

Abschlussbericht

AIF-Vorhaben-Nr. 12941 N

Forschungsthema:

Rechneroptimierte Synthese von Distanzschutzeinstellungen

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	1
2	Forschungsinhalt.....	3
2.1	Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung.....	3
2.1.1	Ausgangssituation	3
2.1.2	Stand der Forschung.....	4
2.2	Forschungsziele.....	5
2.2.1	Angestrebte Forschungsergebnisse.....	5
2.2.2	Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse	6
3	Kilometrische Staffelung.....	7
4	Modellierung der Relaisfunktionalität	10
4.1	Datenbasis.....	10
4.1.1	Schutzdaten	10
4.1.2	Metadaten	13
4.1.3	Datenablage im XML-Format	17
4.2	Relaismodelle in Komponenten	20
4.3	Visualisierung der Daten.....	21
4.4	Datenablage im RIO-Format.....	24
5	Optimierte Staffelung.....	25
5.1	Problemanalyse und Lösungsweg	25
5.1.1	Dynamische Nachbildung von Distanzschutzgeräten.....	25
5.1.2	Dynamische Nachbildung des Netzes	26
5.1.3	Fazit.....	26
5.2	Ermittlung der wahrscheinlichen Schaltfolge	27
5.3	Ermittlung der optimierten Einstellwerte.....	28
5.4	Exemplarisches Vorgehen bei der Ermittlung optimierter Einstellwerte	29
5.5	Kennlinien-Formen.....	37
5.6	Realisierung innerhalb eines Prototyps.....	38
5.7	Visualisierung der Optimierungsergebnisse.....	39
6	Weitere Verbesserungen durch externe Maßnahmen.....	41
7	Literaturverzeichnis	43
Anhang:	Anregebausteine	44

Bilderverzeichnis

Bild 1: Staffelung des Distanzschutzes.....	9
Bild 2: Assoziatives Datenmodell.....	11
Bild 3: Metadaten.....	14
Bild 4: Schutzdaten im XML-Format.....	18
Bild 5: Metadaten im XML-Format.....	19
Bild 6: Relaismodelle in Komponenten.....	20
Bild 7: Visualisierung der Daten.....	21
Bild 8: Visualisierung der Metadaten.....	23
Bild 9: Schutzstrecke 1.....	30
Bild 10: Schutzstrecke 2.....	30
Bild 11: Schutzstrecke 3.....	31
Bild 12: Schutzstrecke 1 - Bestimmung der nächsten Abschaltungen.....	32
Bild 13: Schutzstrecke 1 - Bestimmung der nächsten Abschaltung.....	33
Bild 14: Schutzstrecke 2 - Ermittlung der nächsten Abschaltungen.....	34
Bild 15: Schutzstrecke 3 - Ermittlung der nächsten Abschaltungen.....	35
Bild 16: Schutzstrecke 3 - Relais1 mit verspäteter Anregung.....	36
Bild 17: Rechteck.....	37
Bild 18: Impedanzkreis.....	37
Bild 19: Konduktanzkreis.....	37
Bild 20: Reichweitendiagramm vor Optimierung.....	40
Bild 21: Reichweitendiagramm nach Optimierung.....	40
Bild 22: Anregebereich Überstromanregung zweistufig.....	46
Bild 23: Anregebereich Unterimpedanz konventionell.....	49

