

## Info-Brief Nr. 6

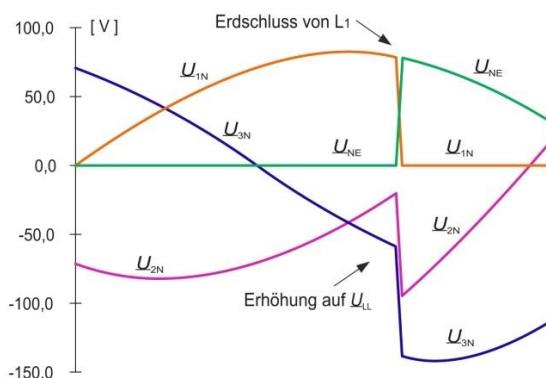
### Erfassung von Erdschlusswischern

Bei Erdschluss eines Leiters laufen mit Erdschlussbeginn drei Vorgänge gleichzeitig ab

- Die Spannung  $\underline{U}_{1E}$  (Leiter-Erde) des vom Erdschluss betroffenen Leiters bricht zusammen; bei sattem Erdschluss geht  $\underline{U}_{1E}$  auf den Wert Null
- die Verlagerungsspannung  $\underline{U}_{NE}$  steigt sprunghaft vom Betriebswert (einige Volt) auf einen höheren Wert an; bei sattem Erdschluss auf  $\underline{U}_{NE} = \frac{U_{\text{primär}}}{\sqrt{3}}$
- die Kapazität  $C_{LE}$  (Leiter-Erde) des erdschlussbehafteten Leiters wird entladen und gleichzeitig wird der Ladezustand der Kapazitäten  $C_{LE}$  der beiden erdschlussfreien Leiter stoßartig durch die sich gleichzeitig verändernde Spannung  $\underline{U}_{1E}$  (maximal auf  $\underline{U}_{LL}$ ) ebenfalls verändert (umgeladen)

#### Verlagerungsspannung

Die Verlagerungsspannung  $\underline{U}_{NE}$  tritt unabhängig von der örtlichen Lage des Erdschlusses im gesamten galvanisch zusammenhängenden Netz nahezu gleichartig auf und hat die gleiche Kurvenform und Frequenz wie die Netzspannung. Die Verlagerungsspannung  $\underline{U}_{NE}$  ist während der gesamten Dauer des Erdschlusses vorhanden.



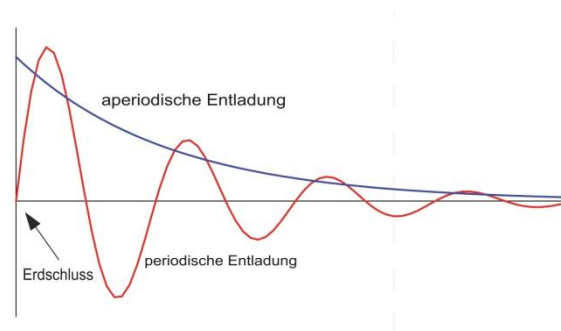
**Bild 01** Spannungsverlauf vor und nach einem Erdschluss

#### Entladung von $C_{LE}$ der geerdeten Leiter

Bei Erdschluss eines Leiters entladen sich die Kapazitäten  $C_{LE}$  aller Leitungen des galvanisch zusammenhängenden Netzes über die Erdschlussstelle zur Erde. Dieser Vorgang tritt nur einmalig und sofort nach Beginn des Erdschlusses auf und ist nach kurzer Zeit abgeschlossen.

Der zeitliche Verlauf dieses Entladestromes ist von den Daten der Leitung abhängig. Das Verhältnis des ohmschen

Widerstandes zur Induktivität der Leitung bestimmt die Eigenschaften des aus diesen Elementen gebildeten Schwingkreises. Ist die Induktivität relativ klein, dann ist der Entladestrom ein aperiodischer, stetig abklingender Gleichstrom; bei größeren Werten der Induktivität ist es ein periodisch abklingender Wechselstrom.



