erdschluss nach einem automatischen Wiedereinschalten (Lichtbogen nicht verlöschen oder metallischer Kurzschluss) weiterhin vorhanden, wird der Leistungsschalter durch die Schutzelemente endgültig ausgelöst. Bei einigen Stromversorgungsnetzen werden mehrere Wiedereinschaltversuche unternommen.

In einem Modell mit einpoliger Auslösung ermöglicht das 7SD5 eine phasenselektive, einpolige Auslösung. Abhängig von der Ausführung ist eine dreipolige, einpolige sowie mehrmalige Kurzunterbrechungsfunktion integriert.

Das 7SD5 kann ebenfalls zusammen mit einer externen Kurzunterbrechungsvorrichtung betrieben werden. In diesem Fall muss der Signalaustausch zwischen dem 7SD5 und der externen Kurzunterbrechungsvorrichtung über Binäreingänge und -ausgänge erfolgen. Es ist ebenfalls möglich, die integrierte Kurzunterbrechungsfunktion durch eine externe Schutzvorrichtung (z.B. durch einen Reserveschutz) auszulösen. Der Einsatz zweier 7SD5 mit Kurzunterbrechungsfunktion, oder der Einsatz eines 7SD5 mit einer Kurzunterbrechungsfunktion und eines zweiten Schutzes mit eigener Kurzunterbrechungsfunktion ist ebenfalls möglich.

Das Wiedereinschalten erfolgt durch eine Kurzunterbrechungsfunktion (KU). Ein Beispiel für den normalen Zeitablauf bei einer doppelten Wiedereinschaltung ist in der folgenden Abbildung zu sehen.

Das integrierte automatische Wiedereinschalten ermöglicht bis zu 8 Wiedereinschaltversuche. Die ersten vier Unterbrechungszyklen können mit unterschiedlichen Parametern (Aktionszeit und resultierende Unterbrechungsdauer, einpolig/dreipolig) ablaufen. Die Parameter des vierten Zyklus können auch auf den fünften Zyklus usw. angewendet werden.

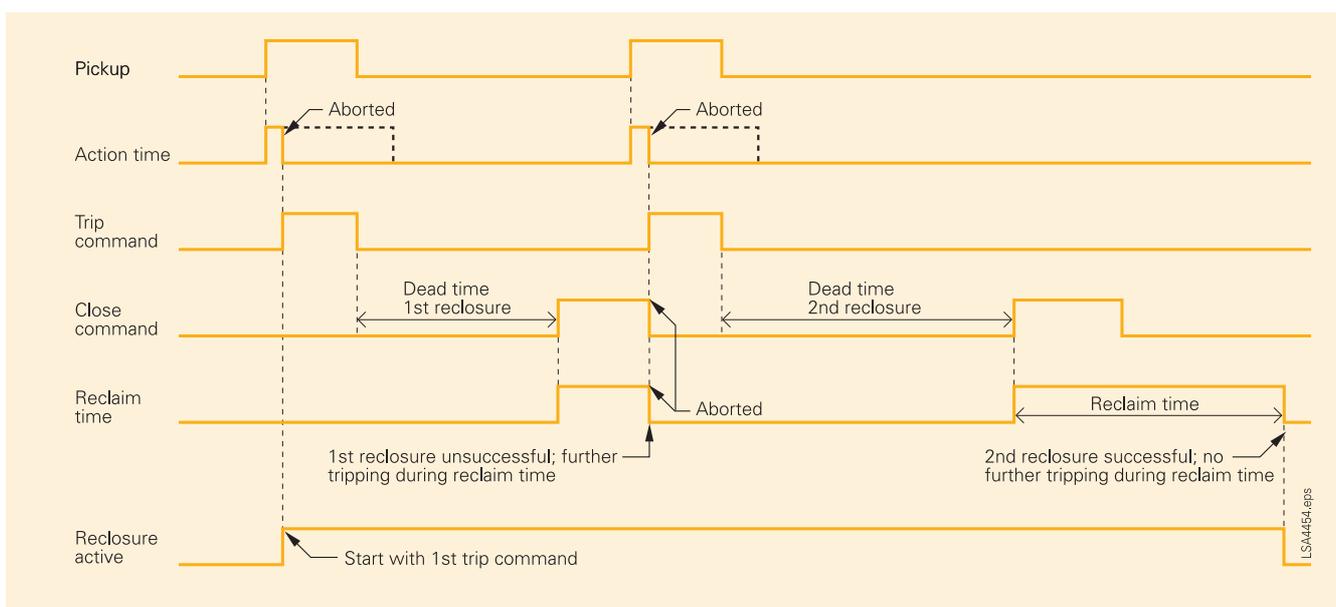


Bild 8 Ablaufdiagramm einer zweimaligen Wiedereinschaltung mit Wirkzeit (2. WE erfolgreich)

