

Eine zuverlässige Anregung bei einem Leitungsfehler ist der elementare Teil einer Distanzschutzapplikation. Um den vielfältigen Anforderungen gerecht zu werden, wurden in die Distanzschutzgeräte von Sprecher Automation einige Innovationen zur sicheren Anregung integriert.

FLEXIBLE ANREGGE- VERFAHREN

Adventarital

© Jordan Lye / gettyimages.de

Grzegorz Richert

Studium der Elektrotechnik an der Technischen Universität Berlin. Ab 1994 Schutzingenieur bei VEAG. Seit 2001 Produktmanager für Schutztechnik bei Sprecher Automation Deutschland GmbH.

Angesichts neuer Herausforderungen für die Schutztechnik im Zuge der Energiewende und der Integration dezentraler Erzeugungsanlagen ist der Distanzschutz ein zunehmend unverzichtbarer Bestandteil eines Schutzkonzeptes. Eigenschaften wie Reserveschutz oder das im Pendelschutz verwendete Impedanzkriterium lassen sich nicht durch andere Schutzprinzipien ersetzen.

Essenzieller Bestandteil eines Distanzschutzes ist die Anregung mit der Aufgabe, Fehlerzustände im Netz zu erkennen und zu klassifizieren. Sowohl bei Laständerungen als auch bei transienten Vorgängen muss sie phasenselektiv, sicher und stabil arbeiten. Außerdem werden von einer Anregung eine große Reichweite sowie hohe Fehlerempfindlichkeit gefordert.

GRUNDSÄTZE DER WINKELABHÄNGIGEN POLYGONALEN IMPEDANZANREGUNG $Z_{<}$

Die $Z_{<}$ -Anregung erkennt im Betriebsstrombereich liegende Fehler aufgrund ihres Impedanzbetrags und der Winkellage im Bereich der Leitungsgeraden. Bei sorgfältiger Einstellung der $Z_{<}$ -Kennlinie kann eine hohe Selektivität der Anregung erreicht werden.

Ein weiterer Vorteil der $Z_{<}$ -Anregung liegt auch in der Unabhängigkeit der Anregereichweite von der Vorimpedanz der Kurzschlusschleife. Damit ist eine weitreichende Reservestaffelung realisierbar.

Die wichtigsten Merkmale der $Z_{<}$ -Anregung im Vergleich zur U-I-Anregung sind:

- weitreichende Unabhängigkeit der Anregimpedanz von Strom und Spannung
- hohe Grundempfindlichkeit der Einstellung ohne Neigung zu einer Überfunktion

Wird die Impedanzanregung zusätzlich mit einer Überstromanregung ergänzt, kann die Anregesicherheit des Kurzschlusschutzes weiter verbessert werden (siehe unter „Kombinierte Anregungen $Z_{<} \& I_{>>}$ “).

OPTIMIERTE KENNLINIE DER IMPEDANZ-ANREGUNG $Z_{<}$

Die winkelabhängige Impedanzanregung $Z_{<}$ von SPRECON-E-P DD6 berechnet und überwacht ständig maximal sechs Schleifen (3 x L-L, 3 x L-E).

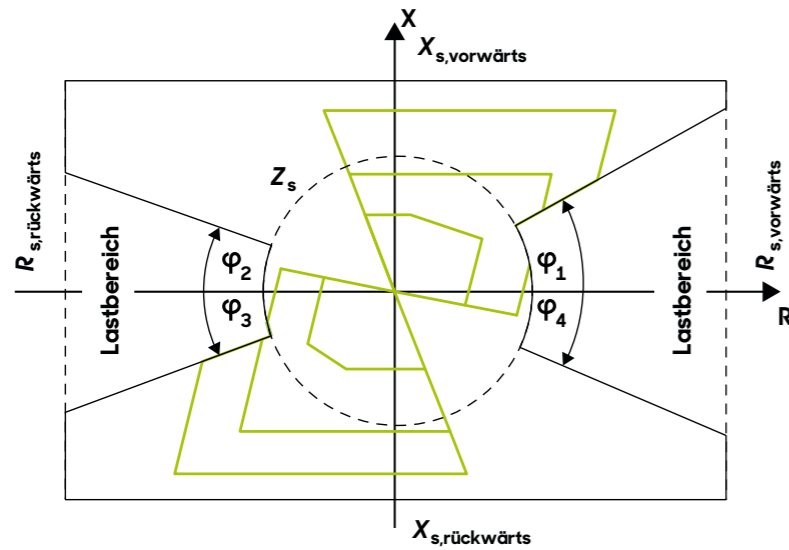


Abb. 1 Kennlinie der winkelabhängigen, polygonalen Impedanzanregung Z< mit Impedanzonen

