

Mittelspannungsnetzstrukturen, Schutztechnik und Smart Grids

Über viele Jahre gewachsene und modifizierte Mittelspannungsnetze stellen hohe Anforderungen an die Betriebsführung und die Schutztechnik. Mit der Entwicklung und Einführung von „Smart Grids“ eröffnen sich der Schutztechnik Optionen, die deren Funktionalität im Fehlerfall verbessern können. Der Beitrag skizziert schutztechnische Lösungen für den Kurzschlusschutz und macht Vorschläge für die Netzplanung.

Robert Fenkl

Hagen Grünert

Die über Jahrzehnte gewachsenen und einer großen Modifizierungsdynamik unterliegenden Mittelspannungsnetze besitzen zum Teil Netzstrukturen, die mit vermaschten Netzen vergleichbar, jedoch aufgrund ihrer Inhomogenität hinsichtlich der Betriebsführung und der Schutztechnik als komplexer einzustufen sind. Der kostenoptimierte Anschluss erneuerbarer Stromerzeuger verkompliziert diese Netzstrukturen zusätzlich, insofern der Netzanschlusspunkt nicht der Netzhaupteinspeisung entspricht.

Vom Netzschutz wird ein schnelles und selektives Abschaltverhalten im Fehlerfall erwartet. In der Mittelspannung wurden bisher Signalverbindungen zum Zwecke der schutztechnischen Kommunikation nur auf Direktverbindungen zur Anwendung gebracht. Mit der Entwicklung und Einführung von „Smart Grids“ eröffnen sich der Schutztechnik Optionen, die deren Funktionalität im Fehlerfall entscheidend verbessern können.

Fehlerverhalten analysiert

Die Verfasser haben im Rahmen ihrer Tätigkeit bei den Stadt-

werken und der schutztechnischen Beratung verschiedener Energieversorgungsunternehmen sowie der Gutachtertätigkeit das Fehlerverhalten in Kabelnetzen näher analysiert. Dabei wurde ein nicht sinusförmiger zeitlicher Verlauf der Messgrößen beobachtet, welcher beim einpoligen Fehler besondere Ausprägungen hat. Dieses Verhalten gilt für niederohmig geerdete Netze und für Netze mit Resonanzsternpunktterdung gleicher-

maßen. Als Ursache wird das förmliche „Wegbrennen“ des Schirms an der Fehlerstelle sowie der Einfluss des Silikons in sanierten PE-Kabeln gesehen. Bei sanierten Kabeln wurde der nicht sinusförmige Verlauf noch ausgeprägter als in Bild 5 dargestellt beobachtet. Bild 1 und Bild 2 zeigen die um die Fehlerstelle flächig zerstörte Schirmung. Die Konsequenzen sind in der Regel ein nicht erwartungsgemäßes Verhalten der Schutztechnik infolge kaskadierter Auslösungen und folglich längerer Fehlerstandzeiten sowie eine erschwerte Fehlerortung durch mehrdeutige Richtungsentscheide.

Der Beitrag skizziert schutztechnische Lösungen für den Kurzschlusschutz zur Beherrschung derartiger Kabelfehler und gibt Vorschläge für die Netzplanung zur Entwicklung einfacher und übersichtlicher Netzstrukturen, welche generell die notwendige Bedingung für ein funktionierendes Schutzsystem darstellen.

Netzfehler mit Lichtbogen

Netzfehler, infolge des Verlustes der Isolationseigenschaften, sind in der Regel immer durch einen Lichtbogen geprägt. Zunächst seien die Hintergründe für die eingeschränkte Funktion der in Mittelspannungsnetzen überwiegend verwendeten Distanzschutzrelais anhand eines realen Netzfehlers erläutert.

Der im Schutzbereich der ersten Zone liegende Kurzschluss (Bild 3), wurde vom Schutzrelais (Zmess) weit außerhalb der für eine schnelle Fehlerabschaltung benutzten Zonen 1 und 2 sowie der üblicherweise auf 120 % bis 150 % eingestellten Übergreifzone (Bild 4) eingemessen und führte zwangsläufig zu einer langen Fehlerabschaltzeit.

