



# ZUVERLÄSSIGER DISTANZSCHUTZ

## Ermittlung präziser Leitungsparameter mit CPC 100 + CP CU1

Versorgungsunternehmen weltweit machen bei Freileitungen und Starkstromkabeln von Distanzschutz und impedanzbasierter Fehlerortung Gebrauch. Damit das Distanzschutzrelais korrekt auslöst, werden präzise Angaben zur Mitimpedanz  $Z_1$  und zur Nullimpedanz  $Z_0$  der geschützten Leitung benötigt. Für die schnellstmögliche Behebung von Versorgungsausfällen durch das Instandhaltungsteam ist es wichtig, genau zu wissen, an welcher Stelle der Leitung der Fehler aufgetreten ist. Zu diesem Zweck werden Fehlerortgerätee genutzt, die ebenfalls auf genaue Leitungsparameter angewiesen sind.

### Messen oder berechnen?

Leistungsparameter können gemessen oder anhand von Leitergeometrie und Bodeneigenschaften berechnet werden. Bei der Berechnung der Leitungsimpedanz finden mehrere Vereinfachungen statt, die die Realität nicht akkurat widerspiegeln. Daher lässt die Präzision der Berechnungsergebnisse häufig zu wünschen übrig. Insbesondere Leiter-Erde-Impedanzen und damit  $Z_0$  sind anfällig für physikalische Merkmale wie das Vorhandensein von Metallrohren oder die Beeinflussung durch benachbarte Kabel. Daher erreichen Berechnungen in diesen Fällen nicht die benötigte Genauigkeit. Zudem wird bei der Berechnung davon ausgegangen, dass der spezifische elektrische Widerstand im Boden überall gleich ist, was aufgrund unterschiedlicher Eigenschaften des Bodens in den verschiedenen Bodenschichten in der Regel nicht der Realität entspricht. Eine Messung dagegen berücksichtigt alle Faktoren und erbringt realistische Werte.

Aus diesem Grund ist Anchorage ML&P, ein Versorgungsunternehmen aus Anchorage im US-Bundesstaat Alaska, dazu übergegangen, Leitungsimpedanzen zu messen, um

genaue Parameter für das Distanzschutzrelais zu bestimmen. Anchorage ML&P schützt die Übertragungsleitungen in seinem System zwar in erster Linie mittels Leitungsdifferentialschutzvorrichtungen, aber als Reserveschutzvorrichtung kommen Distanzschutzrelais zum Einsatz.

Im Mai 2018 hat das Unternehmen eine 7,1 km lange 138-kV-Freileitung gemessen. Freileitungen in Alaska sind üblicherweise nicht mit einem Erdungsseil ausgestattet, da Blitzschlag so gut wie nie vorkommt. Das bedeutet, dass bei einem einpoligen Fehler der gesamte Fehlerstrom über den Boden und damit über einen Pfad abfließt, dessen Eigenschaften unbekannt sind.

### Universelles Prüfsystem

Anchorage ML&P nutzte für die Messung CPC 100 als universelles Prüfgerät, das Prüfsignale mit variabler Frequenz erzeugt und unter Verwendung digitaler Filter zur wirksamen Rauschunterdrückung den Strom und die Spannung misst. Als Zubehör kam die Koppeleinheit CP CU1 zum Einsatz, die für die galvanische Isolierung zwischen der gemessenen Leitung und dem Prüfgerät sorgt. Außerdem wurde auch die CP GB1 genutzt, die dank ihrer Überspannungsableiter in der Lage ist, unerwartete Überspannungen von Seiten der Leitung abzuleiten.