Bild 24: Anregebereich Unterimpedanzanregung einfach geknickt	51
Bild 25: Anregebereich Unterimpedanzanregung doppelt geknickt	52
Bild 26: Anregebereich Unterimpedanzanregung winkelabhängig	55
Bild 27: Anregebereich Unterimpedanz statisch	59
Bild 28: Anregebereich Unterimpedanz statisch SD135	60
Bild 29: Anregebereich bei Phi lastnah	63
Bild 30: Anregebereich für Phi kurzschlussnah	63
Bild 31: Anregebereich Unterimpedanz statisch winkelabhängig	64
Bild 32: Anregebereich für Phi kurzschlussnah	66
Bild 33: Anregebereich für Phi kurzschlussnah	66
Bild 34: Anregebereich Unterimpedanz statisch winkelabhängig	67
Bild 35: Impedanzfläche Siemens 7SAxxx	69
Bild 36: Impedanzberechnung Leiter-Leiter	70
Bild 37: Impedanzberechnung Leiter-Erde	70
Bild 38: Kennlinie Erdstromanregung	73
Bild 39: Impedanzfläche 7SA511	74
Bild 40: Impedanzberechnung Leiter-Leiter	75
Bild 41: Impedanzberechnung Leiter-Erde	75
Bild 42: Kennlinie Erdstromanregung	77
Bild 43: U-I-Kennlinie Siemens 7SA511	78
Bild 44: Impedanzfläche AEG PD551	81

1 Zusammenfassung

Die Ansätze des AiF-Forschungsvorhaben 11610 N „Parametrierung von Schutzrichtungen in elektrischen Energieversorgungsnetzen“ wurden weiterentwickelt und für die Praxis optimiert. So wurde der Zwang, MATLAB/SIMULINK einzusetzen, durch eine Komponenten-Nachbildung mit festen Schnittstellen ersetzt. Über diese Schnittstellen können beliebige externe Programme, beispielsweise MATLAB/SIMULINK oder auch Microsoft Excel angesprochen werden. Bei einfachen Funktionalitäten kann die Nachbildung auch direkt in den Komponenten erfolgen. Externe Programme sind dann nicht erforderlich. Die Umsetzung dieser Vorgehensweise in der Praxis war erfolgreich.

Das gewählte assoziative Datenmodell aus dem AiF-Forschungsvorhaben 11610 N hat sich als sehr leistungsfähig erwiesen. Die Praxiseinführung ist mit einem neuen, zusammen mit Schutzfachleuten entwickelten Programm gelungen. Dieses Programm arbeitet mit den oben erwähnten Komponenten zusammen und nutzt intensiv XML-basierte Schnittstellen.

Das laufende AiF-Forschungsvorhaben baut auf die neuesten Entwicklungsergebnisse bei der Anregeanalyse auf, die aus der Weiterentwicklung der Ansätze in dem AiF-Forschungsvorhaben 11610 N entstanden sind. Es zeigt einen Weg, wie schematisiert automatisch sinnvolle Schaltungsänderungen im Netz zur Optimierung der Distanzschutzeinstellungen vorgenommen werden können. Die Schaltungsänderungen werden auf Grundlage der Ergebnisse der Anregeanalyse vorgenommen und geben den wahrscheinlichen Ablauf der Fehlerklärung wieder. Die entstandene Sammlung von Messwerten ist die Basis zur Ermittlung der Einstellwerte. Eine Verbesserung der Genauigkeit kann dadurch erreicht werden, dass die Kurzschlussrechnung nach DIN EN 60909-0 (VDE 0102) [4] durch eine Rechnung mit Lastflussankopplung ersetzt wird.

Die Praxistauglichkeit wurde anhand eines Modellnetzes nachgewiesen. Die Visualisierung erfolgt in Microsoft Excel und zeigt eine signifikante Verbesserung der Reichweiten durch die Optimierung.

Gewisse Ungenauigkeiten durch das Rechenmodell bleiben aber in jedem Fall bestehen, da der Kurzschluss ein dynamischer Vorgang ist, der immer auch dynamische Ausgleichsvorgänge sowohl im Netz als auch im Schutzgerät hervorruft. Dies gilt insbesondere für den generatornahen Kurzschluss. Diese Art der dynamischen Nachbildung würde jedoch bei größeren Netzen an der Komplexität der Abhängigkeiten und an der Menge der Daten scheitern.

Ziel dieses Forschungsvorhaben war deshalb, ein schematisiertes praxisgerechtes Verfahren zu entwickeln, das sich auf die entscheidenden Einflussgrößen konzentriert. Das Verfahren ist sehr gut zur Anwendung bei großen Netzen geeignet. Der Anteil der Kurzschlüsse, die im Reservefall erst in Endzeit abgeschaltet werden, kann bei Anwendung des Verfahrens deutlich reduziert und damit die Betriebssicherheit gesteigert werden.

Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.

2 Forschungsinhalt

2.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

2.1.1 Ausgangssituation

In vermaschten Energieversorgungsnetzen werden Distanzschutzeinrichtungen als Kurzschlusschutz für die selektive, sichere und schnelle Ausschaltung von Kurzschlüssen eingesetzt. Sie dienen nicht nur als Hauptschutzeinrichtungen für die ihnen unmittelbar zugeordneten Schutzobjekte, sondern erfüllen auch die Funktion des ortsfernen Reserveschutzes für benachbarte Schutzobjekte, wenn eines der am Hauptschutz beteiligten Schutz- bzw. Schaltgeräte einen Kurzschluss nicht erkennt bzw. nicht ausschaltet.

Das korrekte Einmessen des Fehlers durch Distanzschutzeinrichtungen wird durch mehrere Einflussfaktoren zunehmend erschwert. Hier ist die Zunahme von Rückspeisungen aus den untergelagerten Netzebenen zu nennen, die als Zwischeneinspeisungen die gemessene Impedanz verfälschen. Schutzprobleme können auch Umstrukturierungen mit sich bringen, bei denen aus Kostengründen benachbarte Leitungszüge zu einem Schutzobjekt mit mehr als zwei Anschlüssen zusammengefasst werden. Stichworte sind hier T-Schaltungen, H-Schaltungen oder ganz allgemein Mehrbeinschaltungen. Hier müssen bereits beim Hauptschutz Kompromisse in bezug auf die Abschaltzeit eingegangen werden. Durch die aktuellen Entwicklungen aufgrund der Liberalisierung des Strommarktes wird das Problem weiter verschärft. Änderungen der Netztopologie erfordern kurzfristige Anpassungen der Schutzeinstellungen. Es wird erwartet, dass ohne qualitative Verbesserungen der Schutzeinstellungen der Anteil der Kurzschlüsse zunehmen wird, die erst in Endzeit ausgeschaltet werden. Diese langen Ausschaltzeiten beeinträchtigen die den Kunden angebotene Spannungsqualität und können erhebliche wirtschaftliche Auswirkungen, z.B. durch Produktionsausfall aufgrund der Sensitivität moderner Produktionsprozesse auf die Spannungsqualität, haben.

Aufgrund der Komplexität der Problemstellung und des großen Funktionsumfangs digitaler Schutzeinrichtungen ist eine qualitative Verbesserung durch die bisher übliche manuelle Ermittlung der Einstellparameter in der Praxis nicht zu erreichen. Geeignete Software, die eine wirkliche Unterstützung für den Schutztechniker darstellt, steht nicht im gewünschten Umfang zur Verfügung, da die dafür erforderlichen Modelle und Verfahren nicht hinreichend entwickelt sind.

2.1.2 Stand der Forschung

Schon zu Beginn der 90er Jahre hat die FGH e.V. Forschungsarbeiten zur computerunterstützten Analyse von Distanzschutzeinstellungen begonnen. Tabelle 1 zeigt den Gesamtumfang der Problemstellungen.

Tabelle 1: Aufgabenstellungen zur Parametrierung von Distanzschutzeinrichtungen

Funktionsbereich	Analyse	Synthese
Anregung von Distanzschutzgeräten und Auswahl der Messgrößen	1 ↓	4 ↑
Distanzentscheid	2 →	3

Als Analyse (Teilaufgaben 1 und 2) bezeichnet man die Simulation der Reaktion des gegebenen Schutzsystems mit gegebener Parametrierung auf vorgegebene oder nach bestimmten Kriterien automatisch erzeugte Kurzschlusszenarien. Änderungen der Parameter müssen durch den Anwender auf der Basis der Berechnungsergebnisse durchgeführt werden. Diese Arbeitsschritte werden bei der Synthese (Teilaufgaben 3 und 4) von entsprechenden Algorithmen automatisiert durchgeführt, mit dem Ziel, eine optimale Einstellung in Bezug auf Selektivität und Schnelligkeit der Ausschaltung zu erreichen.

