

**SIEMENS**



# SIPROTEC 5 Compact

## Gerichteter Erdschlussschutz

APN-C.013

# SIPROTEC 5 Compact Applikation

Gerichteter Erdschlussschutz

---

## SIPROTEC 5 Compact Applikation

### Gerichteter Erdschlussschutz

APN-C.013, Edition 1

#### Inhalt

1	Gerichteter Erdschlussschutz	Richtungsdefinition, Anschaltungsvarianten, Prüfungen .....	3
1.1	Einführung .....		3
1.2	Erdschlussgrößen im isolierten und kompensierten Netz .....		3
1.3	Erdschlussrichtungserfassung ( $\sin\varphi$ - und $\cos\varphi$ -Verfahren) .....		5
1.4	Anschaltungsvarianten .....		6
1.5	Prüfung der Erdschlussrichtung.....		8
1.6	Überprüfung der Primärwandler .....		8
1.7	Überprüfung des Erdschlussrichtungsschutzes .....		10
1.8	Zusammenfassung .....		14

# 1 Gerichteter Erdschlussschutz

## Richtungsdefinition, Anschaltungsvarianten, Prüfungen

### 1.1 Einführung

In diesem praxisorientierten Paper werden neben der anschaulichen Erläuterung der Grundlagen von Erdschlussgrößen in isolierten und kompensierten Netzen die Anschaltungsvarianten für die Erdschlussrichtungserfassung ausführlich beschrieben.

Besonderer Schwerpunkt liegt in der Prüfung der Primärwandler und der Test der Erdschlussrichtungsschutzfunktion während Inbetriebnahmen und /oder Revisionen anhand von drei Anschaltbeispielen.

### 1.2 Erdschlussgrößen im isolierten und kompensierten Netz

Der Schlüssel zu einem intelligenten Hauptleitungsschutz liegt in der Kommunikation zwischen allen beteiligten Leitungsenden und der örtlichen Messung am Ende der Hauptleitung.

Nachfolgende Abbildungen zeigen bei einem Erdschluss im Netz den prinzipiellen Verlauf der Erdschlussströme. Im isolierten Netz ist der Sternpunkt frei. Tritt in einem Leiter ein Erdschluss auf, hat der Fehlerort eine Verbindung zur Erde. Damit verschieben sich die Leiter-Erde-Spannungen und es kommt über die Leiter-Kapazitäten der beiden fehlerfreien Leiter zu einem Stromfluss.

Diesen Sachverhalt zeigt Abbildung 1. Der Erdschluss tritt im Abzweig A Leiter L1 auf. Die Verlagerungsspannung ( $U_0$ ) kann direkt über die offene Dreieckswicklung gemessen bzw. aus den Leiter-Erde-Spannungen berechnet werden. Als Erdstrom wird in jedem Abzweig der Nullstrom ( $3I_0$ ) gemessen. Die Erdstrommessung erfolgt über die Holmgreen-Schaltung (separater Kerne bzw. Rückleiter) oder den Kabelumbauwandler.

Die im Zeigerdiagramm resultierenden Zeigergrößen für den fehlerfreien Abzweig sind rechts unten dargestellt. Es zeigt sowohl die Lage der Nullspannung als auch des Nullstromes. Zur Bewertung der Erdstromrichtung sind für die beiden Messstellen (Abzweig A und B) die primärseitigen Zeigergrößen für die Nullspannung und den Nullstrom dargestellt.

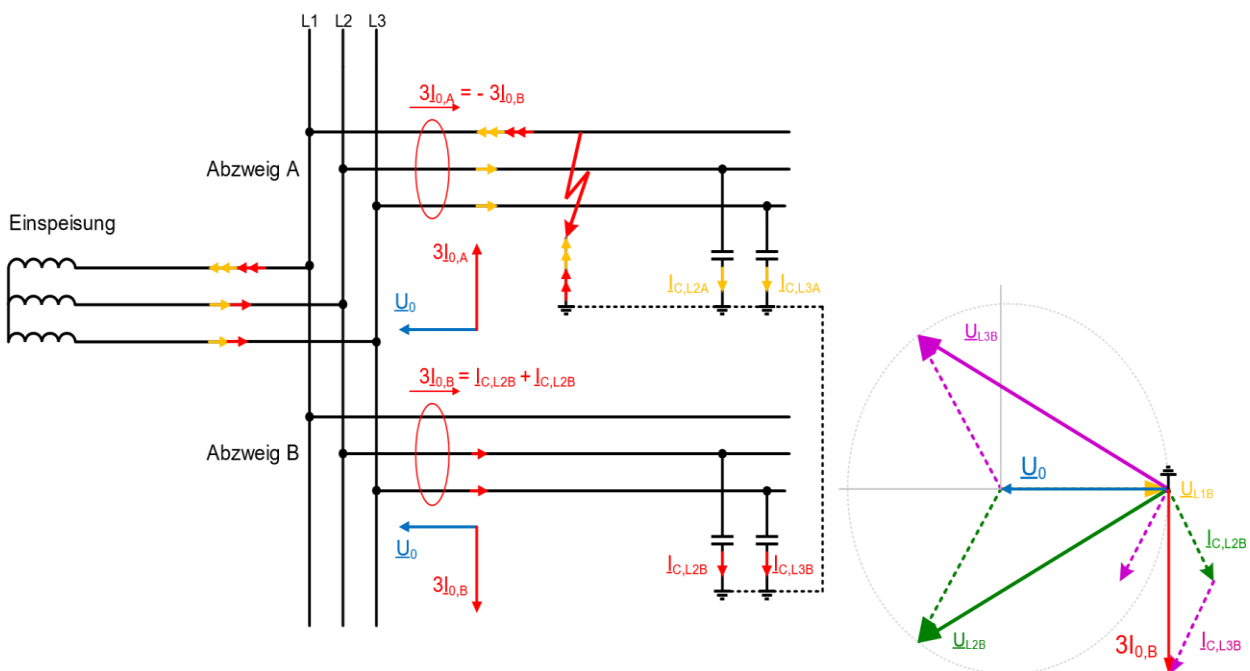


Abbildung 1: Messgrößen beim Erdschluss im isolierten Netz

# SIPROTEC 5 Compact Applikation

## Gerichteter Erdschlussschutz

Schlussfolgerungen:

- Die Kapazitäten des fehlerbehafteten Abzweigs führen zu keinem messbaren Nullstrom. Dieser hebt sich an der Messstelle auf (orange Pfeile).
- Die Nullströme der fehlerfreien Abzweige bestimmen den messbaren Nullstrom im fehlerbehafteten Abzweig (im Beispiel rote Pfeile).
- Zwischen fehlerfreien und fehlerbehafteten Abzweig tritt eine Phasenwinkeldrehung im Nullstrom von  $180^\circ$  auf.
- Bezugssystem für die Richtungsbestimmung ist die Nullspannung. Es ergeben sich die oben dargestellten primären Zeiger.
  - **Fehlerbehafteter Abzweig**  $U_0 < 180^\circ, 3I_0 < +90^\circ$
  - Fehlerfreier Abzweig  $U_0 < 180^\circ, 3I_0 < -90^\circ$

Beim kompensierten (gelöschten) Netz hebt sich der kapazitive Erdschlussstrom am Fehlerort nahezu auf. Dazu schaltet man eine Induktivität (Erdschlusslöschspule) gegen Erde. Das kann zum Beispiel direkt am Sternpunkt der Sternwicklung des Transformators erfolgen oder man sieht einen separaten Sternpunktbildner an der Sammelschiene vor. Im Erdschlussfall verändern sich die gemessenen Nullströme am Fehlerort. Der induktive Strom kompensiert den kapazitiven Strom.