2.5 Schalterversagerschutz (50BF)

Der Leistungsschalter-Versagerschutz dient der schnellen Reserveabschaltung, wenn im Falle eines Auslösekommandos von einer Schutzfunktion der örtliche Leistungsschalter versagt. Wird z.B. vom Kurzschlusschutz eines Abzweiges ein Auslösekommando an den Leistungsschalter abgegeben, so wird dieses gleichzeitig an den Leistungsschalter-Versagerschutz gemeldet (Bild 9). In diesem wird eine Zeitstufe T-SVS gestartet. Die Zeitstufe läuft so lange, wie ein Auslösekommando des Schutzes ansteht und der Strom über den Leistungsschalter fließt.

Bei störungsfreiem Verlauf wird der Leistungsschalter den Fehlerstrom abschalten und folglich den Stromfluss unterbrechen. Wird das Auslösekommando des Schutzes nicht ausgeführt (Leistungsschalter-Versagerfall), so fließt der Strom weiter und die Zeitstufe kommt zum Ablauf. Nun erteilt der Leistungsschalter-Versagerschutz seinerseits ein Auslösekommando, das die umliegenden Leistungsschalter zum Abschalten des Fehlerstromes bringt.

2.6 Unter- und Überspannungsschutz (59/27)

Mit dem Spannungsschutz sollen elektrische Geräte gegen Unter- und Überspannung geschützt werden. Beide Betriebszustände sind ungünstig, da Überspannung z.B. Isolationsprobleme, oder Unterspannung Stabilitätsprobleme verursachen können.

Der Überspannungsschutz im 7SD5 erkennt die Phasenspannungen U_{L1-E} , U_{L2-E} und U_{L3-E} , die Dreiecksspannungen U_{L1-L2} , U_{L2-L3} und U_{L3-L1} sowie die Verlagerungsspannung $3U_0$. Anstatt der Verlagerungsspannung kann jede andere Spannung erkannt werden, die am 4. Spannungseingang U_4 des Geräts anliegt. Außerdem berechnet das Gerät die Mitsystemspannung sowie die Gegensystemspannung, so dass die symmetrischen Komponenten ebenfalls überwacht werden. Es ist auch eine Compoundierung möglich, mit der die Spannung am fernen Ende der Leitung berechnet wird.

Als Einstellwert für den Überspannungsschutz wird 150 % der Nennspannung empfohlen (Voreinstellung kann übernommen werden).

Für den Unterspannungsschutz können auch die Phasenspannungen U_{L1-E} , U_{L2-E} und U_{L3-E} , die Dreiecksspannungen U_{L1-L2} , U_{L2-L3} und U_{L3-L1} sowie die Mitsystemspannung verwendet werden. Als Einstellwert für den Unterspannungsschutz wird die minimal zulässige Spannung für den Netzbetrieb (z.B. 80 %) empfohlen.

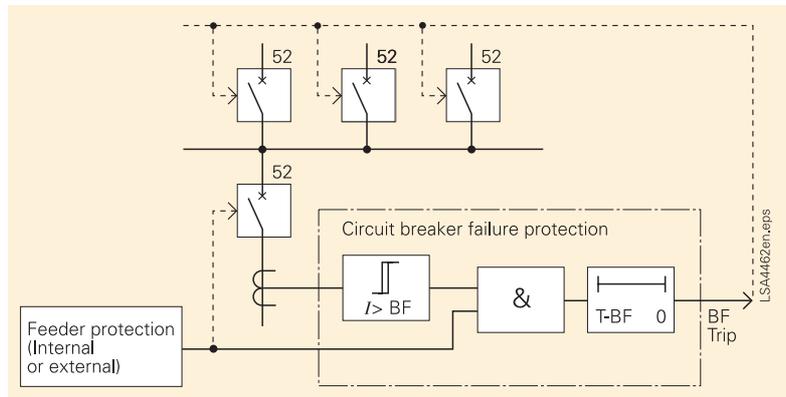


Bild 9 Prinzip des Leistungsschalterversagerschutzes

2.7 Synchron- und Einschaltkontrolle (25)

Mittels der Funktion der Synchron- und Einschaltkontrolle wird sichergestellt, dass beim Zuschalten einer Leitung auf eine Sammelschiene die Stabilität des Stromversorgungsnetzes nicht gefährdet wird. Die Spannung des einzuschaltenden Abzweigs wird mit der Spannung der Sammelschiene verglichen, um die Übereinstimmung hinsichtlich der Größenordnung, des Phasenwinkels und der Frequenz mit bestimmten Toleranzen zu überprüfen. Optional kann ein Abschalten des Abzweigs überprüft werden, bevor dieser an eine eingeschaltete Sammelschiene angeschlossen wird (oder umgekehrt).