Im abgeschlossenen AiF-Forschungsvorhaben 11610 N „Parametrierung von Schutzeinrichtungen in elektrischen Energieversorgungsnetzen“ wurden die Teilaufgaben 1 und 2 bearbeitet und im Anschluss außerhalb des AIF-Vorhabens weiterentwickelt. Die Teilaufgabe 3 ist Gegenstand dieses Fortsetzungsvorhabens.

Die Teilaufgaben, die sich mit der Analyse der Einstellungen von Distanzschutzeinrichtungen befassen, können somit im Hinblick auf dieses Forschungsvorhaben als abgeschlossen betrachtet werden. Als Ergebnis des AiF-Forschungsvorhabens 11610 N steht ein Beispiel einer Funktionsbeschreibung mit Hilfe von MATLAB & SIMULINK zur Verfügung. Die praktische Erprobung hat jedoch ergeben, dass der Ansatz, alle Relais mit dem Produkt MATLAB/SIMULINK nachzubilden nicht praxisgerecht ist und neue Probleme und Abhängigkeiten erzeugt. Daher wurde - anders als im AiF-Forschungsvorhabens 11610 N – durch geschickte Nutzung der Schnittstellentechnik eine Kapselung der Relaisfunktionalität in Komponenten (speziellen DLL-Dateien) realisiert. Diese Komponenten können dynamisch zur Laufzeit

des Programms geladen werden. Spezielle Komponenten können ihrerseits auf MATLAB/SIMULINK zugreifen. Es besteht jedoch bei dieser Vorgehensweise kein Zwang mehr, unbedingt ein bestimmtes Fremdprodukt zur Modellierung einzusetzen. Andere Komponenten könnten beispielsweise die Funktionalität in Microsoft Excel hinterlegen. Wieder andere Komponenten könnten die Funktionalität direkt enthalten. Letzteren Weg wird man sinnvollerweise bei einfachen und standardisierten Funktionalitäten, wie beispielsweise der Überstromanregung einsetzen. Ein komplexes Produkt, wie MATLAB/SIMULINK, das in erster Linie für dynamische Untersuchungen entwickelt wurde, wäre hier sicherlich überdimensioniert.

2.2 Forschungsziele

2.2.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines praxisgerechten Verfahrens zur rechneroptimierten Synthese von Distanzschutzeinstellungen in vermaschten Energieversorgungsnetzen. Die Einsetzbarkeit sowohl bei kleinen als auch bei großen Netzen soll gegeben sein. Optimierungsziel ist die Verkürzung der Dauer vom Kurzschlusseintritt bis zur endgültigen Ausschaltung des Fehlers unter Wahrung der Selektivität und der Sicherheit der Schutzfunktion.

Das Verfahren soll zu jedem Zeitpunkt der Simulation das gesamte Verhalten der Distanzschutzeinrichtungen betrachten und auf der Basis der Ausschaltensignale Änderungen des Schaltzustands im Netz nachbilden. Nach jeder Zustandsänderung ist eine neue Kurzschlussstromberechnung durchzuführen. Auf der Basis eines vorgegebenen Netzzustandes sollen die relevanten Fehlerfälle und Ausgangszustände automatisch erzeugt werden.

Die Kurzschlussrechnung erfolgt in der Praxis oft quasi-stationär nach DIN EN 60909-0 (VDE 0102) [4]. Auch im AiF-Forschungsvorhabens 11610 N wurde diese Vorgehensweise angewendet. Diese Art der vereinfachten Kurzschlussrechnung hat den Vorteil, dass die Lastfluss-Werte, die im Planungsstadium nicht oder nur ungenau bekannt sind, nicht in die Rechnung eingehen. Wenn jedoch die Lastverteilung bekannt ist, sollte man auf das genauere Verfahren der Lastfluss-Überlagerung zurückgreifen. Der realisierte Prototyp ist so angelegt, dass wahlweise entweder die Rechnung nach DIN EN 60909-0 (VDE 0102) [4] oder mit Lastfluss-Überlagerung durchgeführt werden kann.