**Bild 02** Typische Verläufe des Entladestromes

Die Amplitude dieses Stromstoßes ist abhängig vom Zeitpunkt des Erdschlusseintrittes. Fällt dieser mit dem Maximum der Halbwelle von  $\underline{U}_{LN}$  zusammen, erreicht auch die Anfangsamplitude des Stromstoßes den Höchstwert und sie geht gegen Null, wenn der Erdschluss während des Nulldurchganges eintritt.

#### Umladung von $C_{LE}$ der erdschlussfreien Leiter

An den Kapazitäten  $C_{LE}$  aller erdschlussfreien Leiter steht mit Beginn des Erdschlusses die sprunghaft geänderte Spannung  $\underline{U}_{LN}$  (maximal auf  $\underline{U}_{LL}$ ) an, die eine ebenso sprunghafte Änderung des Ladezustandes von  $C_{LE}$  und somit ebenfalls einen Einschwingvorgang bewirkt. Alle Ströme fließen über die Fehlerstelle zur Erde und haben deshalb in jeder Leitung die gleiche Richtung.

#### Zündschwingung

Die bei der Ent- und Umladung der Kapazitäten  $C_{LE}$  fließenden Ströme summieren (überlagern) sich. Dieser Vorgang tritt nur einmalig bei Beginn eines jeden Erdschlusses auf, ist allgemein nach 0,5 s ... 3 s beendet und wird als Zündschwingung bezeichnet. Bei einem Erdschlusswischer hat dieser Stromstoß im Extremfall eine Dauer von weniger als einer Halbwelle.

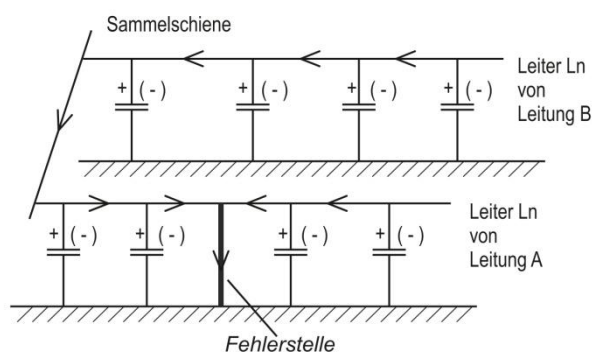
Die Frequenzen der Zündschwingungen sind unterschiedlich. Die Erfahrungswerte liegen zwischen 800 Hz und 2000 Hz für Freileitungsnetze und bei einigen hundert Hertz für Kabelnetze.

## Erdschlussstrom

Nach dem Ende der Zündschwingung fließt bei Dauererdschluss durch alle Leiter-Erdkapazitäten der erdschlussfreien Leiter ein Wechselstrom mit Netzfrequenz, der der Spannung  $\underline{U}_{LN}$  um  $90^\circ$  vorausleitet (kapazitiver Strom) und als Erdschlussstrom  $I_E$  bezeichnet wird.

## Richtung des Entladestromes

Der bei der Entladung der Kapazitäten entstehende Stromstoß fließt von allen Leitungen stets zur Erdschlussstelle. Die Richtung der Entladeströme entlang der Leitung vor der Erdschlussstelle ist jeweils entgegengesetzt der Richtung der Ströme entlang der Leitung hinter der Erdschlussstelle, weil alle Ströme zu dieser hin fließen.



