

## Erdschluss in Mittelspannungsnetzen

# Entlastung einer Fehlerstelle durch optimierte Phasenerdung

Die Phasenerdung ist eine bekannte und einfach anzuwendende Technik. Sie wird verwendet, um in Umspannwerken die fehlerhafte Phase einpolig zu erden. Nachteil war bisher, dass drei einpolige Schaltgeräte mit großen Antrieben und somit drei Schaltzellen verwendet werden mussten. Die Maschinen- und Anlagentechnik Dr. Hans A. Becker GmbH hat die Phasenerdung weiterentwickelt und für den praktischen Einsatz optimiert. Dies zeigen erste Anwendungen in einem 10-kV-Netz der Stromnetz Hamburg GmbH.

Die Phasenerdung kann sinnvollerweise in gelöschten und isolierten Mittelspannungsnetzen eingesetzt werden. Im gelöschten Netz tritt bei einem einpoligen Erdfehler aufgrund der Erdkapazitäten der Kabel oder Freileitungen ein kapazitiver Ladestrom auf, der über die Fehlerstelle fließt. Durch den Einsatz einer Erdschlusslöschspule, die in den Sternpunkt des Leistungstransformators oder in den Sternpunkt eines Sternpunktbildners beziehungsweise Erdungstransformators geschaltet wird, fließt im Fall eines Erdfehlers ein induktiver Kompensationsstrom ( $180^\circ$  Phasenlage) über die Fehlerstelle.

Durch genaue Kompensation mit einer Tauchkernerdabschlusslöschspule und einem qualifizierten Kompensationsregler kann der kapazitive Ladestrom auf Null gebracht werden – bei Resonanzabstim-

mung. An der Fehlerstelle bleibt nur der Wattreststrom, der allerdings bei großen Kabelnetzen einige Ampere erreichen kann. Bei Über- oder Unterkompensation fließt ein zusätzlicher Blindstrom über die Fehlerstelle entsprechend des Verstimmungsgrads. Bei isolierten Netzen fließt der gesamte kapazitive Ladestrom einschließlich des Wattreststroms über die Fehlerstelle (**Bild 1**).

Im Allgemeinen beträgt der Wattreststrom in EVU-Netzen rund 2 bis 4 % des kapazitiven Ladestroms, beziehungsweise 6 bis 8 % in Industrienetzen. Der resultierende Scheinstrom kann an der Fehlerstelle deutliche thermische Schädigungen hervorrufen ( $I^2 \times R$ ). Daher ist es bei ausgewählten Anwendungen zielführend, auch diesen Reststrom zu minimieren. Zu berücksichtigen ist dabei, dass im Erdschluss außer der

50-Hz-Komponente auch eine erhebliche 250-Hz-Komponente fließt, die erfahrungsgemäß rund 70 bis 150 % der 50-Hz-Komponente beträgt – im Versorgungsgebiet der Stromnetz Hamburg GmbH rund 10 %.

Die Fehlerstelle wird also insgesamt durch einen 50-Hz-Scheinstrom und einen 250-Hz-Scheinstrom belastet (**Bild 2**).

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten, Restströme an der Fehlerstelle zu kompensieren:

- Reststromkompensation durch Stromrichter
- niederohmiger Nebenschluss durch Erdung der fehlerbehafteten Phase im Umspannwerk – Phasenerdung.