2.2.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Die angestrebten Forschungsergebnisse dienen der Weiterentwicklung des Verfahrens zur Parametrierung von Distanzschutzeinrichtungen.

3 Kilometrische Staffelung

Die Methode der kilometrischen Staffelung ist die Methode, die aktuell in der Praxis vielfach bei der Schutzauslegung Anwendung findet. Der Vorteil dieser Methode ist die Einfachheit. Es gehen lediglich die Topologie und die Leitungsimpedanzen in die Rechnung ein. Kurzschlussrechnungen sind nicht erforderlich. Diese Methode stellt die Vergleichsmethode dar, die Basis für die Berechnung prozentueller Verbesserungen bei der optimierten Staffelung in Abschnitt 5.7 ist.

Der erste Schritt ist die Ermittlung der Pfadimpedanz aus einer Reihen- und Parallelschaltung von Leitungsimpedanzen. In der Regel müssen lediglich Impedanzen addiert werden. Bei Doppelleitungen, die gemeinsam geschützt werden sollen, wird die resultierende Impedanz aus der Parallelschaltung von Impedanzen ermittelt. Um bei der Berechnung der kilometrischen Staffelung unabhängig von der inneren Topologie des Schutzobjektes zu sein, wurde ein allgemeingültiger Ansatz gewählt, bei dem nicht Impedanzen addiert, sondern die Impedanzen von Schutzobjekten auf jeweils zwei Knoten reduziert werden.

Es werden zunächst die Leistungsschalter aller Schutzgeräte ausgeschaltet. Anschließend wird das Knoten-Zweig-Modell neu aufgebaut. Im Ergebnis entstehen viele kleinere Teilnetze, die die Schutzobjekte darstellen. Für jedes Schutzgerät kann nun die kilometrische Staffelung ermittelt werden.

Zur Ermittlung der Impedanz der ersten Stufe werden nacheinander durch Reduktion die Impedanzen zu allen Gegenknoten des Schutzobjektes errechnet und mit dem Staffelfaktor der ersten Stufe multipliziert. Der Einstellwert der ersten Stufe ist die kleinste von diesen errechneten Impedanzen.

$$Z_1 = st_1 \cdot Z_{L1}$$

Gleichung 1: Ermittlung des Einstellwertes der 1. Stufe

mit

- Z_1 : Einstellwert für 1. Stufe
- Z_{L1} : Pfadimpedanz vom Relais zum Gegenknoten
- st_1 : Staffelfaktor der 1. Stufe

Der Staffelfaktor ist ein Sicherheitsfaktor, der Überreichweiten und damit nicht-selektive Abschaltungen verhindern soll. Sinnvoll ist beispielsweise der Wert 0,9.

Ähnlich wird die Einstellimpedanz der zweiten Stufe ermittelt. Ausgehend von den Gegenknoten des Schutzobjektes werden die mit dem Staffelfaktor der ersten Stufe beaufschlagten Pfadimpedanzen von anderen Schutzobjekten aufaddiert, die an den Gegenknoten angeschlossen sind. Die aufaddierten Impedanzen werden mit dem Staffelfaktor der zweiten Stufe multipliziert. Aus dieser Menge von Impedanzen wird wiederum die kleinste Impedanz zur Einstellung der 2. Stufe ausgewählt.

$$Z_2 = st_2 \cdot (Z_{L1} + st_1 \cdot Z_{L2})$$

Gleichung 2: Ermittlung des Einstellwertes der 2. Stufe

mit Z_2 : Einstellwert für 2. Stufe
 Z_{L1} : Pfadimpedanz vom Relais zum Gegenknoten 1. Schutzobjekt
 Z_{L2} : Pfadimpedanz vom Knoten 1. Schutzobj. zum Gegenknoten
 2. Schutzobj.
 st_1 : Staffelfaktor der 1. Stufe
 st_2 : Staffelfaktor der 2. Stufe

