

Info-Brief Nr. 17

Wischerrelais für hochohmige, intermittierende und wiederzündende Erdschlüsse (Teil 1)

Die Statistik zeigt, dass Erdschlüsse einen großen Anteil der Netzfehler ausmachen. Konventionelle Relais sind nur für niederohmige Fehler unter stationären Bedingungen entwickelt worden. Sie sind weder für hochohmige Erdschlüsse, die besonders in ländlichen Netzen mit Freileitungen auftreten, noch für wiederzündende Erdschlüsse, die vor allem in kompensierten Kabelnetzen auftreten, geeignet. Als Folge wird der Erdschluss sehr oft gar nicht oder es wird ein falscher Abgang als der fehlerhafte erkannt. Dies erhöht gewaltig die benötigte Zeit bis zur Lokalisierung des Erdschlusses. Auf der anderen Seite wird der effektive Schutz des Netzes im deregulierten Markt immer wichtiger.

In diesem Infobrief wird ein neuer Algorithmus zur Erkennung von hochohmigen Erdschlüssen bis in den Bereich von einigen kOhm und dessen Vorteile vorgestellt.

GRUNDLAGEN DES ERDSCHLUSSES

Das Verhalten eines einpoligen Erdschlusses kann durch Überlagerung von drei unterschiedliche Vorgänge beschrieben werden. Alle drei Vorgänge beginnen zwar zum gleichen Zeitpunkt, besitzen aber eine unterschiedliche Dauer.

Die drei Vorgänge sind:

- Entladung des fehlerhaften Leiters über die Erde
- Aufladung der beiden gesunden Leiter über die Erde
- Stationärer Zustand des Erdschlusses

Die Erläuterung der drei Vorgänge erfolgt an Hand des im Bild 1 dargestellten Netzwerkes mit drei Abgängen (A, B und C) und einem Erdschluss im Leiter 1 des Abganges A

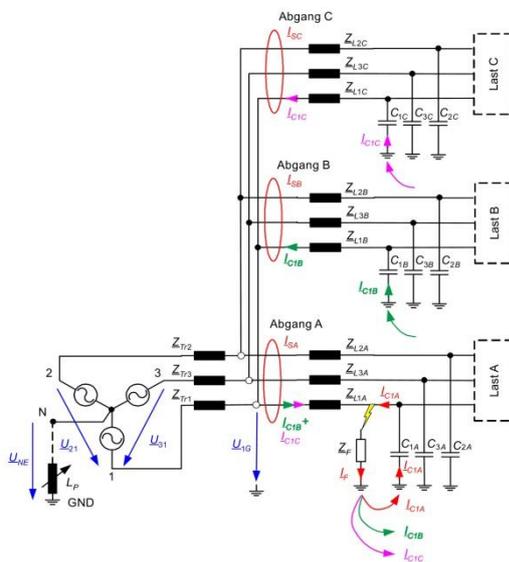


Bild 1 Entladung des fehlerhaften Leiters über die Erde

Die Leitungen können als verteilte Kettenleiter mit einer komplexen Serienimpedanz Z_{LXX} und einer Leiter-Erde-Kapazität C_{XX} betrachtet werden. Die größte Wahrscheinlichkeit für die erste Zündung des Lichtbogens ist in der Nähe des Maximums der Leiter-Erde-Spannung U_{1E} . Zu diesem Zeitpunkt ist auch die Ladung am Leiter am größten. Die Entladung des Leiters 1 beginnt an der Fehlerstelle und breitet sich als Welle in beide Richtungen zu den Enden des Leiters 1 aus. Die Ausbreitung der Welle zu den beiden gesunden Leitern wird dadurch blockiert. Auch der Einfluss einer Petersen-Spule wird dadurch unterdrückt. Vielmehr erfolgt eine Reflexion der Welle an den Enden des Leiters bzw. an jeder Stelle mit einer Änderung des Wellenwiderstandes, z.B. im Umspannwerk oder an einem Verteilpunkt mit einem Übergang von einer Leitung auf zwei oder mehrere. Diese Reflexion ist als hochfrequente Schwingung sowohl in der Nullspannung als auch im Nullstrom erkennbar.

Wichtige Parameter für das Verhalten der Entladung sind:

- Leiter-Erde-Kapazität des Leiters 1
- Ladezustand der Leiter-Erde-Kapazität vor der ersten Zündung des Lichtbogens
- Längsimpedanz Z_L des Leiters 1 im fehlerhaften Abgang und in den gesunden Abgängen
- Impedanz Z_F an der Fehlerstelle, die auch den Erdwiderstand enthält.

Die Entlade-Frequenz ist im Wesentlichen von der Serienimpedanz und der Leiter-Erde-Kapazität, die in erster Näherung proportional zur Leiterlänge ist, abhängig. Die Entlade-Frequenz ist höher für kleine Netzwerke und ist niedriger für große Netze. Üblicherweise liegt die Entlade-Frequenz im Bereich über 10 kHz.

Aufladung der beiden gesunden Leiter

Als Folge der Entladung des fehlerhaften Leiters wird das gleichseitige Spannungsdreieck zerstört und die Spannung U_{1E} ist mehr oder weniger Null (Bild 2.b).