Abbildung 2 zeigt die sich ergebenden Messgrößen. Im Beispiel wurde die Erdschlusslöschspule mit zusätzlicher Wattreststrom-Erhözung im Transformator Sternpunkt angeordnet.

In Grün dargestellt ist der im Erdschlussfall zusätzlich eingespeiste resistiv-induktive Strom  $I_Y$ . Zur Gewährleistung einer sicheren Richtungserfassung wird der Wirkstrom (Wattreststrom)  $I_R$  mit eingespeist.

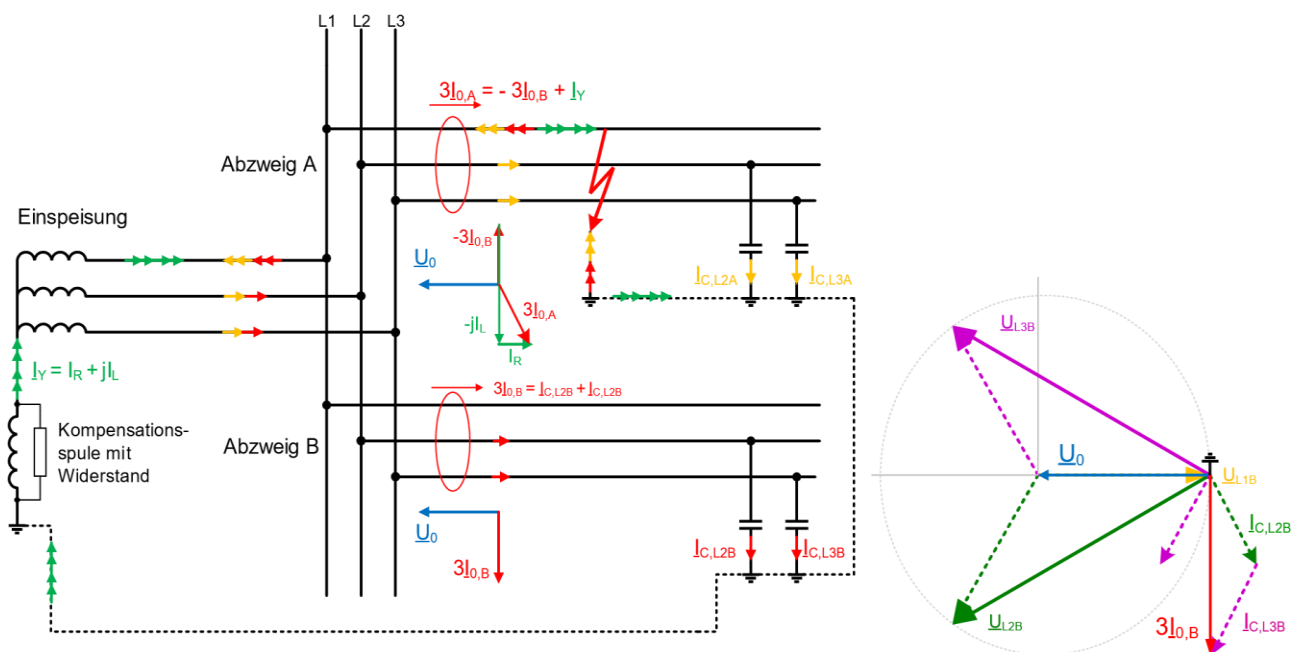


Abbildung 2: Messgrößen beim Erdschluss im kompensierten Netz

Schlussfolgerungen:

- Am Fehlerort kompensieren sich der induktive und kapazitive Strom (siehe Abzweig A)
- Am Abzweig A kommt es jetzt zu einer Überlagerung des Stromes  $I_Y$  und des kapazitiven Stromes des fehlerfreien Abzweiges ( $-3I_{0,B}$ ). Damit verdreht sich der Erdstromzeiger  $3I_{0,A}$  gegenüber der Darstellung im isolierten Netz.
- Am fehlerfreien Abzweig verändern sich die Zeigergrößen nicht.

- Es ergibt sich jetzt folgendes Bild:
  - Fehlerbehafteter Abzweig  $U_0 < 180^\circ$ ,  $3I_0 < -90^\circ$
  - Fehlerfreier Abzweig  $U_0 < 180^\circ$ ,  $3I_0 < -90^\circ$

### 1.3 Erdschlussrichtungserfassung ( $\sin\varphi$ - und $\cos\varphi$ -Verfahren)

Zur Bestimmung der Erdschlussrichtung werden die sekundärseitige Nullspannung und der sekundärseitige Nullstrom durch die Schutzeinrichtungen ausgewertet. Die Schutzfunktionen sind hinsichtlich der Richtungsbestimmung so definiert, dass die Nullstrommessung auf den Stromeingang ( $I_N$ ,  $I_{N5}$ = SIP5 und IE, IEE = SIP4) bezogen ist. Durch die Knotenpunktdefinition (siehe Abschnitt 3) erfolgt eine Phasenwinkeldrehung um  $180^\circ$  ( $-3I_0$ ). Damit drehen sich Nullströme in den Abbildungen 1 und 2 an der jeweiligen Messstelle um  $180^\circ$ . Die für die Messung (Richtungsentscheid) relevanten sekundärseitigen Zeigergrößen zeigt die Abbildung 3.

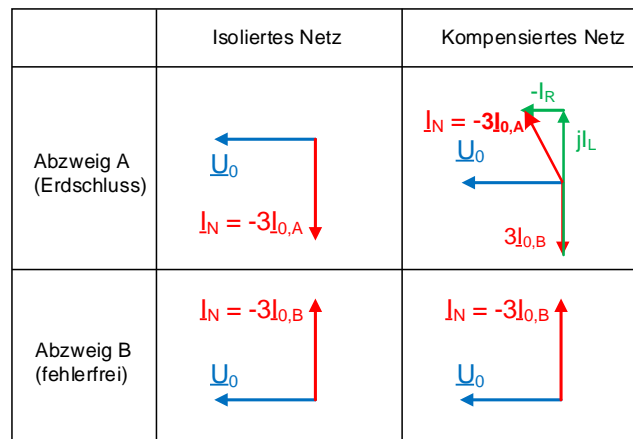


Abbildung 3: Sekundärseitige Zeiger für die Nullspannung und den Nullstrom am Messstelle

Für das isolierte Netz ist die Phasenwinkelverschiebung zwischen Nullspannung und Nullstrom unter Idealbedingungen  $90^\circ$ . Die geringe Phasenwinkeldrehung durch die Ableitverluste wurde vernachlässigt. Durch die nahezu  $90^\circ$  Phasenwinkelverschiebung kommt das  $\sin\varphi$ -Verfahren zum Einsatz ( $\sin 90^\circ = 1$ ). Eine Richtungsgerade liegt in Phase mit der Nullspannung. Berücksichtigt man noch einen Mindestauslösestrom ergibt sich ein Toleranzband.

Beim kompensierten Netz kommt das  $\cos\varphi$ -Verfahren zur Anwendung. Es werden die Nullspannung und der Wirkanteil des Nullstromes ausgewertet. Für den fehlerbehafteten Abzweig liegt er in Phase mit der Nullspannung ( $\cos 0^\circ = 1$ ). Die Richtungsgerade steht nun senkrecht zur Nullspannung. Man benötigt auch hier ein gewisses Toleranzband. Zum einen wird es durch den minimalen Auslösestrom bestimmt und zum anderen sollen Fehlentscheide durch den Winkelfehler des Stromwandlers vermieden werden. Der Winkelfehler führt zu einer Drehung des sekundären Nullstromzeigers. Die Drehung erfolgt überwiegend mathematisch positiv und der Nullstromzeiger im Abzweig B (Abbildung 3) dreht sich nach links. Die Schutzeinrichtung berechnet einen Wirkstrom, welcher primärseitig nicht vorhanden ist.