Analog wird die Einstellimpedanz der dritten Stufe ermittelt.

$$Z_3 = st_3 (Z_{L1} + st_2 \cdot (Z_{L2} + st_1 \cdot Z_{L3}))$$

Gleichung 3: Ermittlung des Einstellwertes der 3. Stufe

mit Z_3 : Einstellwert für 3. Stufe
 Z_{L1} : Pfadimpedanz vom Relais zum Gegenknoten 1. Schutzobjekt
 Z_{L2} : Pfadimpedanz vom Knoten 1. Schutzobj. zum Gegenknoten
 2. Schutzobj.
 Z_{L3} : Pfadimpedanz vom Knoten 2. Schutzobj. zum Gegenknoten
 3. Schutzobj.
 st_1 : Staffelfaktor der 1. Stufe
 st_2 : Staffelfaktor der 2. Stufe
 st_3 : Staffelfaktor der 3. Stufe

Auch hier erfolgt die Einstellung mit Hilfe der kleinsten der errechneten Impedanzen.

Aus den Staffelfaktoren ergeben sich theoretische Kippunkte. Die tatsächlichen Kippunkte liegen durch den Einfluss der Zwischeneinspeisungen deutlich näher am Schutzgerät.

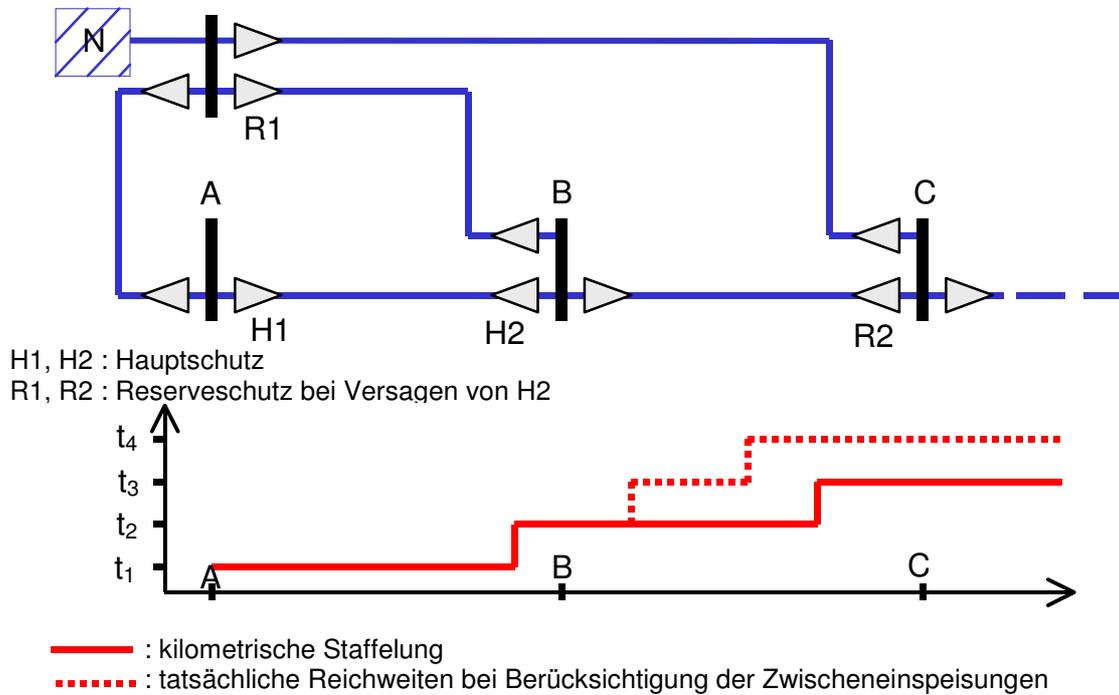


Bild 1: Staffelung des Distanzschutzes

4 Modellierung der Relaisfunktionalität

4.1 Datenbasis

4.1.1 Schutzdaten

Die Datenbasis zur Modellierung der Relais-Funktionalität ist ein universelles assoziatives Datenmodell, das ohne Programmeingriffe beliebig erweiterbar ist.

