Netzimpendanzmessung für Schutzzwecke

Autor(en): **Bulaty, P.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **72 (1981)**

Heft 9

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-905103

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Netzimpedanzmessung für Schutzzwecke

Von P. Bulaty

621.3.011.21:621.316.9:621.317.332.1

Die Impedanz ist bei einem Kurzschluss proportional zu dessen Entfernung vom Messort und wird deshalb vorteilhaft im Distanzschutz angewendet. Die Eigenschaften, die Messmethoden und die Störeinflüsse vom Netz- und Wandlerverhalten werden behandelt.

L'impédance étant proportionnelle à la distance entre le court-circuit et l'emplacement de mesure, elle peut servir à la protection de distance. Les propriétés, les méthodes de mesure et les influences perturbatrices du comportement du réseau et des transformateurs de mesure sont traitées.

1. Grundlagen des Distanzschutzes

Die Distanzschutzgeräte überwachen Hochspannungsleitungen und schalten sie bei einem Kurzschluss selektiv ab. Sie werden in Netzen angewendet, in welchen der Kurzschlussstrom grösser ist als der Betriebsstrom, ein Zeitstaffelplan mit Stromrelais zu lange Kurzschlussdauer ergibt und keine Hilfsverbindung für einen Differential- oder einen Richtungsvergleichschutz vorhanden ist.

Auf beiden Seiten einer Leitung, welche geschützt werden soll, ist ein Distanzschutz angeschlossen (Fig. 1). Am Relaiseinbauort A ist die Impedanz $\underline{Z} = R + jX = \underline{U}/\underline{I}$ der an der Stelle F mit einem satten Kurzschluss ($R_F = 0$) behafteten Meßschleife proportional dem Abstand zu diesem Kurzschluss (Fig. 2). Bei einem Lichtbogenwiderstand R_F enthält die Impedanz noch eine ohmische Komponente, welche je nach Lastwinkel der beiden Generatorspannungen $\underline{E}_A$ und $\underline{E}_B$ nach oben bzw. unten verdreht ist, z.B. Punkt F'. Bei normalem Betrieb befindet sich der Impedanzvektor hingegen im schraffierten Lastbereich.

Die Ansprechcharakteristik umfasst den Bereich der Impedanzebene, welcher bei Kurzschlüssen auf dem geschützten Leitungsabschnitt erreicht wird, und ist meistens kreisförmig oder polygonal [1]. Sie wird stufenweise mit der Zeit vergrössert, wodurch ebenfalls ein Reserveschutz für die weiteren Leitungsabschnitte entsteht (Fig. 3).

Die Auslösezeit für Kurzschlüsse in der ersten Stufe soll möglichst kurz sein und beträgt für Hochspannungsrelais weniger als eine Netzperiode. Dagegen darf ein Kurzschluss ausserhalb der Charakteristik zu keiner Auslösung führen. Diese Arbeitsweise muss auch unter Störeinflüssen aufrechterhalten werden. So können die Abweichung der Netzfrequenz vom Nennwert sowie harmonische Oberwellen die Impedanzmessung schon bei normalem Netzbetrieb stören. Bei einem Kurzschluss kommt das transiente Verhalten der Leitung dazu, wie das exponentiell abklingende Gleichstromglied und die Ausgleichschwingungen der verteilten Leitungskapazitäten (Fig. 4) [2]. Ebenfalls störend sind das Einschwingen der Wandler bei einem starken Spannungsabfall und die Sättigung der Stromwandler. Durch geeignete Messmethoden können diese Störeinflüsse behoben oder vermindert werden.

2. Stand der elektronischen Distanzrelais

Das Arbeitsprinzip heutiger elektronischer Distanzrelais ist meistens ein Phasenvergleich zwischen verschieden aufbereiteten Spannungen. Eine Kreischarakteristik entsteht z.B. bei