Die Synchronprüfung kann entweder nur für das automatische Wiedereinschalten, nur für das manuelle Einschalten (dies beinhaltet ebenfalls ein Einschalten mittels eines Steuerbefehls) oder für beides durchgeführt werden. Es können ebenfalls verschiedene Kriterien für die Einschaltfreigabe für das automatische und das manuelle Einschalten programmiert werden. Eine Synchronisationsprüfung ist auch ohne externe Anpasstransformatoren möglich, falls sich zwischen den Messpunkten ein Leistungstransformator befindet. Das Einschalten wird bei synchronen oder asynchronen Stromversorgungsnetzzuständen ausgelöst. In letzterem Fall bestimmt das Gerät die Zeit für die Ausgabe des Einschaltbefehls, sodass die Spannungen identisch sind, wenn sich die Leistungsschalterpole schließen.

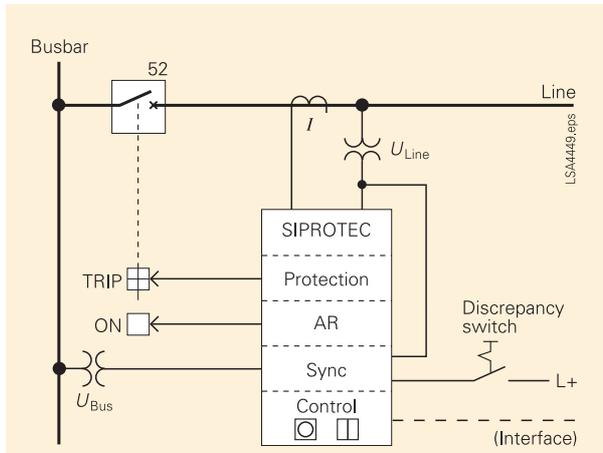


Bild 10 Synchronkontrolle beim Einschalten

Bei der Funktion der Synchronisations- und Spannungsprüfung werden die Abzweigspannung – mit U_{Line} bezeichnet – sowie die Sammelschienenspannung – mit U_{Bus} bezeichnet – für Vergleichszwecke verwendet. Bei letzterer kann es sich um eine beliebige Leiter-Erde-Spannung oder Dreiecksspannung handeln.

Befindet sich ein Leistungstransformator zwischen den Abzweig-Spannungswandlern und den Sammelschienen-Spannungswandlern (Bild 11), kann dessen Schaltgruppe durch das 7SD5-Relais ausgeglichen werden, so dass keine externen Anpasstransformatoren erforderlich sind.

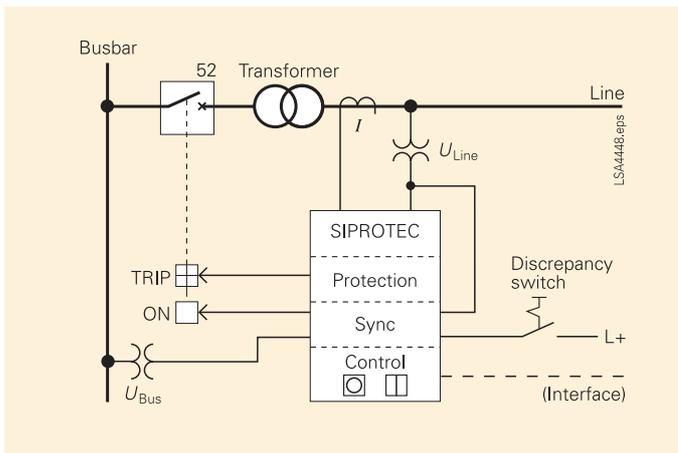


Bild 11 Synchronkontrolle über einen Transformator

Kommunikationsmedien

Der Signalaustausch zwischen den Leitungsdifferentialschutzrelais ist besonders aufgrund der geographischen Abdeckung der Relais über mittlere und lange Entfernungen hinweg kompliziert. Es müssen mindestens zwei Netzstationen gleichzeitig Relais des selben Stromversorgungsnetzes verwenden, um Daten über einen R2R-Kommunikationskanal (Relais zu Relais) austauschen zu können.