Neben der Bestimmung der fehlerbetroffenen Messschleifen und der Richtungsbestimmung startet die Anregung auch die Zeitmessung für den Auslösebefehl und steuert ebenso Zusatzfunktionen und Meldungen aus. Durch Ausschluss der nicht fehlerbetroffenen Schleifen (Scheinimpedanzen) mit Hilfe zusätzlicher Kriterien wird eine phasenselektive Anregung sichergestellt. Dies ist die Grundlage für eine korrekte Distanzschutzfunktionalität und ermöglicht außerdem die einpolige automatische Wiedereinschaltung (AWE).

- ausreichende Lichtbogenreserve in Resistanz-Richtung
- Erfassung höherer Fehlerwiderstände

Die Wirkung der Z<-Anregung wird mit dem Überschreiten des Stromeinstellwertes I_{min} Z< freigegeben, wobei für LL-Schleifen beide Leiterströme einer Schleife diesen Grenzstrom überschreiten müssen. Der mittlere, kreisförmig begrenzte Sektor schließt den Lastbereich aus. Die zwei frei einstellbaren Richtungsgeraden begrenzen den wirksamen Anregebereich in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung. Im nicht definierten Anregebereich wirkt nur die ungerichtet eingestellte Endzeit.

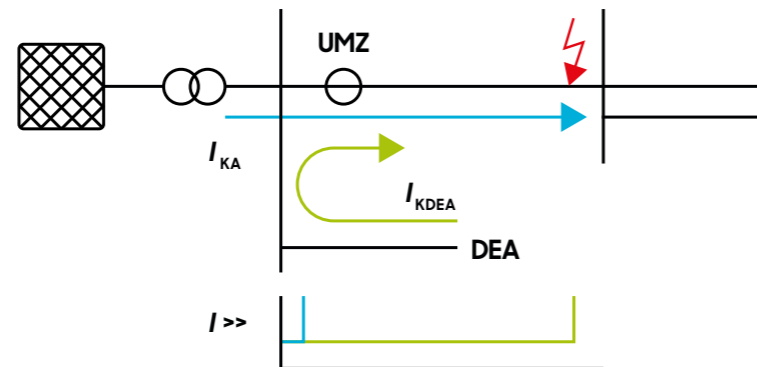
Die Kennlinie der winkelabhängigen, polygonalen Impedanzanregung Z< besteht, wie in **Abb. 1** gezeigt, aus drei Teilgebieten und zwei Richtungsgeraden mit einstellbaren Winkeln:

- kreisförmiges Gebiet Z_s , getrennt für L-L- und L-E-Fehler
- Anregesektor in Vorwärtsrichtung mit den Einstellwerten: $X_s, \varphi_1, \varphi_2, R_s$, getrennt für L-L- und L-E-Fehler
- Anregesektor in Rückwärtsrichtung mit den Einstellwerten: $X_s, \varphi_3, \varphi_4, R_s$, getrennt für L-L- und L-E-Fehler

Mit einer auf diese Weise konstruierten Kennlinie lassen sich die Hauptziele der Z<-Anregung erreichen:

- große Reichweite für Kurzschlüsse in Reaktanz-Richtung
- klare Abgrenzung zwischen Last- und Kurzschlussstrombereich

Abb. 3 Verhalten des Überstromzeitschutzes, mit (grün) und ohne (blau) Kurzschlussstrombeitrag der DEA