Die Phasenerdung ist eine bekannte und einfach anzuwendende Tech-

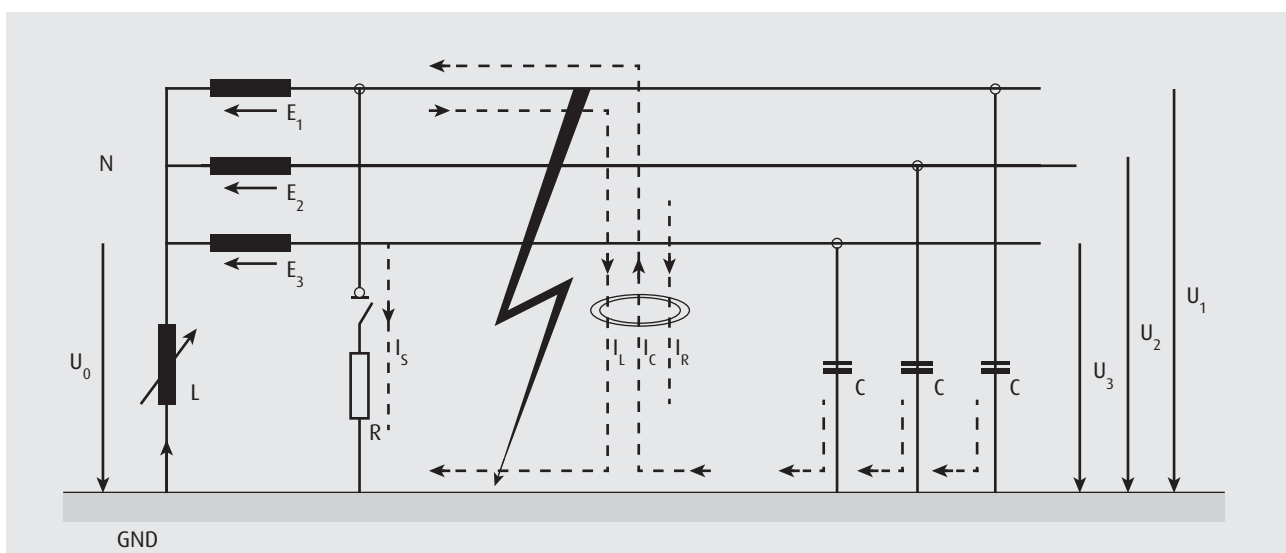


Bild 1. Fehlerströme im gelöschten Netz

nik. Sie wird verwendet, um im Umspannwerk die fehlerhafte Phase einpolig zu erden. Nachteil war bisher, dass drei einpolige Schaltgeräte mit großen Antrieben und somit drei Schaltzellen verwendet werden mussten. Dies führte zu nicht unerheblichen Kosten für die Hardware und aufgrund der drei Schaltzellen zu einem erheblichen Platzbedarf – ebenfalls Zusatzkosten. Darüber hinaus tritt bei der reinen Phasenerdung je nach Laststrom an der Fehlerstelle ein Spannungsabfall auf.

Aufgrund neuer technischer Möglichkeiten hat die mit Maschinen- und Anlagentechnik Dr. Becker GmbH die Phasenerdung weiterentwickelt und für den praktischen Einsatz interessant gemacht. Durch Einsatz sehr kleiner einpoliger Leistungsschalter mit Magnetantrieb konnte der Platzbedarf auf nur ein störlichtbogenfestes Schaltfeld reduziert werden. Zusätzlich erforderlich ist eine Auswahl-schaltung für die fehlerhafte Phase mit Verriegelung und definiertem Einschaltbefehl. Dies wird mit einem digitalen Schutzrelais realisiert – im gegebenen Anwendungsfall mit dem Siprotec 7SJ62 von Siemens.

Somit steht ein System zur Verfügung, das die Fehlerstelle vom Reststrom weitgehend entlastet – und zwar sowohl von der Wirkkomponente als auch von

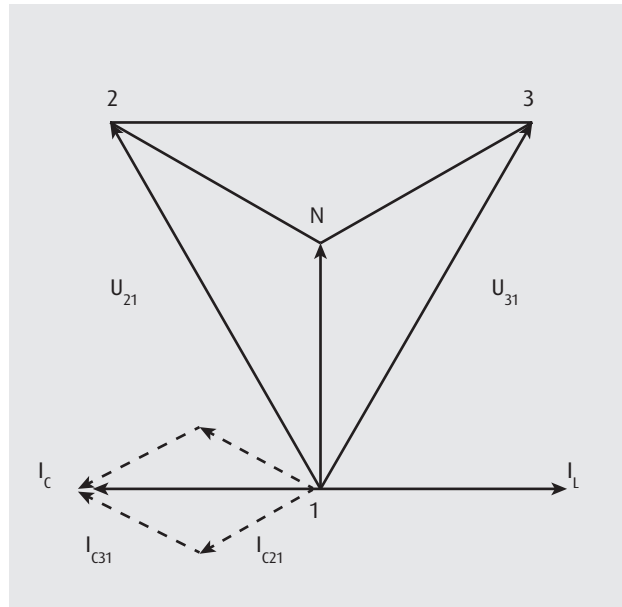


Bild 2. Darstellung der Ströme und Spannungen in einem gelöschten Netz.