Die Analyse der Messgrößen zeigt ein ausgeprägtes Zündverhalten des

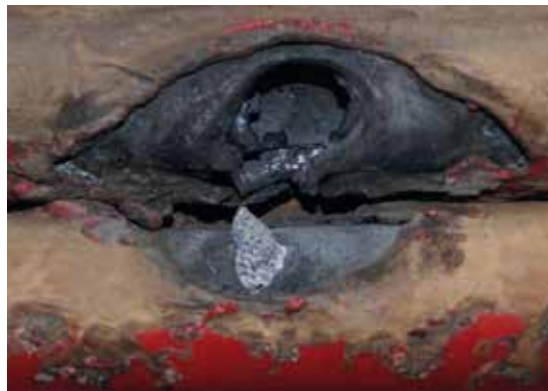


Bild 1. Fehlerstelle eines 20-kV-Kabelfehlers



Bild 2. Fehlerstelle eines 20-kV-Muffenfehlers

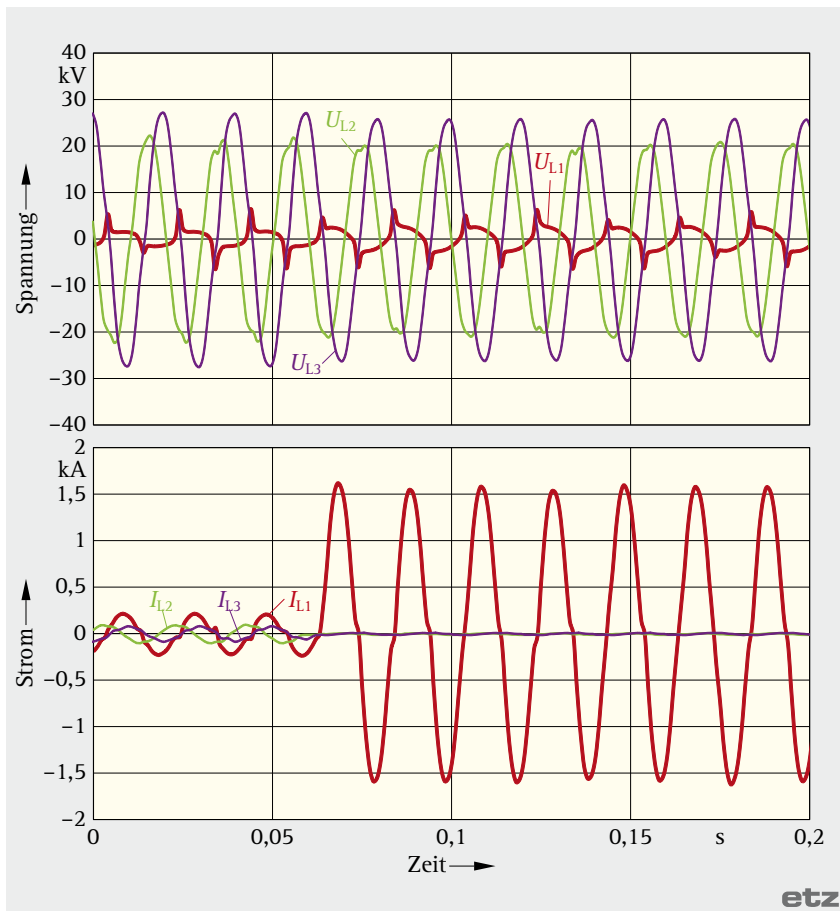


Bild 3. Einpoliger Fehler im Nospe-Netz

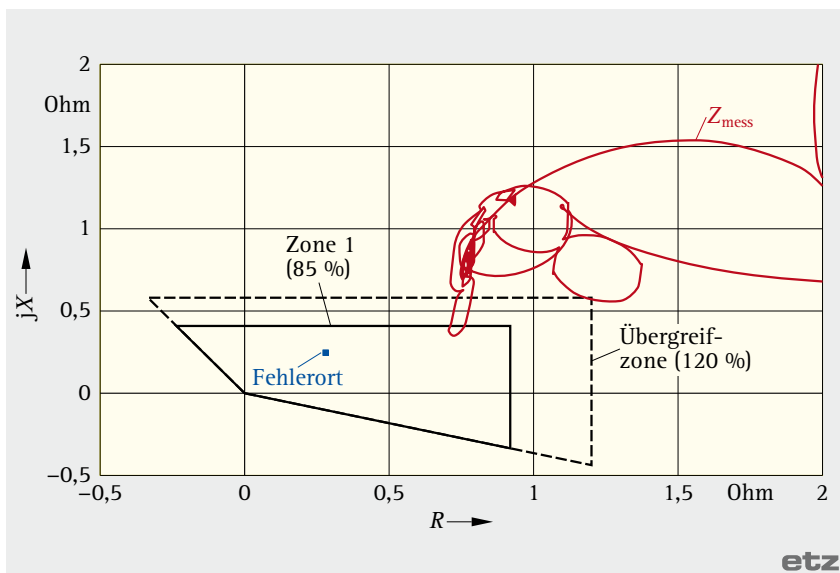


Bild 4. Impedanzebene des Distanzschutzes

Lichtbogens. Die Zündspitzen führen besonders zur Verfälschung des gemessenen X-Wertes, welcher die Basis der selektiven Staffelung bildet. Der Einfluss des Lichtbogens wird im Berechnungsmodell