Adventorial

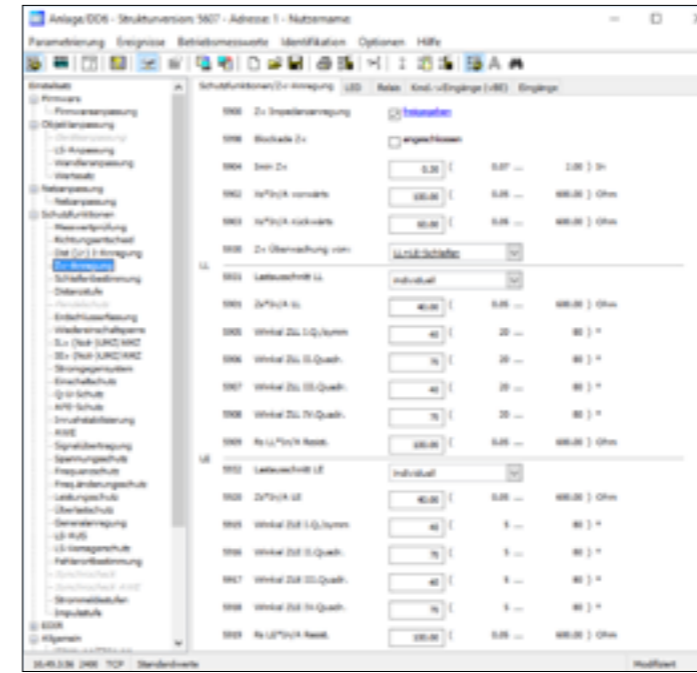


Abb. 2 Einstellungsparameter der Z<-Anregung mit SPRECON-E COMM-3 (SPRECON-E ENGINEERING CENTER)

Für die optimale Anpassung an Netzart, Sternpunktbehandlung und Netzverhältnisse können die folgenden zusätzlichen Einstellungen frei und optional vorgenommen werden: überwachende Schleifen: nur L-E, nur L-L, beide Lastausschnitt: symmetrisch, individuell (asymmetrisch), ohne.

Die Neigung des Anregepolygons entspricht der Einstellung des Neigungswinkels für die Distanzonen. **Abb. 2** zeigt diese Einstellmöglichkeiten in der Konfigurationssoftware SPRECON-E COMM-3.

APPLIKATIONSBEISPIELE FÜR Z<-ANREGUNG

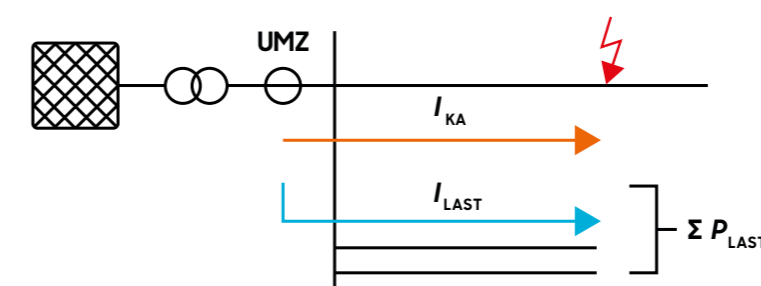
Beispiel: Dezentrale Energieanlagen (DEA)
DEA werden aufgrund der Leistungseinspeisung in das übergeordnete Netz sehr oft in der Nähe der Einspeisepunkte, z. B. im MS-Netz, im Stich angeschlossen (**Abb. 3**).

Der zusätzliche Kurzschlussanteil der DEA beeinflusst in diesem Fall die Hochstromstufe des Überstromzeitschutzes und ist bei deren Einstellung zu berücksichtigen, um eine Überfunktion auf den nachgeordneten Schutzabschnitten zu vermeiden. Bei abgeschalteter DEA kann dagegen die Reichweite der Hochstromstufe sehr stark, bis zu ihrer Unwirksamkeit, reduziert werden.

Als Lösung wird laut der Studie des VDE Verbandes der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.: „Schutz- und Automatisierungstechnik in aktiven Verteilnetzen – Herausforderungen, Lösungskonzepte, Empfehlungen“ (Kurzfassung), Frankfurt am Main (April 2016), der Einsatz eines Distanzschutzes empfohlen, weil hier eine größere Unabhängigkeit der Fehlerentfernung von der Höhe des Kurzschlussstromes besteht.

In Abhängigkeit von Last- und Kurzschlussverhältnissen kann zwischen (U-)I- oder Z<-Anregung bei einem Distanzschutz gewählt werden. Für die spannungsabhängige Überstromanregung gibt es Einstellgrenzen, die durch Leitungs- und Vorimpedanz gegeben sind.