Abbildung 4 zeigt die Richtungsdefinitionen (Sekundärseite) in den SIPROTEC Schutzgeräten. Die Vereinbarung ist dabei, dass die Richtung „Vorwärts“ in Richtung des fehlerhaften Betriebsmittels (Leitung, Kabel, Motor) zeigt. Die Nullspannung wurde gegenüber Abbildung 3 in die reelle Achse (alle Zeiger von Abbildung 3 um  $180^\circ$  gedreht) gelegt. Ferner wurden die Nullströme der Abzweige A und B eingezeichnet. Der fehlerbehaftete Abzweig A ist als Vorwärts definiert. Die fette Linie beschreibt die Richtungsgerade. Mit dem gestrichelten Kreis wird symbolisiert, dass die Schutzfunktion ab einem gewissen Mindestnullstrom und Mindestnullspannung arbeitet.

Durch die kleinen Wirkströme beim  $\cos\varphi$ -Verfahren wird die Stromeinstellung empfindlicher ausgeführt. Beim  $\cos\varphi$ -Verfahren ist es angebracht, wegen des Winkelfehlers bei der Nullstromübertragung die Richtungskennlinie etwas zu neigen. Wie bereits erwähnt, kann eine Drehung des Nullstromzeigers  $3I_{0,B}$  um wenige Grad für diesen Abzweig zu einem falschen Richtungsentscheid führen.

Die jeweiligen Einstellparameter und Einstellempfehlungen sind aus den SIPROTEC Handbüchern zu entnehmen und werden hier nicht explizit erwähnt.

# SIPROTEC 5 Compact Applikation

## Gerichteter Erdschlussschutz

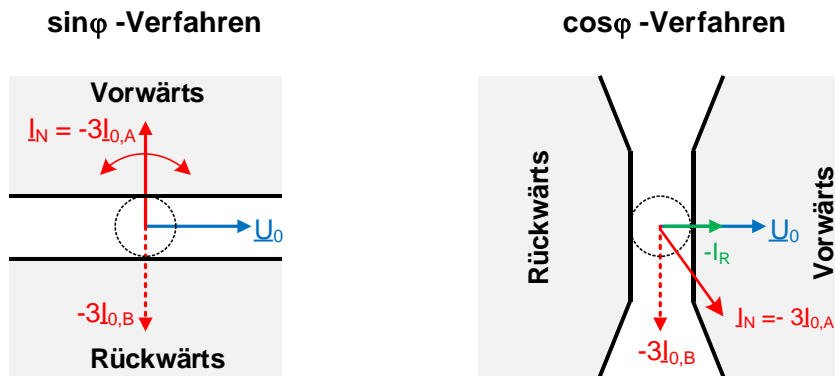


Abbildung 4: Richtungsdefinition und Lage der Richtungsgeraden ( $3I_{0A}$  Erdschlussbehafteter Abzweig;  $3I_{0B}$  Erdschlussfreier Abzweig)

## 1.4 Anschaltungsvarianten

Bei den SIPROTEC Schutzgeräten gilt für Strommessung die Vereinbarung, dass alle Ströme zu Knoten positiv definiert sind. Diese Definition hat einen Einfluss auf die Verdrahtung der geräteinternen Stromeingänge. Es gelten folgende Definitionen:

$$I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} + I_N = 0$$

$$I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} = 3I_0$$

Damit gilt:  $I_N = -3I_0$

Für die einfachste Form der Erdstrommessung kann der Rückleiter  $I_N$  benutzt werden. Obige Definition führt für den vierten Stromeingang ( $I_4$ ) zum Anschluss gemäß Abbildung 6.

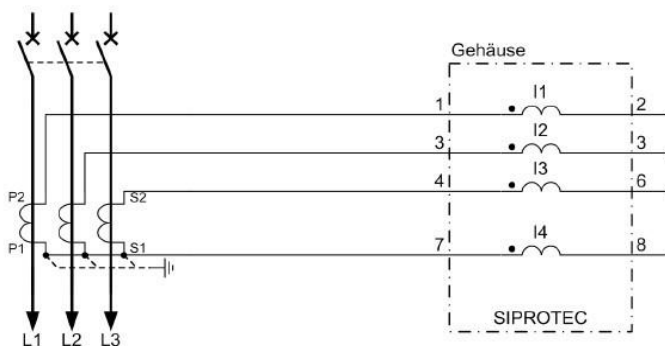


Abbildung 6: Erdstrommessung mittels Stroms im Rückleiter (Messmethode wird auch Holmgreen Schaltung bezeichnet)

Der dargestellte Punkt unterstützt die Richtungsorientierung. Sollte der Punkt fehlen kann man sich auch an der Vereinbarung orientieren, dass die ungerade Klemmenbezeichnung dem Punkt entspricht. Die in Abbildung 6 dargestellten Klemmennummern beziehen sich auf den Strommessblock von SIPROTEC 5 Compact.

Erfolgt die Erdstrommessung über einen Kabelumbauwandler gilt ebenfalls obige Knotenpunktdefinition und hat einen Einfluss auf die Verschaltung von  $I_4$  (siehe Abbildung 7). In dieser Ausführung ist  $I_4$  üblicherweise ein empfindlicher Erdstromeingang.

Alternativ gibt es die Anwendung, dass ein separater Wandlerkern zur Nullstrommessung verwendet wird. Die Anschaltung zeigt Abbildung 8.

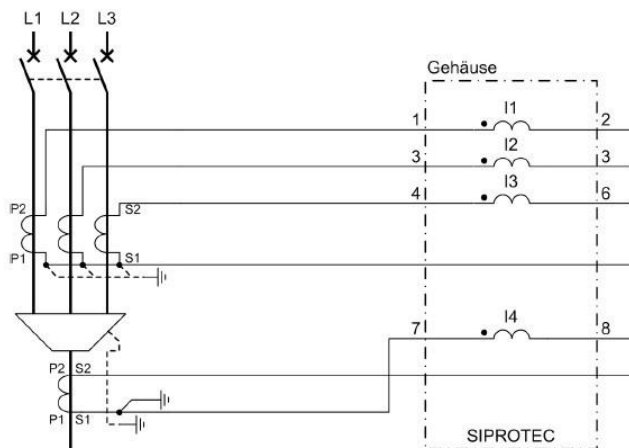


Abbildung 7: Erdstrommessung mittels Kabelumbauwandler

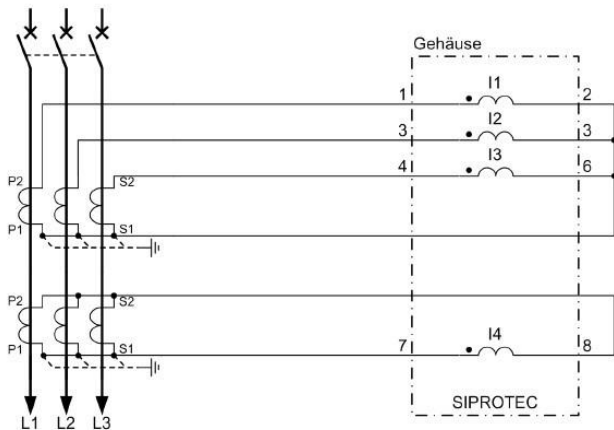


Abbildung 8: Erdstrommessung mittels separaten Kernes in Holmgreen-Schaltung

(Die 3 Kerne müssen aufeinander abgeglichen sein, um eine empfindliche Messung zu gewährleisten.)

In den Abbildungen 6 bis 8 zeigt der Sternpunkt des 3-phasigen Stromwandlers in Richtung „Schutzobjekt“, das in unserem Beispiel die fehlerhafte Abzweig ist. Es kann aber auch vorkommen, dass der Sternpunkt des 3-phasigen Stromwandlers in Richtung Sammelschiene zeigt. Da die Positivdefinition in Richtung Schutzobjekt ist, dreht bei dieser Anschaltung das Schutzgerät intern die Ströme um  $180^\circ$  (Multiplikation mit  $-1 \rightarrow$  ausgeführt gemäß Einstellparameter Sternpunktichtung). Damit wird der Stromeingang I4 automatisch mitgedreht.