der Blindkomponente und im gesamten Frequenzspektrum, also Grundwelle und 250-Hz-Oberschwingung. Durch den Einsatz eines Widerstands von rund 10  $\Omega$  kann mit dieser Schaltungsanordnung auch eine Fehlerortung über einen kurzzeitigen Doppelerdschluss realisiert werden. Zu diesem Zweck wird der Phasenerdungsschalter der fehlerhaften Phase geöffnet und eine gesunde Phase über den Widerstand für 80

bis 100 ms geerdet. Für diese kurze Zeit stellt sich ein definierter »Kurzschlussstrom« ein, der das Schutzrelais der fehlerhaften Phase zur Anregung und die entsprechenden Kurzschlussanzeiger im Mittelspannungsring zur Anzeige bringt. Der Schaltungsablauf kann auch so gestaltet werden, dass die Ortung direkt nach Eintreten des Erdschlusses stattfindet, bevor die Phasenerdung aktiviert wird.



◀ Bild 3. 10-kV-Innenraum-anlage für die Phasenerdung: Steuerschrank mit Schutzrelais 7SJ62, Leistungsschalterteil und Widerstandsteil



Bild 4. Leistungsschalterfeld der Phasenerdungsanlage im Umspannwerk Siemensplatz ▶

### Bedingungen und Anforderungen bei Stromnetz Hamburg

Die Stromnetz Hamburg GmbH betreibt in Hamburg ein ausgedehntes und isoliert betriebenes 10-kV-Netz. Im Erdschlussfall können kapazitive Erdschlussströme bis 150 A auftreten. Diese führen zu erheblichen thermischen Zerstörungen sowie in wenigen Sekunden zu einem Kurzschluss und somit zur Abschaltung des betroffenen Abzweiges.

Um unter den gegebenen Bedingungen einen Weiterbetrieb im Erdschlussfall gewährleisten zu können und die Ausfallzeiten im 10-kV-Netz zu verringern, wurde im Umspannwerk Siemersplatz erstmals in einem Pilotprojekt eine Phasenerdung von mat eingesetzt. Eine zweite Anlage ist mittlerweile im Umspannwerk Rahlstedt in Betrieb.

**Erprobungs- und Optimierungsphase**  
Aufgrund einiger Erdschlussversuche und realer Erdschlüsse wurde die Programmierung der Steuerung optimiert. Die maximale Ansprechzeit der Phasenerdung wurde auf 200 ms reduziert, die Ansprechschwelle der Unsymmetrie von 30 auf 20 % gesenkt.

### Anwendung und erste Betriebserfahrung

Die SNH hat für diese Anwendung eine kompakte, luftisolierte 10-kV-Innenraumanlage gewählt (**Bild 3 bis 6**). Die Erdschlusserfassung und Erkennung