In der Grundstruktur besteht das Datenmodell aus lediglich drei Tabellen, die in jeder beliebigen relationalen Datenbank abgebildet werden können. Mit diesem Datenmodell können beliebige Daten erfasst werden. Es besteht keine Beschränkung auf den Bereich Schutztechnik. Anpassungen der Datenstruktur bei der Erfassung neuer Funktionalitäten entfallen komplett. Dadurch ist eine Erweiterung auch beim Endanwender möglich, der in der Regel kein Datenbankexperte ist und deshalb bei der Erweiterung komplexer Datenbankstrukturen überfordert wäre. Bild 2 zeigt die Grundstruktur des Datenmodells. Es wurde mit Hilfe der Datenbank-Entwicklungsumgebung in der Entwicklungsumgebung „Microsoft Visual Studio .NET 7.0“ erstellt.

Jede Funktionalität eines Relais entspricht im Datenmodell einer logischen Gruppe¹ (englisch „Logical Node“). Im Bild 2 enthält die mittlere Tabelle „LogicalNode“ alle logischen Gruppen. Die Bezeichnungen wurden in Anlehnung an IEC 61850 ausgewählt. Dies ist eine Norm, die den Fokus auf die Online-Kommunikation von Schutzgeräten hat. In einer relationalen 1-zu-n-Beziehung untergeordnet steht die untere Tabelle „Setting“ in Bild 2. Sie enthält alle Einstellungen. Die Einstellungen einer bestimmten logischen Gruppe können mit Hilfe des Primärschlüssels der logischen Gruppe gefunden werden. Dieser Primärschlüssel ist die Kombination aus „DataID“ und „nodeName“. In einer relationalen 1-zu-n-Beziehung übergeordnet steht die obere Tabelle „DeviceData“ in Bild 2. In ihr sind alle logischen Gruppen eines Datensatzes zusammengefasst. Noch einmal übergeordnet ist die Tabelle der eigentlichen Relais, die in der Darstellung in Bild 2 nicht enthalten ist. In der Praxis sind oft mehrere Relais gleich eingestellt. Mit dieser Datenstruktur ist es möglich, dass mehrere Relais auf den gleichen Datensatz verweisen. Der Datensatz muss nicht mehrfach in identischer Form eingegeben werden. Der Primärschlüssel bzw. Fremdschlüssel im Datenfeld „DataID“ stellt die Beziehung zwischen dem Relais und dem Datensatz her.

¹ Der Begriff „logischer Knoten“ als deutsche Übersetzung von „Logical Node“ wurde vermieden, um Verwechslungen mit dem Begriff „Elektrischer Knoten“ zu vermeiden.