Abb. 4 Stationsbezogener Reserveschutz in einem Einspeisefeld



Im Fall der weit entfernten Fehler, wenn der Kurzschlussstrom durch die Leitungsimpedanz stark begrenzt wird und die Spannung am Einbauort der Schutzanlage aufgrund kleiner Transformatorimpedanz fast vollständig erhalten bleibt, kann nur die Impedanzanregung $Z<$ die entsprechende Empfindlichkeit bieten.

Beispiel: Stationsbezogener Reserveschutz

Aufgrund der Reichweite und Empfindlichkeit eines Überstromzeitwertes ist er als stationsbezogener Reserveschutz, beispielsweise in einem Transformator-Einspeisefeld, oft nicht ausreichend (**Abb. 4**). Deswegen gilt auch in diesem Fall der Einsatz des Distanzschutzes als Lösung.

Die Wirkung der $Z<$ -Anregung kann durch Faktoren wie Leitungswinkel der fehlerbehafteten Leitung und Laststrom beeinflusst werden. Der Laststrom der gesunden Abgänge überlagert sich mit dem Kurzschlussstrom und reduziert so den Kurzschlusswinkel. Daher sollte die Wirkung der $Z<$ -Anregung anhand einer Netzberechnung überprüft werden.

KOMBINIERTE ANREGUNG – $Z<$ & $I>$

Um die Anregesicherheit und gleichzeitig die Ansprechempfindlichkeit des Kurzschlusswertes zu erhöhen, ermöglicht SPRECON-E-P DD6 die Parallelanwendung von Impedanzanregung ($Z<$) und Überstromanregung ($I>$).

Beispiel:

Bei der Ermittlung der Einstellwerte der Impedanzanregung $Z<$ werden dabei die Eigenschaften einer Schutzanlage, wie Anregelverlässlichkeit und Anregesicherheit, Begriffe laut IEC 448 (International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 448) angewendet.

Unter Berücksichtigung der Eigenschaft der „Anregesicherheit im Lastbereich“ muss die Anregung den Lastbereich vom Kurzschlussbereich eindeutig unterscheiden können. Dafür ist der kleinste zulässige Ansprechwert des Anregestromes I_{AL} aus den Lastbedingungen mit **Gl. 1** zu ermitteln:

$$I_{AL} = \frac{I_{zul} \cdot f_{\text{ÜL}} \cdot f_{\text{transient}}}{f_M \cdot R_V}$$

Für das theoretische Beispiel werden die folgenden Werte angenommen:

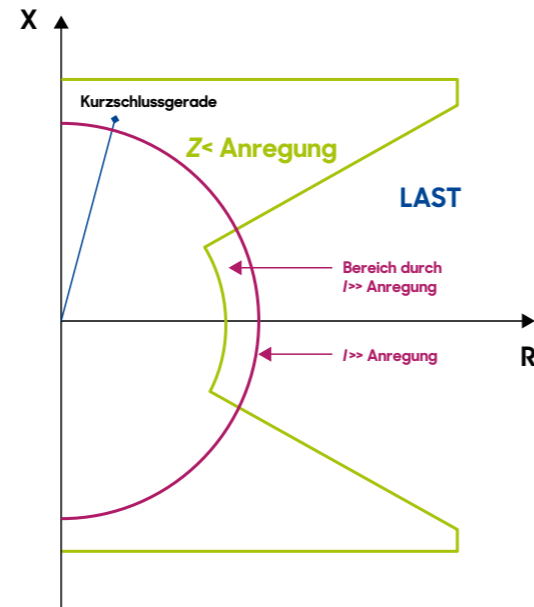


Abb. 5 Kennlinie der kombinierten $Z<$ & $I>$ -Anregung

I_{zul} – zulässige Dauerbelastbarkeit der zu schützenden Betriebsmittel ≥ 1000 A
 $f_{\text{ÜL}}$ – Überlastfaktor $\geq 1,3$
 $f_{\text{transient}}$ – Faktor zur Berücksichtigung von transienten Vorgängen $\geq 1,0$
 f_M – maximaler Messfehler (Schutzanlage einschließlich Messwandler) $\geq 0,9$
 R_V – Rückfallverhältnis der Schutzanlage $\geq 0,95$