Zeigt der Sternpunkt des 3-phasigen Stromwandlers zur Sammelschiene und verbleibt in Abbildung 7 und 8 der Erdstrommesswandler in der bisherigen Einbauposition, sind die Anschlüsse zum Eingang I4 zu tauschen.

Die Nullspannung wird an der offenen Dreieckswicklung direkt gemessen bzw. aus den 3 Leiter-Erde-Spannungen berechnet. Abbildung 9 zeigt die prinzipielle Anschaltung. Der Punkt dient zur Richtungsorientierung.

# SIPROTEC 5 Compact Applikation

## Gerichteter Erdschlussschutz

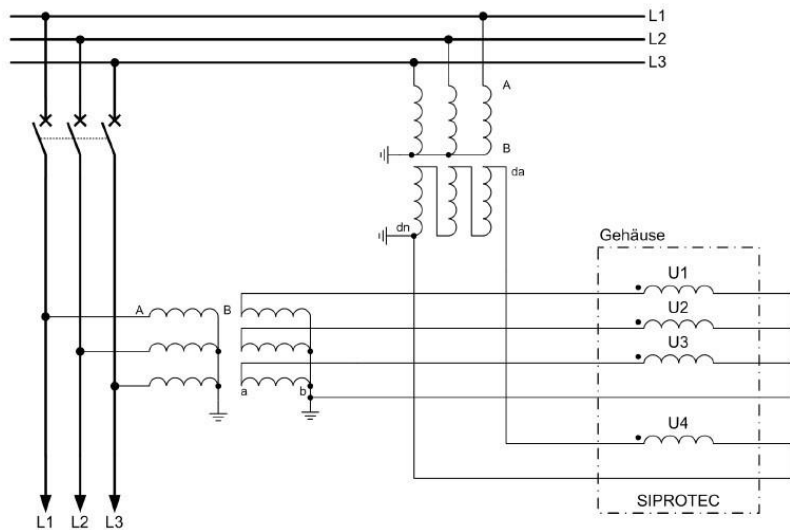


Abbildung 9: Erfassung der Nullspannung (Direkte Messung über U4 bzw. Berechnung aus U1 bis U3)

Bei der gerichteten Erdschlusserfassung gibt es noch eine Anschlussvariante, in der der Erdstromeingang, entkoppelt von den 3-phasigen Stromwandlern, benutzt wird. Das heißt, deren Sternpunktichtung hat keinen Einfluss auf die Erdschlusserfassung. Die Erdstromrichtung Vorwärts erfordert gemäß Richtungsdefinition die Anschaltung nach

Abbildung 10. Diese Anschlussart findet man beim SIPROTEC 5 und SIPROTEC 5 Compact, wenn eine 1-phasige Funktionsgruppe (Spannung-Strom-1-phasig) verwendet wird.

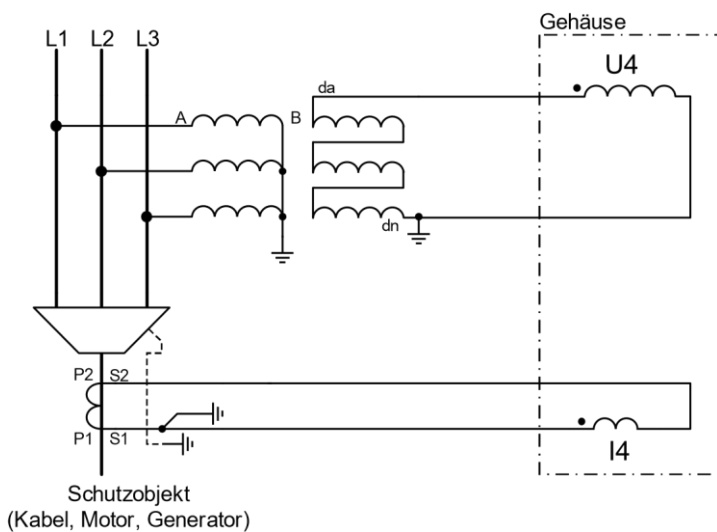


Abbildung 10: Anschaltung bei 1-phasiger Messung bzw. 1-phasiger Funktionsgruppe in SIPROTEC 7SX800 (Punkt entspricht wieder einer ungeraden Klemmennummer)

## 1.5 Prüfung der Erdschlussrichtung

Aus obigen Ausführungen wurde deutlich, dass neben der Verdrahtung auch die Schutzeinstellung einen Einfluss auf die korrekte Richtungsbestimmung hat. Aus diesem Grunde ist eine Prüfung auf der Anlage zwingend notwendig.

## 1.6 Überprüfung der Primärwandler

Eine Voraussetzung für die konkrete Richtungsbestimmung ist der ordnungsgemäße Einbau sowie die Verschaltung der Spannungs- und Stromwandler. Deren Prüfung ist der 1. Schritt. Nachfolgend wird auf ausgewählte Prüfschritte, die für eine korrekte Richtungsbestimmung Voraussetzung sind, eingegangen.



Alle Prüfungen dürfen nur von qualifiziertem Personal durchgeführt werden und die elektrotechnischen Sicherheitsregeln sind einzuhalten.

### a) Stromwandleranschluss

- *Anschluss Primärstromwandler nach Abbildung 6 (Erdstrommessung über Rückleiter)*  
Bei dieser Anschlussart ist die Phasenfolge und die Lage des Sternpunktes zu überprüfen.
- *Anschluss Primärstromwandler nach Abbildung 7 (Erdstrommessung mittels Kabelumbauwandler)*  
Da die Lage des Sternpunktes des 3-phasigen Stromwandlers einen Einfluss auf die Behandlung des Erdstromes durch das Schutzgerät hat, ist der korrekte Einbau und Anschluss zu überprüfen. Für den Kabelumbauwandler ist die Einbaulage, z.B. P1 bzw. K in Richtung Schutzobjekt, zu kontrollieren. Ferner muss man die beiden Hälften des Kabelumbauwandlers fest verschließen und die Erdleitung durch den Kabelumbauwandler führen (siehe Abbildung 11). Das Trageisen für den Kabelkopf muss gegenüber dem Gerüst isoliert sein, damit der Erdstrom über die Erdleitung zurückfließt. Die korrekte Montage, kein Spalt zwischen Hälften, ist durch eine 3-phasige symmetrische Stromspeisung zu überprüfen. Der sekundärseitig gemessene Strom sollte sehr klein sein, z.B.  $<2\text{mA}$  bei Anschluss eines 3-phasigen Kabels. Dieser Wert ist unter Vollast nochmals zu überprüfen.

