

**Dipl.-Ing. Fred Oechsle**

**„Adaptives Wirkleistungsdifferenzverfahren zur Detektion hochohmiger Fehler im elektrischen Netz“**

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. K. Feser  
Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. habil. A. Boehringer  
Tag der mündlichen Prüfung: 27. Oktober 2000

Kurzfassung:

In der vorliegenden Arbeit wird ein adaptives Verfahren zur Detektion von einpoligen hochohmigen Erdfehlern in wirksam geerdeten Mittel- und Hochspannungsnetzen vorgestellt. Das Verfahren basiert auf der Erkennung der Wirkleistungsaufnahme des hochohmigen Erdfehlers. Die Wirkleistungsaufnahme wird als plötzliche Erhöhung der Leitungsverluste gegenüber dem fehlerfreien Zustand wahrgenommen. Das Verfahren wird im Folgenden als adaptives Wirkleistungsdifferenzverfahren bezeichnet; in der Literatur sind im Zusammenhang mit Stromdifferenzverfahren außerdem die Bezeichnungen *D-Schutz* oder *Superpositionsverfahren* gebräuchlich.

Der prinzipielle Unterschied im Vergleich zu herkömmlichen Strom-, Ladungs- oder Phasenvergleichsalgorithmen liegt in der Anwendung des Energieerhaltungsprinzips an Stelle des Ladungserhaltungssatzes.

Daraus resultieren folgende Vorteile:

- + keine Empfindlichkeitseinbuße, wenn sich Blindleistungsverbraucher im Schutzbereich befinden (z. B. Ladestromkompensation, Serienkompensation, FACTS)
- + Es wird keine separate Einschaltstromstabilisierung benötigt, wenn sich Kompensationsdrosseln oder Transformatoren im Schutzbereich befinden
- + Schutz über mehrere Spannungsebenen ohne Schaltgruppenanpassung oder Berücksichtigung von Stufenschalterstellungen
- + hohe Toleranz gegenüber Synchronisationsfehlern der Abtastwerte, wertvoll vor allem bei mehrendigen Applikationen mit Verbindung über Multiplex-Kommunikationsnetze

Als Nachteile bzw. ungünstige Eigenschaften sind zu nennen:

- zur Wirkleistungsmessung sind Spannungswandler sowohl am Schutzobjekt als auch im Schutzgerät erforderlich, wodurch ein erheblicher Mehraufwand gegenüber den gängigen Stromvergleichsverfahren entsteht
- niederohmige Fehler werden schlecht erkannt, weil diese nur wenig Wirkleistung aufnehmen, so dass Leistungsverfahren für Leitungen und Kabel in jedem Fall durch Stromvergleichsverfahren ergänzt werden müssen

Im Gegensatz zu herkömmlichen Stromvergleichsalgorithmen, welche hinsichtlich geringer Kommandozeit optimiert sind, steht beim dynamischen Wirkleistungsvergleichsverfahren die Empfindlichkeit im Vordergrund. Dies erfordert eine hohe Verlässlichkeit der Messsignale. Deshalb beträgt die Kommandozeit 1 bis 1,5 Perioden der Grundfrequenz, weil in diesem Zeitintervall verlässliche Zeigermessungen des Zustandes nach Fehlereintritt möglich sind.

Die Empfindlichkeit des Verfahrens wird durch die Messunsicherheit begrenzt. Um eine möglichst hohe Empfindlichkeit des Verfahrens zu erreichen, wird eine Methode zur Abschätzung der Messunsicherheit vorgeschlagen. Dabei wird zwischen systematischen und zufälligen Messfehlern unterschieden. Die Methode zur Bestimmung von Messunsicherheiten durch zufällige Fehler basiert auf statistischer Analyse der Strom- und Spannungszeiger. Als Quellen systematischer Messfehler werden dabei vor allem Strom- und Spannungswandler identifiziert, die Ursache zufälliger Messunsicherheiten sind **Analog-Digital-Umsetzer (ADU)** sowie Oberschwingungen und Frequenzabweichungen im Netz.

Die Summe aller Unsicherheiten bildet die Stabilisierungsgröße des Schutzverfahrens. Da sich die Stabilisierungsgröße in Abhängigkeit des aktuellen Betriebszustandes bzw. der beobachteten Änderungen berechnet und nicht voreingestellt ist, wird dieses Vorgehen als *Selbststabilisierung* bezeichnet. Selbststabilisierungsverfahren konnten erstmals im Leitungsdifferenzialschutz 7SD52 von Siemens realisiert werden.

Durch die genannten Maßnahmen wird das dynamische Wirkleistungsvergleichsverfahren in zweifacher Hinsicht adaptiv. Erstens passt sich der Schutz durch das  $\Delta$ -Verfahren stets an den aktuellen Betriebszustand an. Und zweitens wird die Kommandoschwelle aufgrund der permanenten Abschätzung der Unsicherheit stets der aktuellen Qualität der Messsignale angepasst.

Als Eingabeparameter werden die Impedanzen des Mit- und Nullsystems des Schutzobjektes benötigt. Bei Angabe der Fehlerklassen der Messwandler oder bei punktweiser Eingabe der Wandlercharakteristik kann die Berücksichtigung systematischer Messunsicherheiten auf das unbedingt nötige Maß beschränkt werden.

An die Fehlerklassen der Messwandler, die Auflösung oder Abtastrate der AD-Umsetzer oder die Genauigkeit der Eingabeparameter müssen prinzipbedingt keine besonderen Anforderungen gestellt werden. Die Empfindlichkeit des Verfahrens passt sich jedoch der Qualität der Messungen an, so dass mit besseren Messsystemen höhere Empfindlichkeiten erreicht werden.