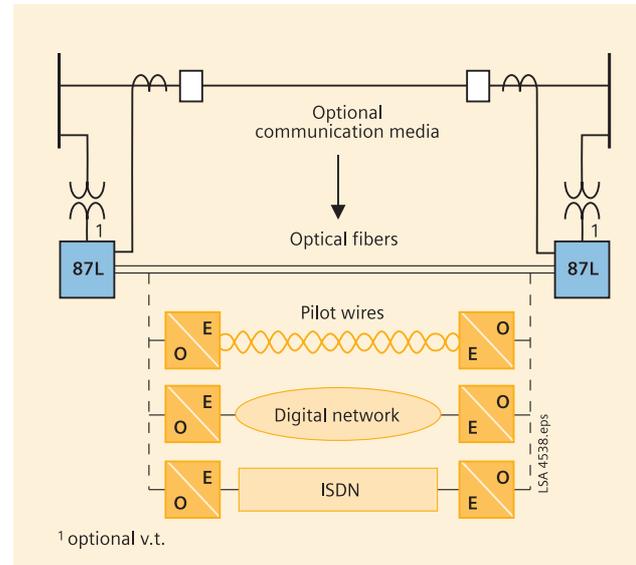


Bild 12 Trennung von Relais und Kommunikationswandler

Die Kommunikation erfolgt über Hilfsadern, direkte Lichtwellenleiterverbindungen oder Kommunikationsnetze. Welche Art von Medium verwendet wird, hängt von der Entfernung und dem verfügbaren Kommunikationsmedium ab (Tabelle 1). Über kürzere Entfernungen ist eine direkte Verbindung über Lichtwellenleiter mit einer Übertragungsrate von 512 kBit/s möglich. Die Übertragung kann ebenfalls über Modem und Kommunikationsnetze erfolgen.

Es muss jedoch unbedingt angemerkt werden, dass die Auslösezeiten der verschiedenen Schutzeinrichtungen von der Übertragungsqualität abhängen und bei einer schlechteren Übertragungsqualität bzw. einer längeren Übertragungszeit verlängert wird. In Bild 12 sind einige Beispiele für Kommunikationsverbindungen zu sehen. Bei einer direkten Verbindung hängt die Entfernung vom Typ des Lichtwellenleiters ab. In Tabelle 1 sind die zur Verfügung stehenden Optionen aufgeführt. Die Module in den Schutzgeräten sind austauschbar. Wird ein Kommunikationskonverter verwendet, sind die Vorrichtung und der Kommunikationswandler über Lichtwellenleiter mit einem FO5-Modul verbunden. Der Konverter selbst ermöglicht Anschlüsse an Kommunikationsnetze, zweiadrige Kupferleitungen oder ISDN.

Lichtwellenleiteroptionen:

- 820 nm, 1,5 km, Multimode-Lichtwellenleiter, ST-Stecker
- 820 nm, 3,5 km, Multimode-Lichtwellenleiter, ST-Stecker
- 1300 nm, 10,0 km, Monomode-Lichtwellenleiter, ST-Stecker
- 1300 nm, 35,0 km, Monomode-Lichtwellenleiter, FC-Stecker

Um größere Entfernungen mit Lichtwellenleitern zu überbrücken, wird momentan empfohlen, externe Repeater zu verwenden. Optische Module für Entfernungen von bis zu 100 km werden gerade entwickelt und werden 2005 erhältlich sein.

Eine weitere Option ist die Verbindung mittels eines Kommunikationsnetzes (keine Begrenzung der Entfernung).

Modul im Gerät	Steckertyp	Fasertyp	Optische Wellenlänge	Zul. Streckendämpfung	Entfernung, typisch
FO5	ST	Multimode 62,5/125 µm	820 nm	8 dB	1,5 km (0,95 Meilen)
FO6	ST	Multimode 62,5/125 µm	820 nm	16 dB	3,5 km (2,2 Meilen)
FO7	ST	Monomode 9/125 µm	1300 nm	7 dB	10 km (6,25 Meilen)
FO8	FC	Monomode 9/125 µm	1300 nm	18 dB	35 km (22 Meilen)
FO17 ¹⁾	LC	Monomode 9/125 µm	1300 nm	13 dB	24 km (14,9 Meilen)
FO18 ¹⁾	LC	Monomode 9/125 µm	1300 nm	29 dB	60 km (37,5 Meilen)
FO19 ¹⁾	LC	Monomode 9/125 µm	1550 nm	29 dB	100 km (62,5 Meilen)

Tabelle 1 Kommunikation über Direktverbindung

1) Für direkte Verbindung über kurze Entfernungen sollte ein geeignetes optisches Dämpfungsglied verwendet werden, um eine Fehlfunktion oder Schaden am Gerät zu vermeiden.