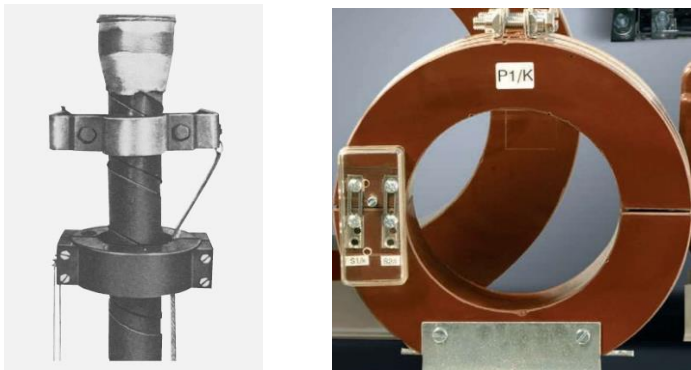


Abbildung 11: Anschluss Kabelumbauwandler, aktuelle Ausführung (Firma Ritz)

- *Anschluss Primärstromwandler nach Abbildung 8 (Erdstrommessung mittels separaten Kernes in Holmgreen-Schaltung)*  
Die Besonderheit dieser Anschlussart ist die Erdstrommessung über einen separaten Kern. Auch hier hat die Lage des Sternpunktes des 3-phasigen Stromwandlers einen Einfluss auf den Erdstrom. Der korrekte Einbau und Anschluss der Wandlerkerne ist zu überprüfen. Neben der Sichtkontrolle gibt die Einspeisung eines Primärstromes die notwendige Sicherheit. Eine 1-phasige Prüfung reicht aus, da die Lage der Stromzeiger zu überprüfen ist. Gemäß Wandleranschlussschaltung und Prüfanschluss in Abbildung 12 müssen als Prüfergebnis der Leiterstrom und der Nullstrom in Gegenphase (Phasendrehung  $180^\circ$ ) liegen. Entsprechend dem Übersetzungsverhältnis können sich die Amplituden unterscheiden. Durch das kleinere Übersetzungsverhältnis wird der gemessene Nullstrom größer sein.

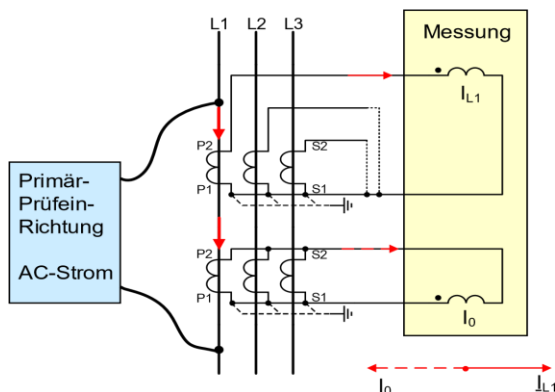


Abbildung 12: Primärprüfung bei Erdstrommessung mittels separaten Kernes in Holmgreen-Schaltung

# SIPROTEC 5 Compact Applikation

## Gerichteter Erdschlussschutz

### b) Spannungswandleranschluss

- **Nullspannungsmessung mittels offener Dreieckswicklung**  
Hier ist das korrekte Übersetzungsverhältnis und die richtige Verschaltung der offenen Dreieckswicklung zu überprüfen. Der Anschluss „da“ ist der erforderliche Spannungsmesseingang für das Schutzgerät und der Rückleiter ist „dn“. Als Referenzgröße auf der Sekundärseite ist mindestens eine 1-phasige Leiter-Erde-Spannung erforderlich. Optimal ist die Anschaltung nach Abbildung 9.
- Die Primärprüfung kann mit einer 1-phasigen Prüfeinrichtung durchgeführt werden. Die Prüfschaltung zeigt Abbildung 13. Wird als Prüfspannung die Leiter-Erde-Nennspannung ( $U_{LE}/\sqrt{3}$ ) eingespeist, dann misst man an der offenen Dreieckswicklung die sekundäre Nennspannung (typisch 100 V). Bei kleineren Prüfspannungen muss entsprechend dem Übersetzungsverhältnis umgerechnet werden.

Zur Kontrolle der richtigen Klemmenanschlüsse erfolgt auf der Sekundärseite die Auswertung der Zeigergrößen. Da in alle 3 Leiter eine gleichphasige Einspeisung erfolgt, müssen, bei korrektem Einbau und Verdrahtung, die Leiter-Erde-Spannungen und die Spannung an der offenen Dreieckswicklung in Phase liegen. In Abbildung 13 sind für den Leiter L1 die Spannungsabfälle dargestellt. Spannungen werden über den Spannungswandler gleichphasig übertragen.

- **Berechnung der Nullspannung aus den Leiter-Erde-Spannungen**  
Die Primärprüfung ist mit obiger Prüfung nach Abbildung 13 identisch. Hier ist die offene Dreieckswicklung die Referenzgröße. Als Vorbereitung ist die phasenrichtige Verdrahtung der Leiter zu überprüfen. Hierfür wird zyklisch die Leiter-Erde-Spannung einspeist und der sekundäre Spannungswert überprüft. Damit wird gleichzeitig das Übersetzungsverhältnis kontrolliert.  
Die berechnete Nullspannung liegt in Phase mit den Leiter-Erde-Spannungen und hat die Amplitude einer Leiter-Erde-Spannung. Durch die Schenkelübersetzung ( $U_{prim}/\sqrt{3} / U_{sek}/\sqrt{3} / U_{sek}/3$ ) muss die Spannung an der offenen Dreieckswicklung um den Faktor  $\sqrt{3}$  größer sein.

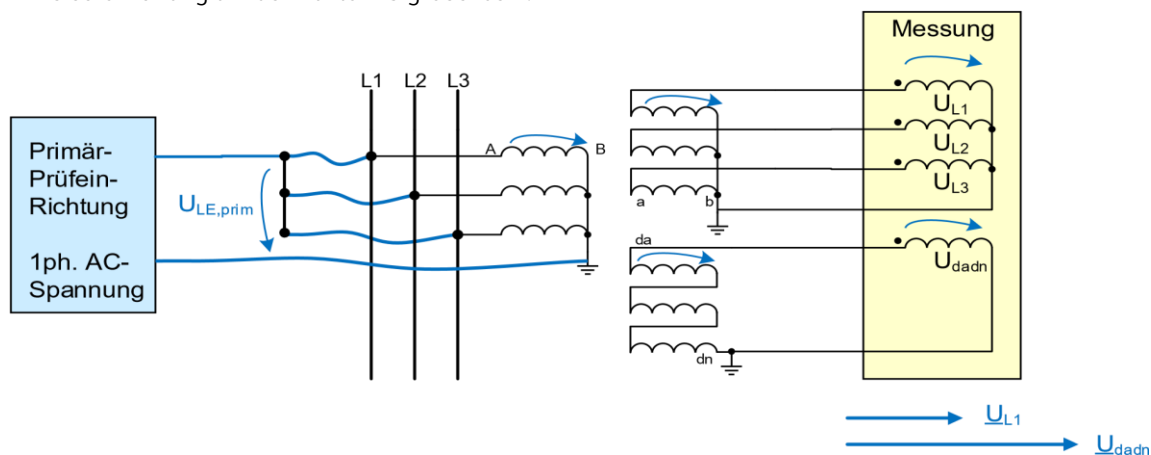


Abbildung 13: Prüfung Spannungswandler

## 1.7 Überprüfung des Erdschlussschutzrichtungsschutzes

Es werden nachfolgend die 3 Anschaltungen bezüglich der Erdstrommessung behandelt. Die Nullspannung kann wahlweise aus den 3 Leiter-Erde-Spannungen bzw. über die offene Dreieckswicklung benutzt werden. Die Prüfgrößen werden ab Wandlerklemmen eingespeist. Es wird ein Erdschluss im Leiter L1 des zu prüfenden Abzweiges angenommen. Es wird auf Vorwärtsrichtung geprüft. Das heißt, der Erdschluss liegt in Richtung Schutzobjekt.

Die Richtung im Erdschlussschutz ist auf Vorwärts eingestellt. Als Prüfergebnis muss die Funktion Vorwärts erkennen. Alternativ sollte noch das Verhalten bei einem erdschlussfreien Abzweig überprüft werden. Beim isolierten Netz muss „Rückwärts“ angezeigt werden. Bei kompensiertem Netz und angenommenen „idealen“ Verhältnissen ist die Richtung unbestimmt (siehe Abbildung 4,  $\cos\varphi$ , Strom  $-3I_{0,B}$ ).