des Distanzschutzes, nur in Form der erweiterten R-Reichweiteneinstellung berücksichtigt.

Die Diagramme in Bild 5 zeigen neben den gemessenen Signalverläufen auch die um die Zündspitzen eliminierten Größen (*mod). Die Impedanzberechnung mit diesen modifizierten Signalen ergibt die korrekte Fehlerposition (Reaktanz). Die Algorithmen der heute verfügbaren digitalen

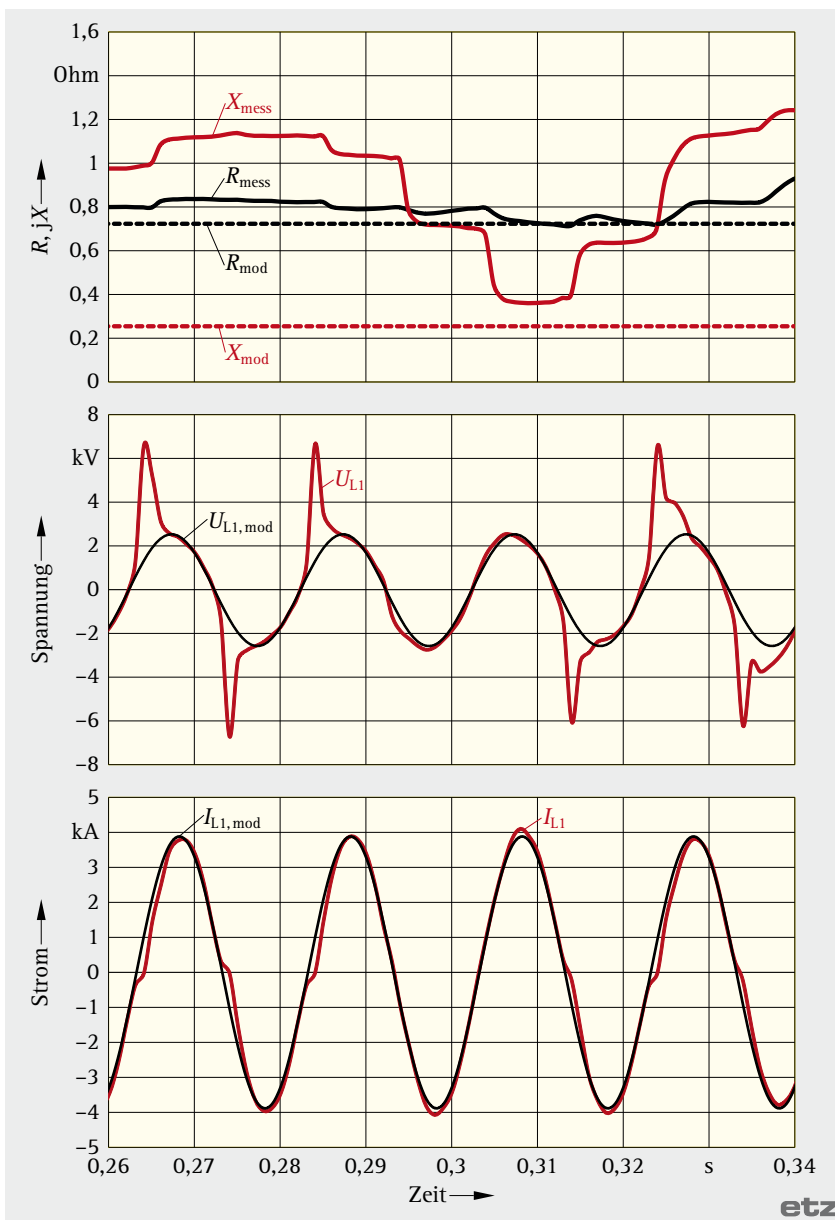


Bild 5. Kurzschlussgrößen und R-X-Verläufe

Dipl.-Ing. Robert Fenkl ist als Leiter der Abteilung Netzführung Strom/Gas/Wasser für die Erlanger Stadtwerke AG tätig.