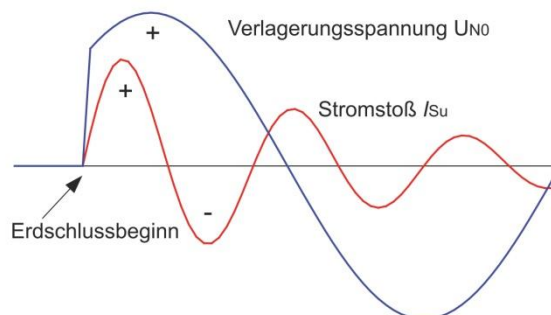
**Bild 03** Richtung des Entladestromes

Zur Ermittlung der Lage der Erdschlussstelle in Bezug auf den Ort des Beobachters (der Richtung), ist somit zunächst eine Bestimmungsgröße vorhanden; sie ist jedoch für die eindeutige Ermittlung der Stromflussrichtung allein noch nicht ausreichend. Bei der Verwendung üblicher Messmittel hat nämlich der angezeigte Messwert eines Wechselstromes unabhängig von der Stromflussrichtung stets ein positives Vorzeichen, so dass eine zweite Bestimmungsgröße für die eindeutige Richtungsermittlung erforderlich ist.

Als zweite Bestimmungsgröße wird die Verlagerungsspannung verwendet. Zwischen dem Entladestrom und der Verlagerungsspannung besteht eine eindeutige, direkte Beziehung. Nach dem Erdschlusseintritt verläuft die Verlagerungsspannung in direkter Fortsetzung des bisherigen Verlaufes der dann auf Null abgesunkenen Spannung  $\underline{U}_{LN}$ , so dass mindestens die erste Halbwelle des Entladestromes und die zugehörigen Momentanwerte der Verlagerungsspannung stets das gleiche Vorzeichen haben (vergl. Bild 04).

Der Stromstoß der von der Ladungsänderung (Umladung) der beiden Kapazitäten der erdschlussfreien Leiter herührt, ist eine direkte Folge der sprunghaft geänderten Spannungen  $\underline{U}_{LN}$ . Die Verlagerungsspannung steht wiederum mit diesen beiden Spannungen in einer festen Beziehung und ermöglicht dadurch eine eindeutige Richtungsbestimmung durch den Vergleich der Polarität der beiden

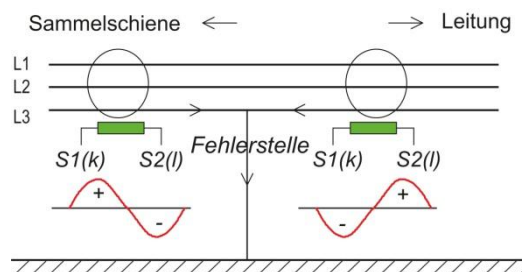
Momentanwerte von Stromstoß und Verlagerungsspannung zum jeweils gleichen Zeitpunkt, d.h. in einem festgelegten Zeitfenster nahezu sofort nach Beginn des Erdschlusses.



**Bild 04** Verlagerungsspannung und Stromstoß

## Ort des Erdschlusses (Suchrichtung)

Für die Richtung des Erdschlussstromes (Summenstromes) in Bezug auf den Beobachtungsort gilt die Vereinbarung: wenn zum Vergleichszeitpunkt die Momentanwerte des Stromstoßes und der Verlagerungsspannung die gleiche Polarität haben, liegt der Erdschluss in Richtung Leitung; bei unterschiedlicher Polarität beider Größen in Richtung Sammelschiene.



**Bild 05** Ortsbestimmung des Erdschlusses

Während die Verlagerungsspannung mit Amplitude und Winkel (gegen die x - Achse) im gesamten Netz etwa gleich ist, ist das Vorzeichen des Stromstoßes auf der Sekundärseite der Stromwandler an den Klemmen k und l abhängig vom Ort der Erdschlussstelle.

Alle Stromwandler werden stets in Richtung S1(k) – S2(l) (Erzeuger-Verbraucher) eingebaut; der Stromstoß durchfließt somit alle Stromwandler die vor der Erdschlussstelle liegen in Richtung S1(k) – S2(l) (von der Sammelschiene zur Erdschlussstelle) und alle Stromwandler die nach der Erdschlussstelle liegen in Richtung S1(l) – S2(k) (von der Leitung zur Erdschlussstelle).