- Erdstrommessung über Rückleiter**

Die Anschaltung sowie die Prüfgrößen zeigt Abbildung 14. In Tabelle 1 sind die Prüfgrößen für das isolierte und kompensierte Netz dargestellt. Beim kompensierten Netz wird ein reiner Wirkstrom (ideale Bedingungen) eingespeist.

Wird bei der Prüfung nicht „Vorwärts“ erkannt ist der Prüfaufbau, die Einspeisung der Prüfgrößen und die Schutzeinstellung (insbesondere die Sternpunkteinstellung des 3-phasigen Stromwandlers) zu überprüfen. Ist das Ergebnis weiterhin negativ, liegt ein Verdrahtungsfehler (vermutlich beim Erdstromanschluss) vor.

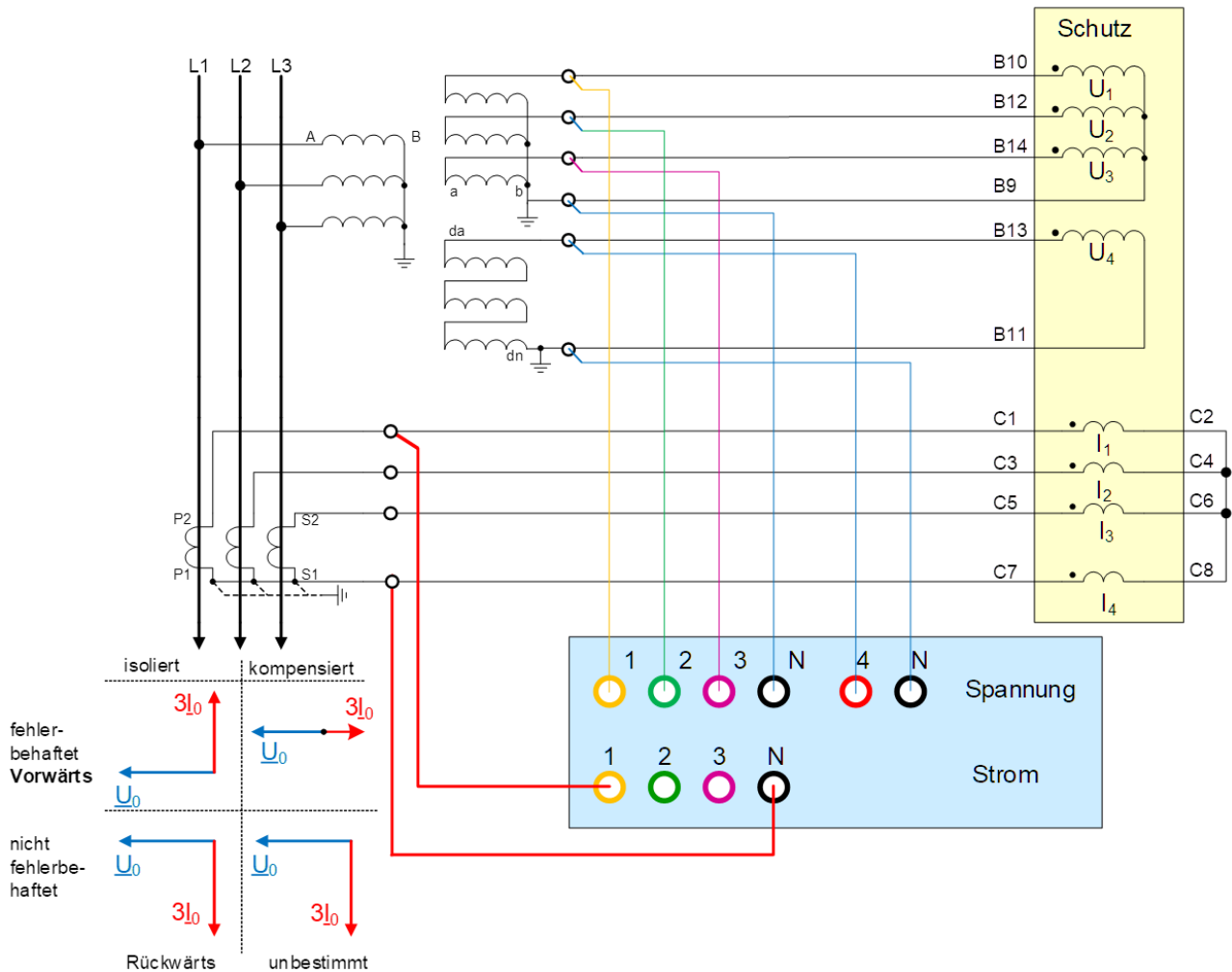


Abbildung 14: Prüfaufbau, Erdstrommessung über Rückleiter

Tabelle 1: Prüfgrößen, Sekundärprüfung

	isoliert				kompensiert			
	Vorwärts		Rückwärts		Vorwärts		nicht fehlerbehaftet	
$\underline{U}_{L1}$	0	0°	0	0°	0	0°	0	0°
$\underline{U}_{L2}$	100 V	-150°	100 V	-150°	100 V	-150°	100 V	-150°
$\underline{U}_{L3}$	100 V	+150°	100 V	+150°	100 V	+150°	100 V	+150°
$\underline{U}_{dadn}$ ( $U_4$ )	100 V	180°	100 V	180°	100 V	180°	100 V	180°
$\underline{I}_{L1}$ ( $3I_0$ )	0,5 A	+90°	0,5 A	-90°	0,1 A	0°	0,5 A	-90°

# SIPROTEC 5 Compact Applikation

## Gerichteter Erdschlussschutz

- Erdstrommessung mittels Kabelumbauwandler**

Die Anschaltung sowie die Prüfgrößen zeigt Abbildung 15. Beim Kabelumbauwandler wird die Primärprüfung empfohlen. Der eingespeiste Erdstrom ist durch den Kabelumbauwandler zu führen. Der Prüfdraht ist in Richtung Schutzobjekt durch den Kabelumbauwandler zu führen. Einen größeren Prüfstrom erreicht man durch mehrmaliges Durchschleifen.

Tabelle 2 zeigt die Prüfgrößen (Annahme: 3 Windungen durchgeschleift: Primärstrom  $3 \cdot 2A = 6A$ ).