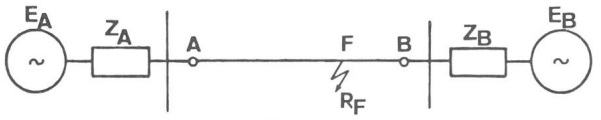

Fig. 1 Geschützte Leitung

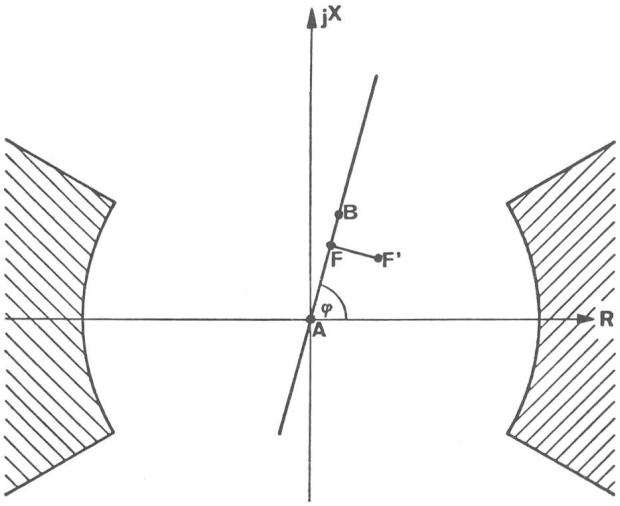

Fig. 2 Gemessene Impedanz

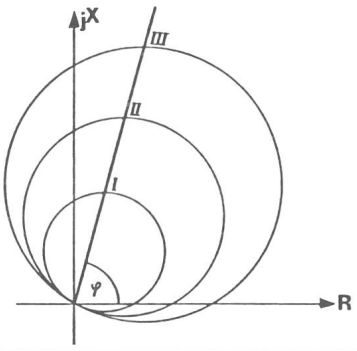

Fig. 3 Kreisförmige Auslösekennlinie

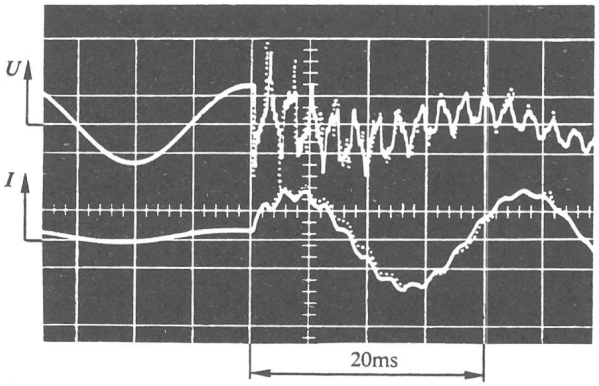

Fig. 4 Transiente Netzausgleichschwingungen

Messung des Winkels Ψ zwischen der Differenzspannung $\underline{U}_D = \underline{U} - \underline{I} \cdot \underline{Z}_M$ und der Spannung $\underline{U}$, wobei $\underline{Z}_M$ das sog. Leitungsabbild ist (Fig. 5). Durch Division aller Spannungen mit dem Strom $\underline{I}$ erhält man eine Impedanzebene-Darstellung (Fig. 6). Ist $|\Psi| > 90^0$, liegt die Impedanz $\underline{Z} = \underline{U}/\underline{I}$ innerhalb der Kreischarakteristik, und das Relais löst aus. Die Reichweite wird durch eine Veränderung des Abbildes $\underline{Z}_M$ eingestellt. Da $\underline{Z}_M$ den gleichen induktiven Charakter hat wie die Leitung, besitzt es gleiches Verhalten bei einer Frequenzänderung und bei einem Gleichstromglied, wodurch deren Einfluss praktisch verschwindet.

3. Entwicklungstendenz

Für zukünftige Distanzrelais wird sehr oft die Anwendung eines Rechners vorgeschlagen [3; 4]. Dabei werden die Spannungen und Ströme zuerst gefiltert und dann digitalisiert (Fig. 7). Die Abtastrate liegt zwischen 12 und 32 Abtastungen pro Netzperiode [5]. Sie ist durch die gewünschte Anzahl und Genauigkeit der Resultate bis zum Auslösebefehl einerseits und durch die Verarbeitungskapazität des angeschlossenen Rechners andererseits zu bestimmen. Dementsprechend muss der Eingangsfilter ab ca. 300 Hz eine genügende Dämpfung aufweisen. Aus dem Strombereich von 0,2 bis $80 \cdot I_N$ und der minimalen Genauigkeit folgt eine Dynamik von 4000 bis 8000 Stufen (LSB). Die Analog/Digital-Umwandlung muss deshalb 13...15 Bit umfassen. Die Weiterverarbeitung wird dann optimal in einem 16-Bit-Rechner durchgeführt. Diese beginnt mit der Berechnung der Komponenten von Spannung und Strom:

$$i_1 = I \sin(\omega t + \gamma)$$
$$i_2 = I \cos(\omega t + \gamma)$$
$$u_1 = U \sin(\omega t + \gamma + \varphi)$$
$$u_2 = U \cos(\omega t + \gamma + \varphi)$$