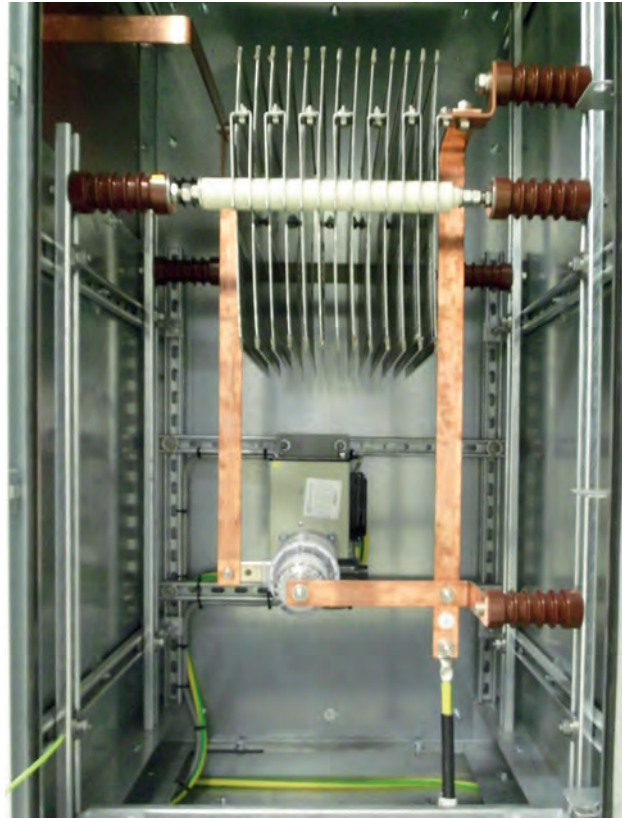


Bild 5. Widerstandsraum der Phasenerdungsanlage im Umspannwerk Siemersplatz

der fehlerhaften Phase findet über das Siprotec 7SJ62 statt. Die Steuerung des erforderlichen Schaltungsablaufs übernimmt ein Programm im CFC-Bereich des Schutzrelais. Nach Eintreten eines Erdschlusses wird die fehlerbehaftete Phase schutztechnisch erkannt und innerhalb

von maximal 200 ms im Umspannwerk geerdet. Es wird durch Fernbefehl eine Erdschlussprüfung durchgeführt, indem die Phasenerdung kurzzeitig geöffnet wird. Liegt nach wie vor ein Erdschluss vor, schaltet sich die Phasenerdung automatisch wieder zu.



Bild 6. Inbetriebsetzung der Phasenerdungsanlage im Umspannwerk Siemersplatz durch mat

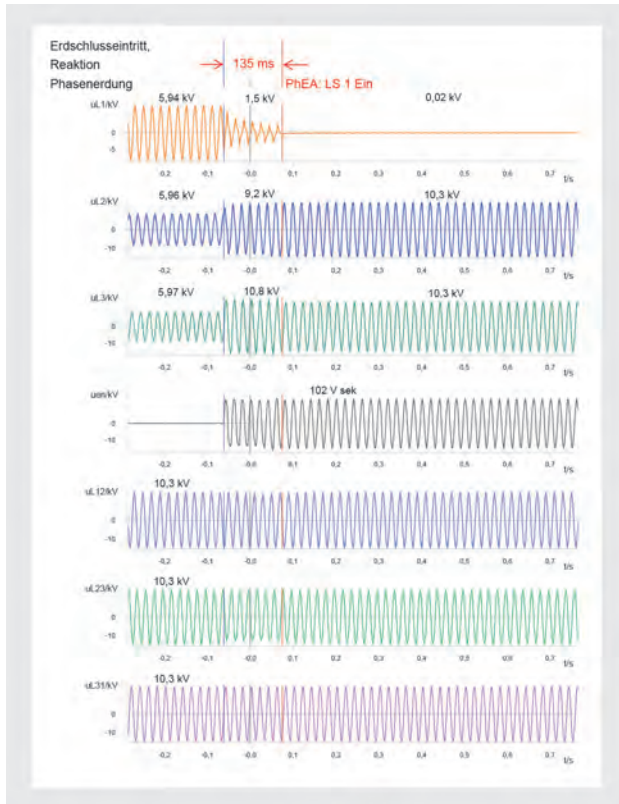


Bild 7. Erdschlusseintritt auf Phase L1 und anschließender Erdung der fehlerhaften Phase

Ist der Fehlerort nicht bekannt, wird dieser durch einen über die Phasenerdungsanlage gezielt eingeleiteten kurzzeitigen Doppelerdschluss geortet. Zu diesem Zweck wird über einen Fernbefehl der Phasenerdungsschalter geöffnet, ein Hochleistungswiderstand über einen Leistungsschalter in den Erdfeld gelegt und eine gesunde Phase über einen Leistungsschalter für rund 90 ms eingelegt.

Es wird also ein kurzzeitiger strombegrenzter Doppelerdschluss erzeugt. Das Schutzrelais des fehlerbehafteten Abgangs sowie die Kurzschlussanzeiger werden angeregt und führen zur direkten Lokalisierung des Fehlers.