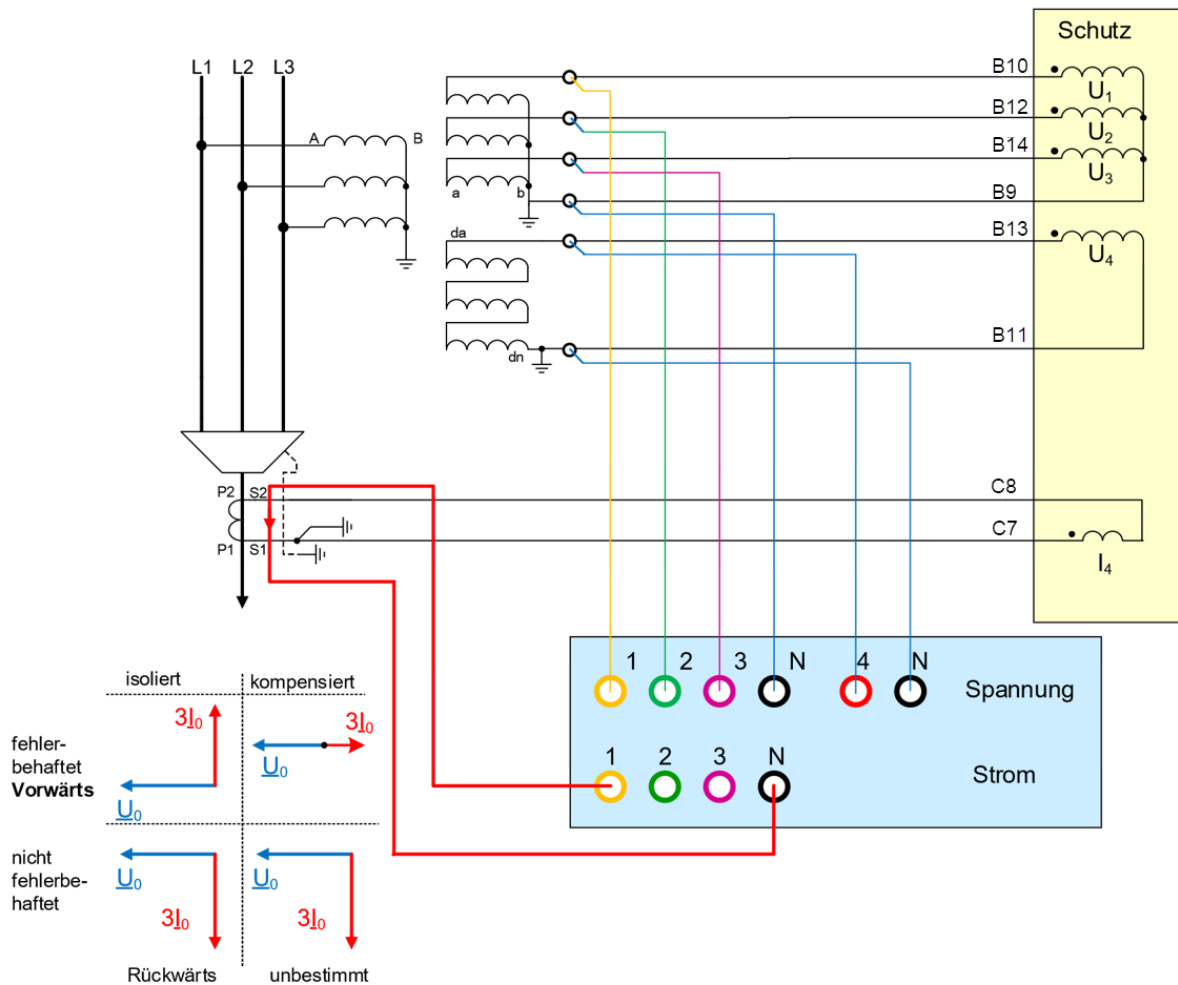


Abbildung 15: Prüfaufbau, Erdstrommessung mittels Kabelumbauwandler

Tabelle 2: Prüfgrößen, Primärprüfung (Prüfwicklung 3mal durch den Kabelumbauwandler geführt)

	Isoliert				Kompensiert			
	Vorwärts		Rückwärts		Vorwärts		Nicht fehlerbehaftet	
$\underline{U}_{L1}$	0	$0^\circ$	0	$0^\circ$	0	$0^\circ$	0	$0^\circ$
$\underline{U}_{L2}$	100 V	$-150^\circ$	100 V	$-150^\circ$	100 V	$-150^\circ$	100 V	$-150^\circ$
$\underline{U}_{L2}$	100 V	$+150^\circ$	100 V	$+150^\circ$	100 V	$+150^\circ$	100 V	$+150^\circ$
$\underline{U}_{dadn}(U_4)$	100 V	$180^\circ$	100 V	$180^\circ$	100 V	$180^\circ$	100 V	$180^\circ$
$\underline{I}_{L1}(3I_0)$	2 A	$+90^\circ$	2 A	$-90^\circ$	1 A	$0^\circ$	2 A	$-90^\circ$

Das Prüfergebnis kann mit einem Störschrieb dokumentiert werden. Die Analyse erfolgt mit SIGRA. In der Zeigerdarstellung lassen sich die relevanten Größen darstellen. Abbildung 16 zeigt das Prüfergebnis einer  $\cos\varphi$ -Messung.

# SIPROTEC 5 Compact Applikation

## Gerichteter Erdschlussschutz

Die berechnete Nullspannung  $\underline{U}_0$  wurde in die Nullachse gelegt. Die gemessene Spannung  $\underline{U}_{\text{dadn}}$  ist gleichphasig und um  $\sqrt{3}$  größer. Der Erdstrom  $I_n$  liegt in Phase mit der Nullspannung. Gemäß Richtungsdefinition in Abbildung 4 ist die Richtung Vorwärts. Zusätzlich sind die Zeiger der Spannungen  $\underline{U}_{L2}$  und  $\underline{U}_{L3}$  dargestellt. Sie entsprechen der verketteten Spannung.

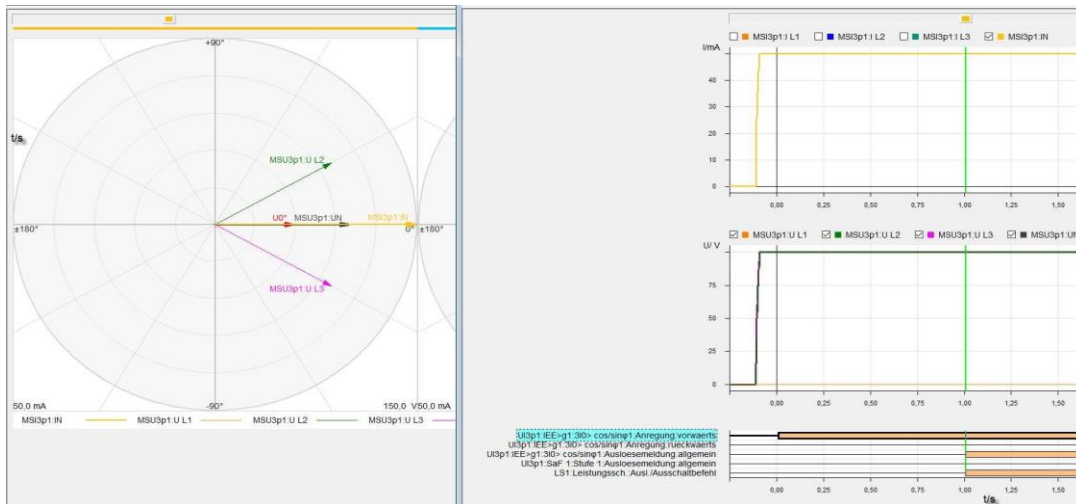


Abbildung 16: Prüfergebnis dokumentiert im Störschrieb (Netz mit Erdschlusskompensation=  $\cos \varphi$  –Messung)

- Erdstrommessung mittels separaten Kerns in Holmgreen-Schaltung**  
 Die Anschaltung sowie die Prüfgrößen zeigt Abbildung 17. Es werden die Prüfgrößen von Tabelle 1 benutzt.