Dabei ist die naheliegende Anwendung der Fourier Integrale wegen grosser Anzahl Multiplikatoren und dem Datenfenster von einer Netzperiode ungeeignet. Mit ganzzahligen Gewichtsfaktoren und dem gesamten Datenfenster kleiner als eine Periode erreicht man die gewünschten Komponenten schneller und einfacher (Fig. 8). Solche Filter können als eine Serie von Tiefpass-, Hochpass- und Orthogonalfilter beschrieben werden.

Der Tiefpass unterdrückt (zusätzlich zum analogen Eingangsfilter) die Oberwellen und die Ausgleichsschwingungen in den Eingangsgrössen, z. B. $i(t)$:

$$i'(t) = i(t) + i(t - d) + \ldots + i(t - N \cdot d)$$

wobei d die Abtastdauer ist. Der Hochpass beseitigt das Gleichstrom- bzw. Gleichspannungsglied

$$i''(t) = i'(t) - i'(t - M \cdot d)$$

Die Orthogonalfilter, welche praktisch nur noch Sinusgrössen erhalten, bilden die Komponenten

$$i_1 = \left[i''(t) + i''(t - K \cdot d)\right] \cdot C_1 = I \sin(\omega t + \gamma) \quad \text{und}$$
$$i_2 = \left[i''(t) - i''(t - K \cdot d)\right] \cdot C_2 = I \cos(\omega t + \gamma).$$

Durch geeignete Wahl der Filterparameter N, M und K können die Normierungskonstanten C_1, C_2 eliminiert und der Einfluss der Frequenzabweichung reduziert werden. Ebenfalls wird bei Sättigung der Stromwandler das gesamte Datenfenster T_D so verkleinert, dass mindestens in den ungesättigten Teilen