Mit dem Ansprechstrom I_{AL} aus den Lastbedingungen kann mit Gl. 2 der Betrag für die Anregelimpedanz Z_{AL} unter Berücksichtigung der minimal zulässigen Betriebsspannung berechnet werden:

Gl. 2

$$Z_{AL} = \frac{f_{U_{\min}} \cdot U_n}{I_{AL} \cdot \sqrt{3}}$$

$f_{U_{\min}}$ – Faktor der minimalen zulässigen Betriebsspannung $\geq 0,85$
 U_n – Netznominalspannung ≥ 110 kV

Mit Berücksichtigung des maximal zulässigen Lastwinkels Φ_{maxLast} und eines Sicherheitsfaktors wird mit Gl. 3 der Anregelwinkel Φ_{An} der Impedanzanregung berechnet:

Gl. 3

$$\Phi_{An} = \frac{\Phi_{\text{maxLast}}}{f_s \Phi_{hi}}$$

Φ_{maxLast} – maximal zulässiger Lastwinkel $\geq 30^\circ$
 f_s – Sicherheitsfaktor $\geq 0,9$

Daraus ergeben sich die folgenden Werte in

Tab. 1:

$I_{AL} = 1520$ A	Anregestrom
$Z_{AL} = 35,51$ Ω	Anregelimpedanz
$\Phi_{An} = 33^\circ$	Winkel der Anregelimpedanz

Tab. 1 Ergebnisse der Berechnung von Anregelwerten

Für die oben ermittelte kreisförmige Anregelimpedanz Z_{AL} und eine Nennspannung des Netzes ($= 1,0$) ergibt sich ein Ansprechstrom I_{ALZ} von 1788,47 A. Mit einer parallel arbeitenden Überstromanregung ($I>$), die auf 1520 A eingestellt wird, kann die Ansprechempfindlichkeit um den Faktor 1,18 ≈ 18 % (1788,47 A / 1520 A) verbessert werden (**Abb. 5**). Das gilt speziell für die Kurzschlüsse mit hoher Restspannung oder kleinen Kurzschlusswinkeln.

Bei kleinerer Restspannung ($< 0,85 U_n$) und größeren Kurzschlusswinkeln wirkt dagegen die Impedanzanregung empfindlicher als die Überstromanregung.

Bei der Einstellung der o. g. kombinierten Anregung im Distanzschutz von Sprecher Automation wird die $Z<$ -Anregung durch die Überstromanregung nicht beeinflusst.

ZUSAMMENFASSUNG

Die in SPRECON-E-P DD6 implementierten Distanzanregungen sind optimal dafür geeignet, um bei unterschiedlichen Lastverhältnissen und bei unterschiedlichen Netzarten und Sternpunktbehandlungen sicher und hoch empfindlich zwischen Betriebs- und Fehlerzustand zu unterscheiden. Durch den flexiblen Einsatz der kombinierten Anregung, bei der zum Beispiel die Impedanzanregung $Z<$ mit der Überstromanregung $I>$ parallel arbeiten, erweitern die Geräte der SPRECON-E-P Serie die bisher marktüblichen Möglichkeiten zur Erhöhung der Anregesicherheit und Anregelempfindlichkeit des Kurzschlusswertes.

SPRECON-E-P DD6

Die Serie schützt, steuert und automatisiert Energieanlagen.



Zusammengefasst

Die modularen Geräte werden als Selektivschutz von Freileitungen und Kabeln aller wichtiger Netz- und Sternpunktbehandlungsarten der MS- und HS-Ebene eingesetzt. Systemschutzfunktionen wie Q-U-Schutz, automatische Frequenzentlastung und Pendelschutz ergänzen das Leistungsspektrum.

HAUPTMERKMALE

- sechssystemiger Distanzschutz mit drei Anregelverfahren
- eigenständige Systemschutz- und Erdschlussortungsfunktionen
- konsequente Trennung von Schutz und Leittechnik
- integrierte IT-Sicherheit
- Backup mit SD-Card
- IP-basierte Wirkschnittstelle
- analoge Ausgänge, redundante Spannungsversorgung