**Beschreibung eines Störfalls**

Der praktische Einsatz der Phasenerdungsanlage im Umspannwerk Siemens-

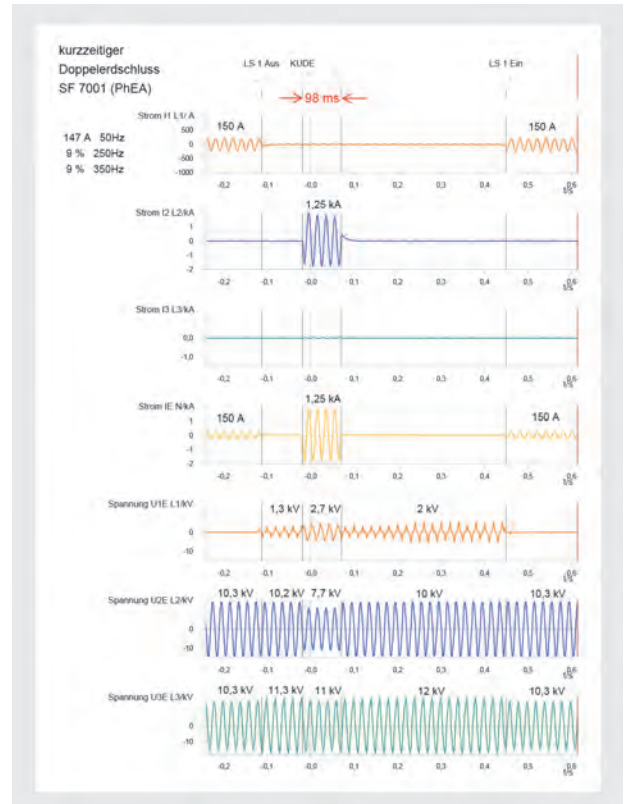


Bild 8. Kurzzeitiger Doppelerdschluss über Phase L2

platz wird im folgenden beispielhaft beschreiben. Um 14:21 Uhr trat ein Erdschluss auf. Rund 135 ms nach Eintritt des Erdschlusses schaltete die Phasenerdungsanlage zu (Bild 7). Durch das Schaltpersonal wurde Zwecks Fehlerortung der kurzzeitige Doppelerdschluss um 15:19 Uhr aktiviert – Zuschaltzeit 89 ms, Kurzzeitstrom 1,25 kA. Die Fehlerstelle ließ sich eindeutig mit dem Kurzschlussanzeiger lokalisieren (Bild 8). Fehlerursache war eine defekte 10-kV-Gussmuffe.

Der Erdschluss konnte bis zur erfolgreichen Freischaltung der fehlerhaften Teilstrecke über rund 2 h gehalten werden. Durch einen Fernbefehl wurde die Phasenerdungsanlage um 16:10 Uhr zurückgesetzt (Bild 9). Die Anlage erkannte den fehlerfreien Betrieb.

Im Ergebnis konnte der Erdschluss eindeutig lokalisiert, gehalten und freigeschaltet werden. Eine Versorgungsunterbrechung wurde vermieden. Die defekte Muffe war freigeschaltet, die Störungssuche war damit abgeschlossen, das Netz war erdschlussfrei (Bild 7 bis 9).

**Mögliche Ausführungsvarianten**

Aufgrund langjähriger Erfahrung im Bereich der Sternpunktbehandlung kann mat verschiedene Varianten liefern. Op-