Die umgekehrte Stromflussrichtung bewirkt eine Änderung der Phasenlage des Stromes von  $180^\circ$  und damit einen Wechsel des Vorzeichens des jeweiligen Momentanwertes des Stromstoßes an den Klemmen des Stromwandlers.

## Erfassung der Vergleichsgrößen

Der Stromstoß (Zündschwingung) ist den Lastströmen der Leitungen überlagert und muss deshalb für die Auswertung von diesen getrennt werden. Diese Trennung lässt sich durch eine Summierung der drei Leiterströme erreichen. (Infobrief 05: Summierung von Wechselströmen)

Die Verlagerungsspannung wird üblicherweise über die Hilfswicklungen der Spannungswandler erfasst. (Infobrief 06: Verlagerungsspannung).

Das Vorzeichen aus dem Produkt oder das Ergebnis eines anderen Vergleiches der beiden (gepolten) Größen gibt die Richtung des Erdschlussstromes an.

## Vergleichskriterien

Der Vergleich setzt festgelegte Mindestamplituden des Stromes und der Spannung voraus, weil eine Verlagerungsspannung auch durch Unsymmetrien im Netz hervorgerufen wird und kurzzeitige Stromstöße auch andere Ursachen als einen Erdschluss haben können. Ebenso ist ein Vergleich nicht möglich, wenn der Erdschluss im Bereich des Nulldurchganges der Spannung  $U_{LN}$  eintritt. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass derartige Fälle nahezu niemals eintreten.

Um Unsicherheiten durch zu kleine Amplituden oder auch Störspannungen zu vermeiden, muss der Vergleich etwas verzögert in einem schmalen Zeitabschnitt nach Beginn der Zündschwingung beginnen und noch deutlich vor Ablauf der ersten Halbwelle beendet sein.

## Erdschlusswischer-Relais

Zur Anpassung an die jeweiligen Netzdaten und zur Bewertung der erfassten Erdschlüsse müssen Erdschlusswischer-Relais vielfältige Merkmale aufweisen.

### Ansprechempfindlichkeit (Mindestwert der Amplitude)

Der Ansprechwert der Verlagerungsspannung und des Summenstromes müssen einstellbar sein, um falsche Meldungen durch Störspannungen zu vermeiden

### Minstdauer des Erdschlusses, Verzögerung der Meldungsausgabe

Es muss möglich sein eine Fehlermeldung entweder unverzögert und unabhängig von der Erdschlussdauer oder nur dann auszugeben, wenn die Erdschlussdauer eine wählbare Verzögerungszeit überschreitet. Nach einer Erdschlussdauer die kürzer ist als die gewählte Verzögerungszeit, muss der neutrale Ausgangszustand automatisch wieder hergestellt werden.

### Meldungsauswahl Leitung/Sammelschiene

Erdschlusswischer-Meldungen für die Richtung Sammelschiene müssen freigegeben oder unterdrückt werden können.

### Anzeige des jeweils letzten Erdschlusswischers

Bei jedem erneuten Erdschlusswischer, verbunden mit wechselnder Richtung des Erdschlussstromes, muss auch die Anzeige wechseln, ohne dass vorher das Relais von Hand oder durch ein Signal zurückgestellt wurde. (nachtriggerbar)

### Anzeige des ersten erfassten Erdschlusswischers

Die Meldung bleibt nach Eintritt des erstmaligen Erdschlusswischers solange gespeichert bis diese Meldung quittiert wird; nachfolgende Erdschlusswischer werden nicht gemeldet. (nicht nachtriggerbar)

### Dauer der Meldung, Rücksetzung

Die Meldung muss solange bestehen bleiben, bis sie durch einen Befehl (Hand oder externes Signal) oder automatisch nach einer festgelegten Zeitspanne wieder gelöscht wird.

*Verfasser: Helmut Karger*

*Die Reihe wird fortgesetzt.*

*Fehlende Info-Briefe liefern wir Ihnen jederzeit gerne nach.*

*Ausgabe: 03-2013 / I006-1-D-1-001-04*