Ursprünglich wurde das Prüfsystem aus CPC 100 und CP CU1 angeschafft, um anhand von Messungen des Potentialtrichters, sowie Schritt- und Berührungsspannungen die Wirksamkeit des Erdungssystems zu prüfen, aber die Messung der Leitungsimpedanzen erwies sich für Anchorage ML&P als willkommener Zusatznutzen. ▶

### Höchste Messgenauigkeit

Zur Bestimmung der Mitimpedanz  $Z_1$  und der Nullimpedanz  $Z_0$  erfolgte eine Messung der Impedanzen von sieben Schleifen – der drei Phase-Phase-Schleifen, der drei Phase-Erde-Schleifen und einer Schleife, bei der alle drei Phasen kurzgeschlossen und gegen Erde gemessen wurden. Die gesamte Prüfung dauerte nicht einmal eine Stunde. Im Anschluss an die Prüfung wurde mithilfe der Excel Vorlage ein Prüfbericht mit allen relevanten Daten erstellt:

- › Mitimpedanz  $Z_1$
- › Nullimpedanz  $Z_0$
- › Nullsystem-Kompensationsfaktor  $K_0$
- › Abweichung zwischen gemessenen und berechneten  $Z_1$ - und  $Z_0$ -Werten, sofern berechnete Werte vorliegen
- › Tatsächliche Zonenreichweite mit den aktuellen Relaisparametern
- › Genauigkeit des impedanzbasierten Fehlerorters mit den aktuellen Relaisparametern

Tabelle 1 zeigt einen Vergleich zwischen den gemessenen  $Z_1$ - und  $Z_0$ -Werten (auf Basis der Messung der Impedanzen der sieben Schleifen) und den berechneten Werten. Wie zu erwarten war, kann die Abweichung bei der Mitimpedanz vernachlässigt werden, da sich dieser Wert anhand der Geometrie der Leiteranordnung mit ausreichender Genauigkeit berechnen lässt. Bei der Nullimpedanz sind jedoch recht hohe Abweichungen festzustellen. Die anhand der Geometrie und angenommener Bodeneigenschaften vorgenommene Berechnung des X-Wertes von  $Z_0$ , der neben dem R-Wert zu den relevanteren Komponenten gehört, ergab einen um fast 70 % höheren Wert als die Messung.

Fehlerberechnung				
	$Z_1$		$Z_0$	
	R in $\Omega$	X in $\Omega$	R in $\Omega$	X in $\Omega$
<b>Gemessener Wert</b>	0,722	1,938	1,095	5,067
<b>Berechneter Wert</b>	0,740	1,940	1,450	8,500
<b>Fehler (bezogen auf Messwert)</b>	<b>2,54 %</b>	<b>0,09 %</b>	<b>32,42 %</b>	<b>67,75 %</b>

Tabelle 1: Vergleich zwischen den gemessenen und den berechneten Werten

Zur grafischen Darstellung der Ist-Werte für die Zonenreichweite und die Genauigkeit des impedanzbasierten Fehlerorters bietet die Excel-Vorlage die Möglichkeit, Relaisparameter einzugeben, sodass entsprechende Diagramme erstellt werden können.

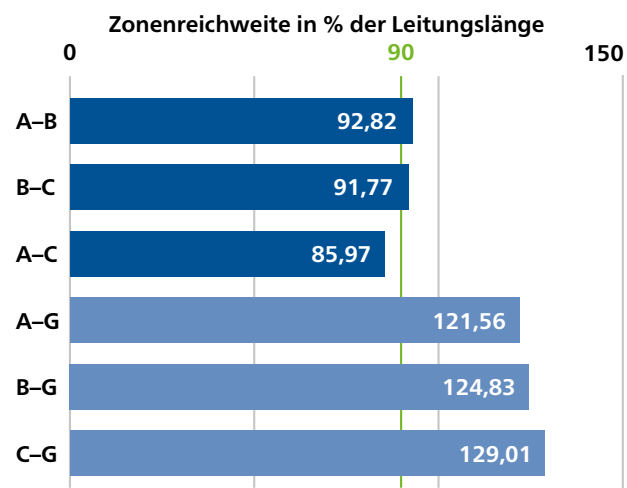
Damit die Zonenreichweiten ermittelt werden können, muss der primäre X-Wert für die Zone eingegeben werden. In diesem Fall ging es um die Zone 1 und die gewünschte Staffelung lag bei 90 %. Das heißt, dass der X-Wert bei 90 % des X-Wertes der berechneten Mitimpedanz liegt. Außerdem wurde der Nullsystem-Kompensationsfaktor  $k_0$  (Betrag  $k_{0M}$  und Winkel  $k_{0A}$ ) gemäß Definition im Handbuch SEL 311 eingegeben:

$$k_0 = \frac{Z_0 - Z_1}{3 \times Z_1}$$

Distanzschutz-Parameter	
$X_1$ prim zone	<b>1,746 <math>\Omega</math></b>
$k_{0M}$	<b>1,068</b>
$k_{0M}$ in $^\circ$	14,15

Bei Phase-Phase-Fehlern liegt die Reichweite erwartungsgemäß im 90-%-Bereich, weil die Abweichung zwischen dem berechneten und dem gemessenen  $Z_1$ -Wert sehr gering ist.

Die Zonenreichweiten bei Phase-Erde-Fehlern sind – ebenfalls wie erwartet – weit von 90 % entfernt, denn der Nullsystem-Kompensationsfaktor wurde vom berechneten  $Z_0$ -Wert abgeleitet. In diesem Fall würde das Relais

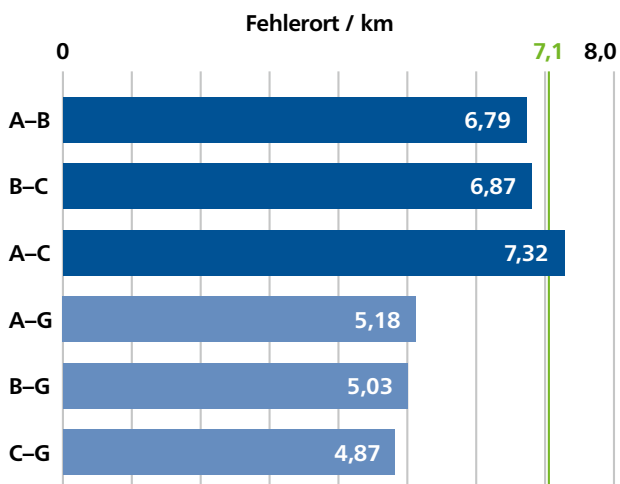


zu einer Überfunktion neigen, d. h. bei einem Erdschluss der nachfolgenden Leitung (bis zu mehr als 120 % der gemessenen Leitung) würde nicht nur das Relais zum Schutz dieser nachfolgenden Leitung, sondern zusätzlich auch das Relais der gemessenen Leitung auslösen.

Der X-Wert pro Kilometer wird benötigt, um die Genauigkeit des Fehlerorters zu ermitteln. In diesem Beispiel geht es um einen Fehler bei 100 % der Leitungslänge, was bedeutet, dass der Fehler korrekt bei Kilometer 7,1 geortet werden sollte.

Parameter für Fehlerortung			
$X_1, \text{ prim}$	0,7136 $\Omega/\text{km}$	Fehlerort	100 %

Bei Phase-Phase-Fehlern ist die Fehlerortung auch in diesem Fall sehr nahe bei diesem Wert; die leichten Abweichungen sind durch die Unsymmetrie der Leitung bedingt. Aufgrund ungeeigneter  $k_0$ -Einstellungen werden einpolige Fehler jedoch viel näher zum Relais geortet. Selbst bei dieser eher kurzen Leitung liegt die absolute Abweichung bereits bei mehr als 1,6 km. Falls der Fehler durch Wartungspersonal behoben werden muss, ließe sich die Fehlerortung deutlich beschleunigen – speziell bei längeren Leitungen in abgelegenen Gebieten, die schwer zugänglich sind.



Die Messung zeigt, dass die Zuverlässigkeit von Distanzschutzrelais leidet, wenn deren Parametrierung auf ungenauen Leitungsimpedanzwerten beruht. Genaue Leitungsimpedanzwerte helfen, unabhängig vom jeweiligen Einsatzszenario, die Entfernungen zu Fehlerorten präzise zu berechnen. ■