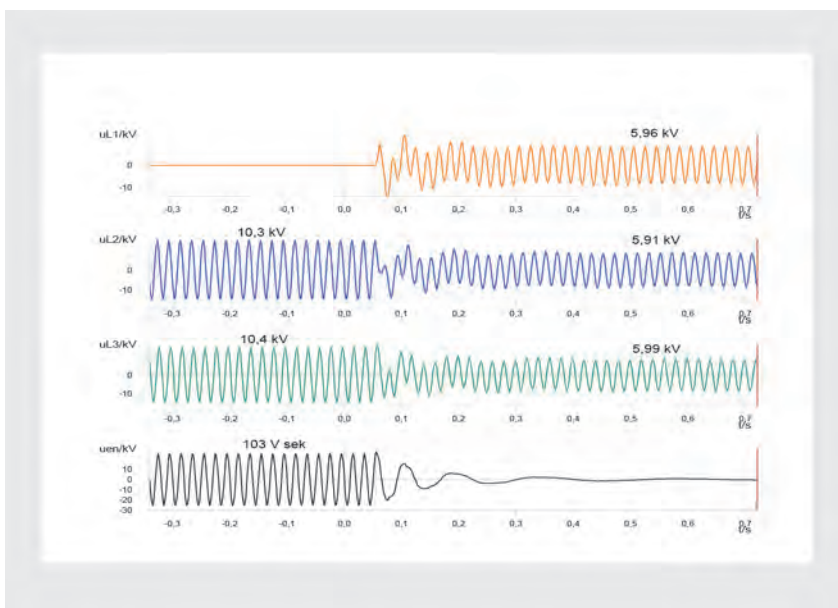


Bild 9. Phasenerdung auf L1 aktiv und folgender Prüfung auf fehlerfreien Betrieb

tionen für die Innenraum- und Freiluftaufstellung sind im Folgenden dargestellt:

- Luftisolierte Innenraumausführung mit Schaltzelle 1 000 mm plus Adapterfeld 300 mm zur Anpassung an beliebige luftisolierte Anlagentypen unabhängig vom Hersteller zur Ankopplung an die Sammelschiene. Der Leistungswiderstand kann dabei als Innenraum oder Freiluftausführung geliefert werden.
- Luftisolierte Schaltzelle für Innenraum ohne Adapterfeld zur direkten Ankopplung an das Einspeisefeld über Kabel. Auch hier kann der Widerstand für Innenraum- oder Freiluftausführung geliefert werden.
- Luftisolierte Freiluftanlage in typgeprüftem Gehäuse mit geschottetem Schalterteil (Schalterteil IP 45, Widerstandsteil IP 33) als kompakte Einheit, die direkt im Bereich des Leistungstransformators/E-Spule im Umspannwerk aufgestellt werden kann.

Weitere Varianten sind möglich und können nach Absprache mit dem Anwender geliefert werden.

### Fazit

Mit der weiterentwickelten Phasenerdungsanlage von mat steht ein preiswertes, flexibles und leistungsfähiges System zur Entlastung der Fehlerstelle zur Verfügung. Es berücksichtigt vor allem die Belange sensibler und sicherheitsrelevanter Netze. Für die beschriebene Schaltungsanordnung – sowohl für gelöschte, als auch isolierte Netze – kann mat auf entsprechende Patente verweisen.

Als Eigentümerin des Stromverteilungsnetzes und der dazugehörigen Netzanlagen sorgt die Stromnetz Hamburg GmbH, ein Unternehmen der Freien und Hansestadt Hamburg, für die sichere und zuverlässige Stromversorgung der Stadt. Über das Netz werden rund 1,1 Mio. Haushalte und Gewerbetreibende mit Strom versorgt. Das Unternehmen stellt für die Stromkunden den Anschluss und für Stromanbieter den Zugang zum Netz zur Verfügung. Durch das Hamburger Stromnetz fließen jährlich rund 12,3 Mrd. kWh Strom.

>> Dipl.-Ing. **Thomas Möller**,  
Projektierung Umspannwerke,  
Stromnetz Hamburg GmbH, Hamburg

Dipl.-Ing. **Uli Schlott**,  
Teamleiter Schutztechnik,  
Stromnetz Hamburg GmbH, Hamburg

Dipl.-Ing. **Marcus Becker**,  
Geschäftsführer,  
mat Maschinen- und Anlagentechnik  
Dr. Becker GmbH, Bargteheide

Dipl.-Ing. **Wolf Becker**,  
Entwicklung,  
mat Maschinen- und Anlagentechnik  
Dr. Becker GmbH, Bargteheide

>> [info@m-a-t.de](mailto:info@m-a-t.de)

>> [www.m-a-t.de](http://www.m-a-t.de)  
[www.stromnetz.hamburg](http://www.stromnetz.hamburg)