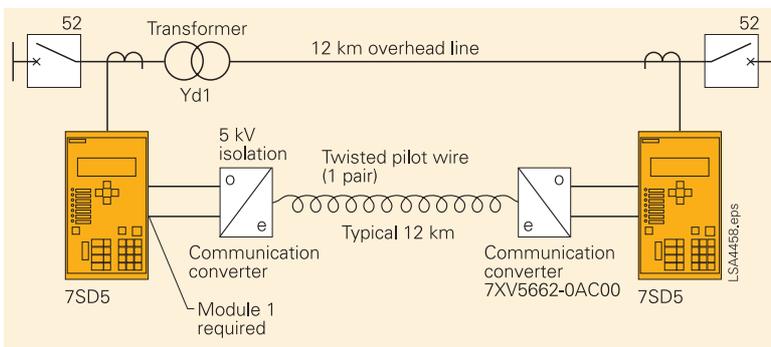
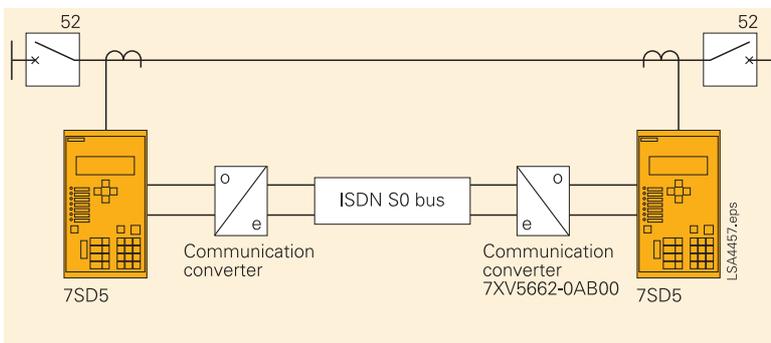
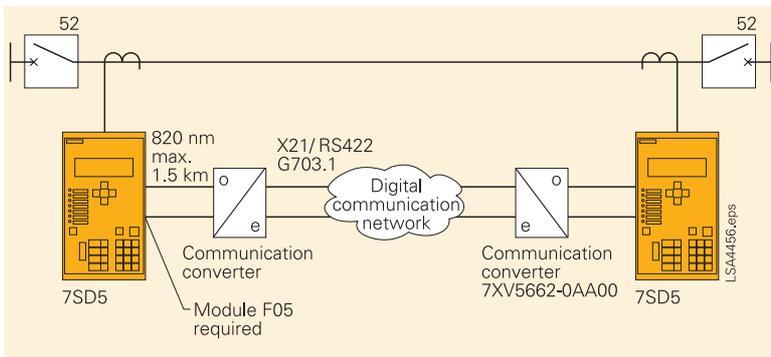
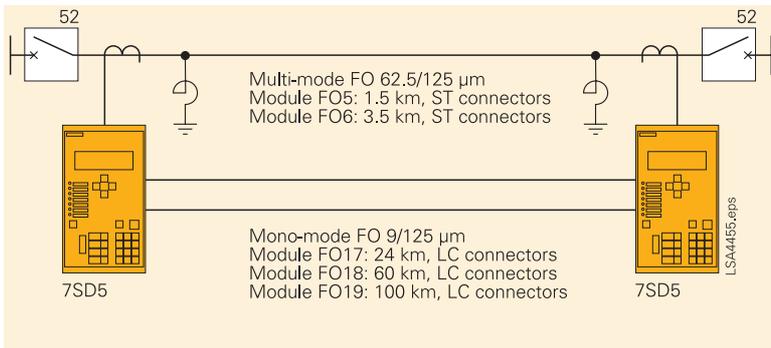


Bild 13 Beispiele für Kommunikationsverbindungen

3. Zusammenfassung

Optimaler Schutz von Übertragungsleitungen mit SIPROTEC-Schutzgeräten 7SD5 bedeutet hohe Selektivität der Fehlerklärung, dabei bleibt eine evtl. vorhandene parallele Doppelleitung sicher in Betrieb. Kürzeste Auslösezeiten sichern die Stabilität des Übertragungsnetzes im Fehlerfall, und liefert somit einen entscheidenden Beitrag zur höchsten Versorgungssicherheit.

Aus schutztechnischer Sicht bietet das Gerät SIPROTEC 7SD5 einen umfassenden Leitungsschutz für den Haupt- und Reserveschutz von Übertragungsleitungen in einem Gerät. Durch seine flexiblen Kommunikationsmöglichkeiten lässt sich der SIPROTEC 7SD5 einfach an die vorhandene Kommunikationsinfrastruktur anpassen.