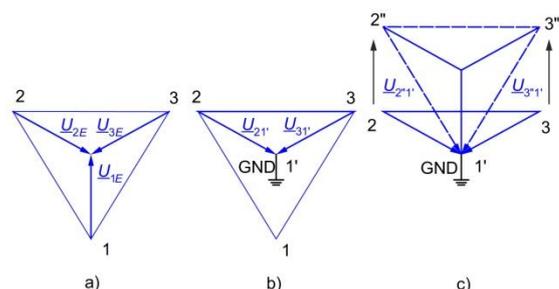


Bild 2 Spannung während des Aufladevorganges

Da der Einspeisetrafo weiterhin ein symmetrisches Drehstromsystem liefert, werden die beiden gesunden Leiter auf die verkettete Spannung aufgeladen (Bild 2.c).

Im Bild 3 ist der Aufladevorgang für ein Netz mit drei Abgängen im Detail dargestellt.

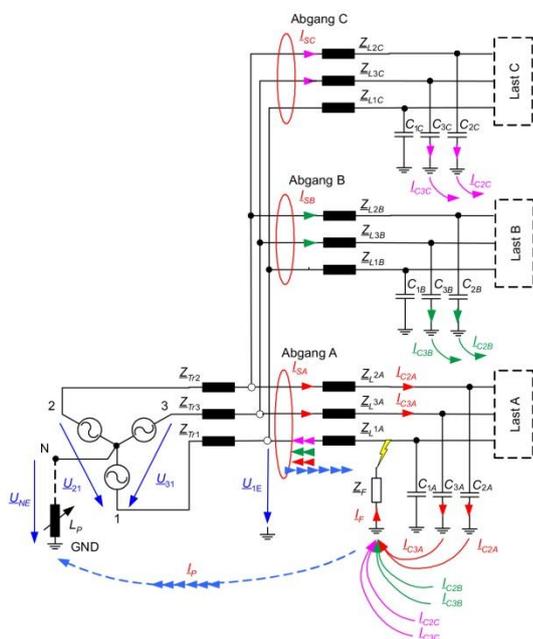


Bild 3 Aufladevorgang der beiden gesunden Leiter

Wichtige Parameter für das Verhalten des Aufladevorganges sind:

- Leiter-Erde-Kapazität des Leiters 2 und Leiters 3
- Ladezustand dieser Leiter-Erde-Kapazitäten vor der ersten Zündung des Lichtbogens
- Ladespannung U_{21} und U_{31}
- Streuinduktivität des Einspeisetrafos
- Längsimpedanz Z_L der Leitungen
- Impedanz Z_F an der Fehlerstelle, inklusive dem Erdwiderstand.

In erster Näherung können die Verteiltransformatoren bzw. die Lasten vernachlässigt werden, da sie relativ hochohmig sind. Die Wirklast des Verbrauchers wirkt sich als zusätzliche Bedämpfung der Aufladeschwingung aus. Wenn der Verteiltrafo im Leerlauf betrieben, so wird nur seine sehr hochohmige Hauptinduktivität wirksam.

Der Einfluss der Petersen-Spule kann vernachlässigt werden, da die Induktivität der Petersen-Spule wesentlich höher ist als die Streuinduktivität des Trafos.

Für die Beschreibung des Aufladevorganges der beiden gesunden Leiter kann die Ersatzschaltung von Bild 4 verwendet werden.

Für niederohmige Erdschlüsse ($Z_F \ll$) kann die Aufladeschwingung mit der Gleichung (1) angenähert werden:

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{L_{eq} C_{eq}}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{3 L_{Tr} C_{2E}}} \quad (1)$$

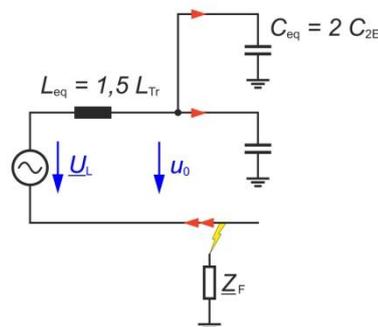


Bild 4 Ersatzschaltung für den Aufladevorgang

Üblicherweise liegt die Aufladefrequenz f_c im Bereich von 100 Hz bis zu einigen kHz.

Mit Bild 3 können die folgenden Aussagen getroffen werden:

1. Zwei kapazitive Ladeströme fließen in einen gesunden Abgang hinein. Diese Ströme können als Nullstrom gemessen werden. Die Größe des Nullstromes ist proportional zur Leiter-Erde-Kapazität dieses Abganges.
2. Die Summe der beiden kapazitiven Ladeströme der gesunden Abgänge (B und C) muss über die Fehlerstelle fließen.
3. Der Ladestrom des erdschlussbehafteten Abganges (A) fließt über die Fehlerstelle und in der Phase 1 zurück zum Einspeisetrafo. Als Folge kann dieser Ladestrom mit der Nullstrommessung nicht erfasst werden. Die Summe beider Ströme ist Null.
4. Der Nullstrom des erdschlussbehafteten Abganges ist die Summe der Ladeströme aller gesunden Abgänge aber mit umgekehrter Richtung. Anstelle eines kapazitiven Ladestromes wird ein „induktiver“ Ladestrom gemessen.
5. In einem kompensierten Netz erfolgt zusätzlich eine Überlagerung mit dem Strom durch die Petersen-Spule. Die Auswirkung ist allerdings am Beginn der Zündung sehr klein.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Relais im erdschlussbehafteten Abgang die Summe der kapazitiven Abgänge der gesunden Abgänge misst und dass dieser Strom eine umgekehrte Richtung hat.

Fortsetzung des Themas in Teil 2 / Info-Brief 18
Verfasser: Gernot Druml

Die Reihe wird fortgesetzt.
Fehlende Info-Briefe liefern wir Ihnen jederzeit gerne nach.

Ausgabe: 03-2013 / I017-1-D-1-001-04.docx