E-Mail: robert.fenkl@estw.de



Dipl.-Ing. Hagen Grünert ist Geschäftsführer der GSC Power Engineering GmbH in Erlangen.

E-Mail: hagen.gruenert@gscpower.com



Distanzschutzgeräte besitzen jedoch nicht die Fähigkeit, den sinusförmigen Signalverlauf unter den beschriebenen Bedingungen zu rekonstruieren. Daher erweisen sich Überlegungen zur Kompensation der bedingten Falschmessung als notwendig, um ein verbessertes Schutzsystemverhalten zu erreichen.

Typische Netzstruktur

Neben den möglichen schutztechnischen Modifikationen sollten jedoch immer vorrangig die Netzstrukturen auf Verbesserungspotential untersucht werden.

Bild 6 zeigt eine leider häufig anzufindende Netzform mit mehreren parallelen und mehrseitig gespeisten,

schaltbaren Speisewegen. Da viele Verbindungen Versorgungs- und Verteilungsfunktion gleichermaßen haben, kann der Differentialschutz nicht verwendet werden, was folglich den Distanzschutz als Hauptschutzsystem prädestiniert. Dieses Schutzkonzept funktioniert, insofern die Kabeldaten gültig und die Messgrößen sinusförmig sind.

Vorstehend beschriebene Fehlercharakteristika stellen jedoch die Verwendung des Schutzprinzips „Impedanzmessung“ mit unabhängigen Zonen unter derartigen Umständen infrage. Da die Fehlerabschaltung nun durch die gerichteten bzw. ungerichteten Endzeiten erfolgen muss, wird der Einfluss der tiefen und vermaschten Netzstrukturen deutlich. Die dargestellten drei Schutzebenen erfordern lange Auslösezeiten, welche bei kaskadierter Anregung sogar zur Abschaltung der Einspeisung führen können.

Da sich die Umsetzung von Netzauftrennungen und Vereinfachungen über einen langen Zeitraum strecken wird, stehen zeitnah realisierbare Lösungen im Fokus. Letztendlich erwächst der Anspruch nach einem, ähnlich wie in Hochspannungsnetzen praktizierten, selektiven und schnellen Schutzsystems für 100 % des Schutzobjekts. Die Distanzrelais bieten neben dem Schutz der Kabelverbindungen einen einfach zu realisierenden Anlagenschutz, dessen Notwendigkeit aus der allgemein üblichen maximalen Störlichtbogendauer von 1 s resultiert, und sind daher nach wie vor notwendig.

Die schnelle Fehlerklärung für Kurzschlüsse auf den Kabelverbindungen lässt sich durch die Einführung eines Signalvergleichsschutzes erreichen. Das, zweckmäßigerweise, nach dem Freigabeverfahren arbeitende Schutzsystem, kann als Richtungsvergleichsschutz oder als Signalvergleichsschutz mit Benutzung einer Übergreifstufe ausgeführt werden. Bei dem Ansatz mit Übergreifstufe ist es wichtig, die allgemein übliche Strategie der Reichweite von 120 % bis 150 % der maximalen Schutzobjektreaktanz zu verlassen und vielmehr eine maximal notwendige Reichweite einzustellen, die jedoch ein Übergreifen auf unterlagerte Spannungsebenen ausschließt. Sendesignalverlänge-