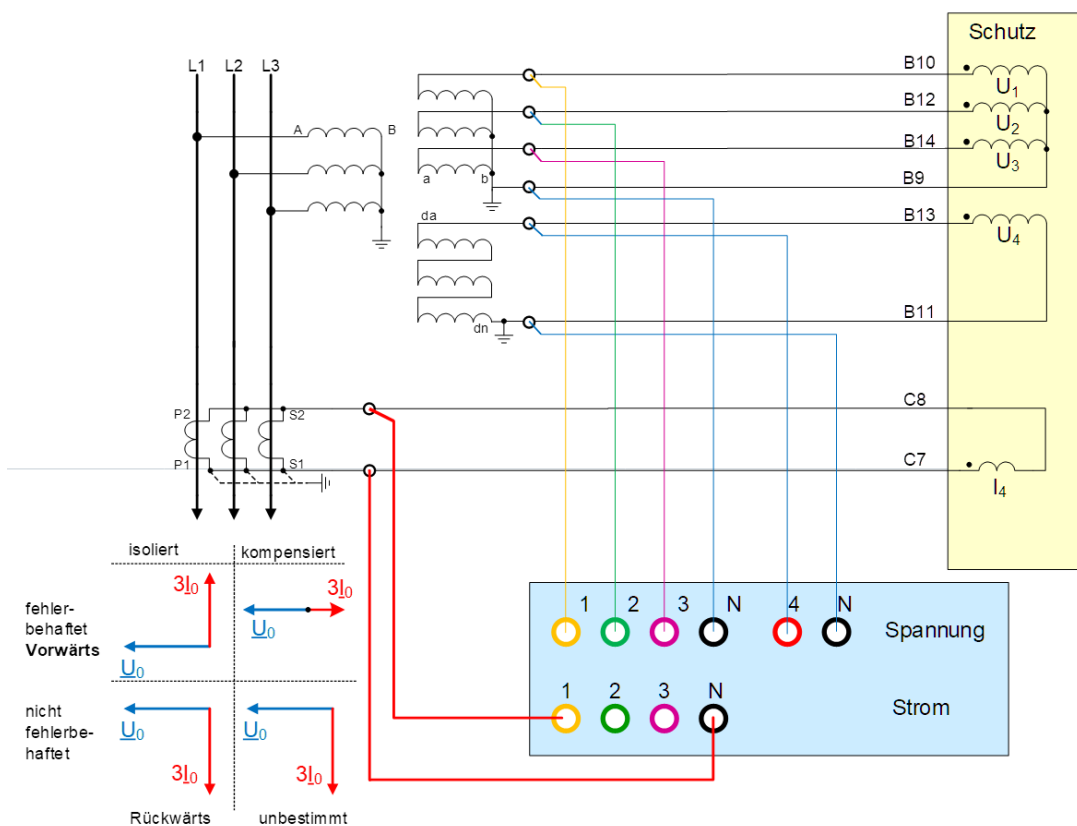


Abbildung 17: Prüfaufbau, Erdstrommessung mittels separaten Kerns in Holmgreen-Schaltung

# SIPROTEC 5 Compact Applikation

## Gerichteter Erdschlussschutz

- **Prüfung bei reiner 1-phasiger Messung**

Wird der Erdstrom entkoppelt von den 3-phasigen Stromwandlern verarbeitet und die Verlagerungsspannung direkt gemessen, vereinfacht sich die Prüfung. Es werden die Verlagerungsspannung und der Erdstrom eingespeist. Die Prüfung erfolgt an der Anlagenausführung nach Abbildung 10. Durch den Kabelumbauwandler wird die Prüfung mit einem Primärstrom empfohlen. Die Prüfschaltung zeigt Abbildung 18. Die Prüfgrößen können aus Tabelle 2 – letzten beiden Zeilen – entnommen werden. Wird bei der Vorwärtsprüfung nicht Vorwärts erkannt, muss ein Verdrahtungsfehler vorliegen (vermutlich Stromanschluss).

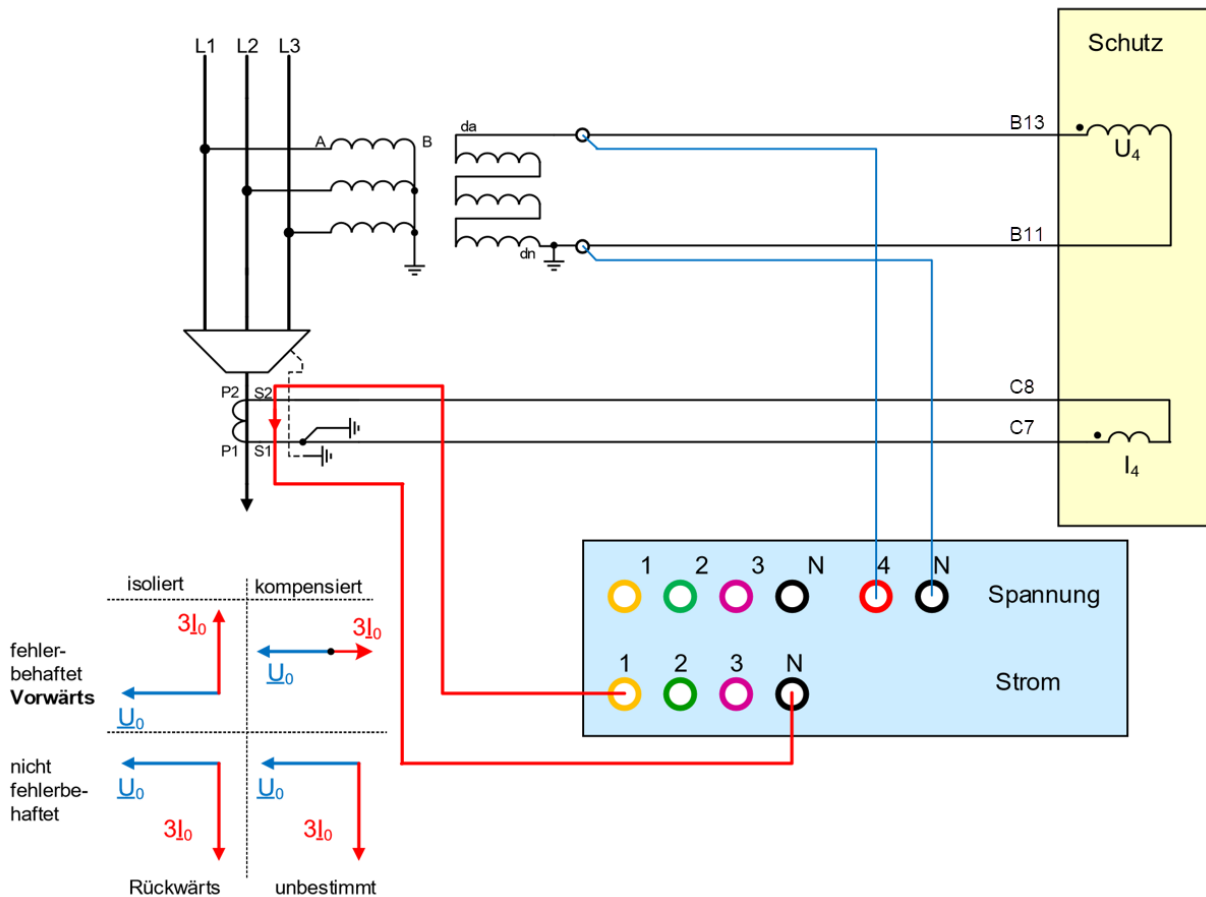


Abbildung 18: Prüfaufbau, Erdstrommessung mittels Kabelumbauwandler (1-phasige Prüfgrößen)

## 1.8 Zusammenfassung

Mit diesem praxisorientierten Applikationspapier steht – neben der Grundlagenbeschreibung - eine Anleitung zum Anschließen und Testen der Erdschlussschutz-Funktion in isolierten und kompensierten Netzen zur Verfügung.

Mit Beispielen werden verschiedene Anschaltvarianten anschaulich erläutert und damit eine Hilfestellung für Inbetriebsetzungsprüfungen geboten.

**Herausgeber**

Siemens AG 2021

Smart Infrastructure  
Digital Grid  
Automation Products  
Humboldtstr. 59  
90459 Nürnberg, Deutschland

[www.siemens.de/siprotec](http://www.siemens.de/siprotec)

Unser Customer Support Center  
unterstützt Sie rund um die Uhr.  
Siemens AG  
Smart Infrastructure – Digital Grid  
Customer Support Center  
+49 911 2155 4466  
E-Mail:  
[energy.automation@siemens.com](mailto:energy.automation@siemens.com)

Für alle Produkte, die IT-Sicherheitsfunktionen der  
OpenSSL beinhalten, gilt Folgendes:

This product includes software developed by the  
OpenSSL Project for use in the OpenSSL Toolkit.  
(<http://www.openssl.org>)

This product includes cryptographic software  
written by Eric Young (eay@cryptsoft.com)

This product includes software written  
by Tim Hudson (tjh@cryptsoft.com)

This product includes software developed  
by Bodo Moeller.