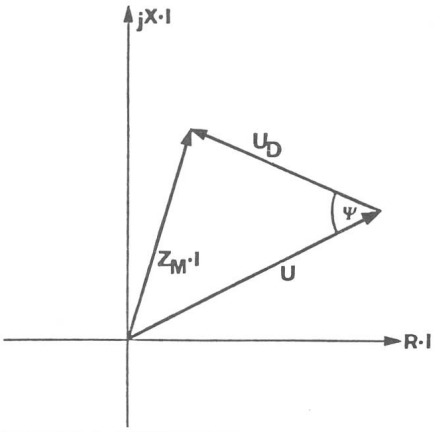

Fig. 5 Relais mit einem Leitungsabbild; Spannungsebene

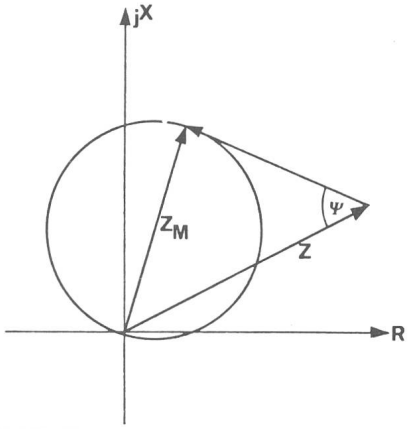

Fig. 6 Relais mit einem Leitungsabbild; Impedanzebene

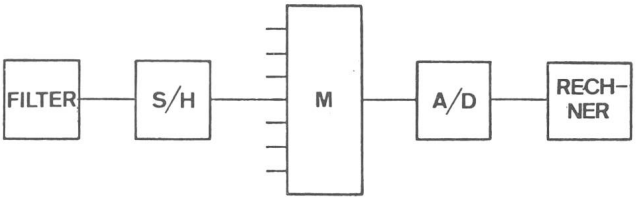

Fig. 7 Blockschaltbild eines digitalen Distanzschutzes

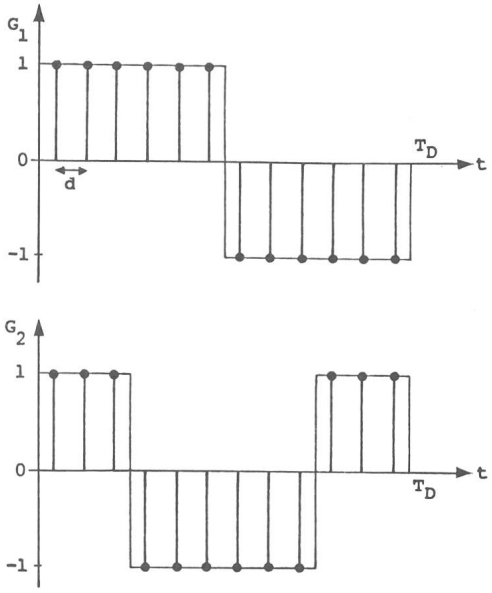

Fig. 8 Orthogonalfilter-Paar mit rechteckigen Gewichtsfunktionen

des Stromverlaufes korrekte Komponenten berechnet werden können.

Die Kurzschlussimpedanz $\underline{Z} = R + jX$ wird dann aus den Strom- und Spannungskomponenten berechnet

$$R = (u_1 \cdot i_1 + u_2 \cdot i_2) / (i_1^2 + i_2^2)$$
$$X = (u_1 \cdot i_2 - u_2 \cdot i_1) / (i_1^2 + i_2^2)$$

und mit der gewünschten Charakteristik in der Impedanzebene verglichen. Mehrere gleiche Entscheide führen zu einem Auslösebefehl, wobei die notwendige Anzahl gegen den Rand der Charakteristik zunimmt.

Der beschriebene Algorithmus stellt, bezogen auf die Abtastdauer von 625 bis 1667 µs bei 50 Hz Netzfrequenz, einen grossen Rechenaufwand dar. Damit nicht für jede Meßschleife ein Rechner notwendig ist, wird im Ruhebetrieb eine Kurzschlussdetektion mit Phasenwahl durchgeführt und bei einem Ansprechen kurz nur die entsprechende Schleife gemessen. Nach einer Auslösung oder bei einem Kurzschluss in höheren Stufen werden die sechs Meßschleifen zyklisch nacheinander durchgemessen. Somit werden auch die Überschlagsfehler richtig erfasst.

Die Kurzschlussdetektion und Phasenwahl erfolgt anhand der Stromveränderung in der betroffenen Phase. Sie verzögert die Auswertung praktisch nicht, da alle Abtastwerte gespeichert werden und für die Impedanzberechnung zur Verfügung stehen.

Die Möglichkeit der Speicherung der Netzspannungen und Ströme in einem digitalen Distanzschutz kann für einen Störschreiber ausgenützt werden. Sind ebenfalls alle Impedanzresultate aufgezeichnet, kann die Suche des Kurzschlussortes wesentlich erleichert werden. Auch andere zeitlich unkritische Funktionen, wie z. B. diejenigen des bis jetzt separaten Wiedereinschaltapparates, können integriert werden.

Literatur

[1] *F. Ilar:* Erfassung der Erdfehlerwiderstände durch den Leitungsschutz. Brown Boveri Mitt. 65(1978)6, S. 371...378.

[2] *M. Vitins:* Transiente Vorgänge in Hochspannungsnetzen und ihr Einfluss auf die Auslegung von Schutzeinrichtungen. Brown Boveri Mitt. 65(1978)6, S. 358...363.

[3] *I.F. Morrison:* Prospects of on-line computer control in transmission systems and substations. Electrical Engineering Transaction, Inst. Eng. Australia, EE3(1967)Sept., p. 234...236.

[4] *A.M. Ranjbar* and *B.J. Cory:* An improved method for the digital protection of high voltage transmission lines. IEEE Trans. PAS 94(1975)2, p. 544...550.

[5] *J.G. Gilbert, E.A. Udren* and *M. Sackin:* Evaluation of algorithms for computer relaying. IEEE Power Engineering Summer Meeting, Mexico City, July 17...22, 1977; paper A 77 520-0.

Adresse des Autors

P. Bulaty, dipl. Ing. ETH, Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie, Abt. ESP-2, 5401 Baden.