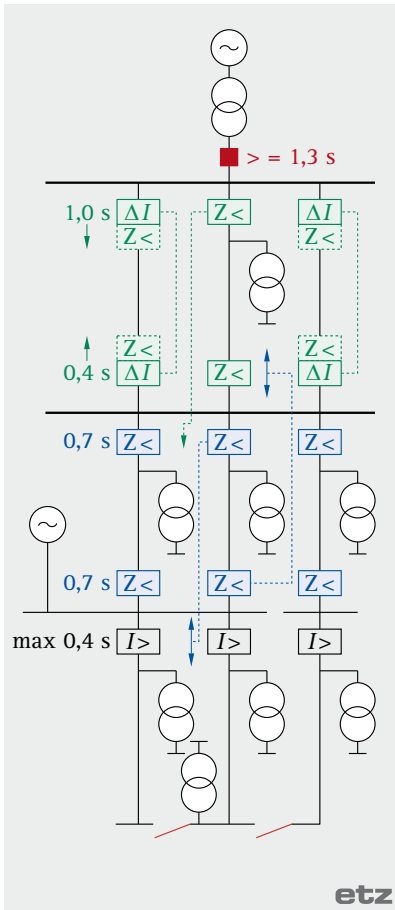


Bild 6. Typische Mittelspannungsnetzstruktur

und Echofunktion gewährleisten einen Schutzbereich von 100 %.

Die nach dem Sperrverfahren arbeitenden Funktionen Streckenschutz oder GS-Schleife erfüllen die Anforderungen ebenfalls, sind jedoch wegen der begrenzten Übertragungsdis-

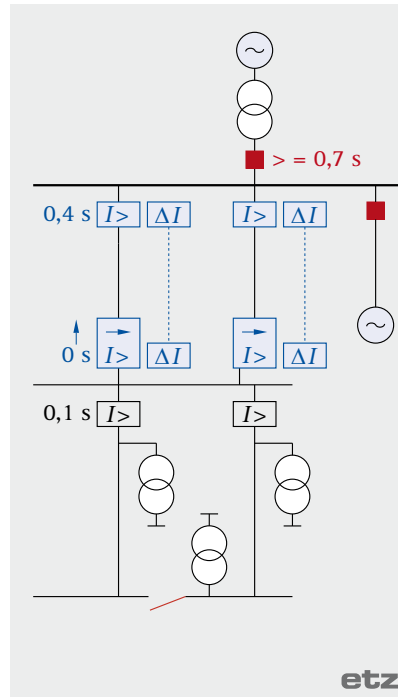


Bild 7. Ideale MS-Netzstruktur

tanz eingeschränkt nutzbar. Das Verfahren kann auch auf Verbindungen mit Transformatorstationen eingesetzt werden. Sollten sich Schutzgeräte mit Leistungsschalter im Schutzbereich befinden, ist eine Auslöseverzögerung gemäß dem Staffelplan, in der Regel 0,3 s bis 0,4 s, vorzusehen. Die notwendigen Signalverbindungen und letztendlich die gesamte Funktionalität sind Bestandteil eines „Smart Grids“ und stellen aus schutztechnischer Sicht einen Anspruch auf den Ausbau der Kommunikationsverbindungen.

Einfache Netzstrukturen

Neben der beschriebenen Ertüchtigung der Schutzsysteme sollte jedoch immer die eigentliche Ursache der Diskussion, die komplexe Netzstruktur, hinsichtlich ihrer Vereinfachung untersucht werden. Bild 7 zeigt die ideale Mittelspannungsnetzstruktur mit Überstromzeit- und Differentialschutzgeräten. Hier bilden der einfache Netzaufbau und die wenig störungsanfälligen Schutzprinzipien eine wirkungsvolle Einheit zur Minimierung der Ausfallzeiten bei Netzstörungen. Erzeugereinheiten werden immer direkt an der einspeisenden Sammelschiene angeschlossen. Die zeitliche Dauer von Erdungs- und Berührungsspannungen in niederohmig geerdeten Netzen wird minimiert und aufwendige Kabelimpedanzmessungen entfallen.

Fazit

Eine hohe Verfügbarkeit der elektrischen Energieversorgung und geringe Ausfallzeiten werden maßgeblich durch die Netzstruktur bestimmt. Einfachheit und wenige Schutzebenen sollten im Fokus künftiger Mittelspannungsnetzkonzepte stehen. Kommunikationsverbindungen, idealerweise als Glasfaser ausgeführt und damit unempfindlich gegenüber Einkopplungen, verbessern signifikant das Netzschutzsystem bei komplexen Netzstrukturen und müssen bereits heute für den Schutz von morgen mit eingeplant werden.