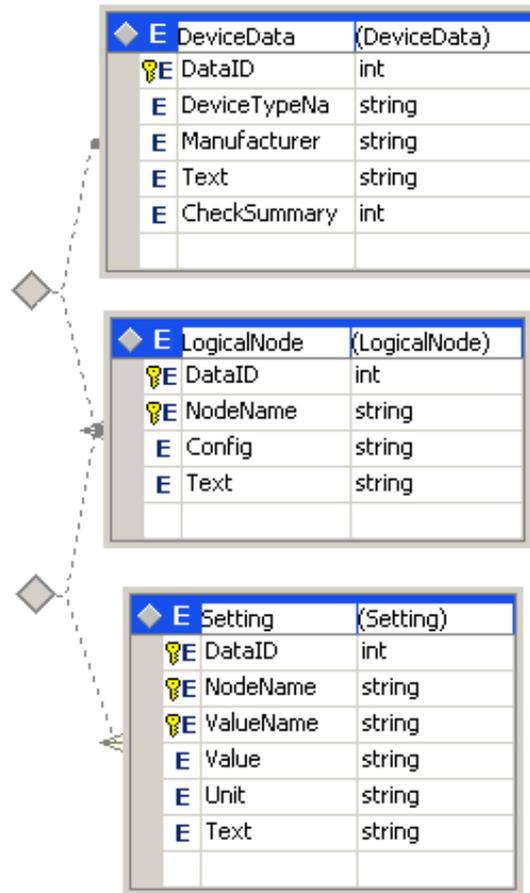


Bild 2: Assoziatives Datenmodell

Logische Gruppen können konfiguriert werden. Das Feld „Config“ in der mittleren Tabelle enthält den Dateinamen der Konfigurationsdatei. Bei einer logischen Gruppe zur Verbindung mit MATLAB/SIMULINK wäre dies die MATLAB-Beschreibungsdatei, die von MATLAB eingelesen werden kann. Konventionelle Relais werden oft über Kennlinienscharen beschrieben. Diese Kennlinienscharen geben die kontinuierliche Abhängigkeit zwischen Ansprechstrom und Spannung oder Ansprechstrom und Winkel wieder. Die Konfigurationsdateien eignen sich gut zur Ablage der Beschreibungsdaten dieser Kennlinienscharen.

Die folgende Tabelle enthält die Beschreibungen der Elemente der Tabelle „Device-Data“, die die Einstelldatensätze enthält.

Tabelle 2: Beschreibungen der Elemente der Tabelle „DeviceData“

Name des Elementes	Typ	Beschreibung
DataID	Integer	ID zur eindeutigen Bezeichnung des Datensatzes (Primärschlüssel)
DeviceTypeName	String	Name des Gerätes
Manufacturer	String	Herstellername
Text	String	Wahlfreier Text
Checksummary	String	Anzahl der Fehler im Datensatz (wird automatisch durch die Prüfroutine gefüllt)

Die folgende Tabelle enthält die Beschreibungen der Elemente der untergeordneten Tabelle „LogicalNode“, die die logischen Gruppen enthält.

Tabelle 3: Beschreibungen der Elemente der Tabelle „LogicalNode“

Name des Elementes	Typ	Beschreibung
DataID	Integer	ID zur eindeutigen Bezeichnung des Datensatzes (Fremdschlüssel und gleichzeitig Teil des Primärschlüssels)
nodeName	String	Name der logischen Gruppe (Teil des Primärschlüssels)
Config	String	Name der Konfigurationsdatei (optional)
Text	String	Wahlfreier Text

Die folgende Tabelle enthält die Beschreibungen der Elemente der untergeordneten Tabelle „Setting“, die die Einstellungen enthält.

Tabelle 4: Beschreibungen der Elemente der Tabelle „Setting“

Name des Elementes	Typ	Beschreibung
DataID	Integer	ID zur eindeutigen Bezeichnung des Datensatzes (Fremdschlüssel und gleichzeitig Teil des Primärschlüssels)
NodeName	String	Name der logischen Gruppe (Fremdschlüssel und gleichzeitig Teil des Primärschlüssels)
ValueName	String	Name der Einstellgröße (Teil des Primärschlüssels)
Value	String	Einstellwert (wird eventuell vom Programm von String nach Integer oder Double umgewandelt)
Unit	String	Einheit
Text	String	Wahlfreier Text

4.1.2 Metadaten

Auf den Komfort der Benutzerführung beispielsweise der Prüfung auf Minimum- und Maximumwerte muss auch bei dieser allgemein gehaltenen Datenstruktur nicht verzichtet werden. Dies wird durch die Metadaten ermöglicht, die die Daten beschreiben („Daten über Daten“). Sinnvollerweise trennt man diese Daten von den Einstell-Datensätzen, die oben beschrieben wurden. Mit den Informationen aus den Metadaten ist es auch möglich, komplette Masken während der Benutzerführung vorzugeben, die lediglich durch die eigentlichen Einstellwerte zu ergänzen sind.

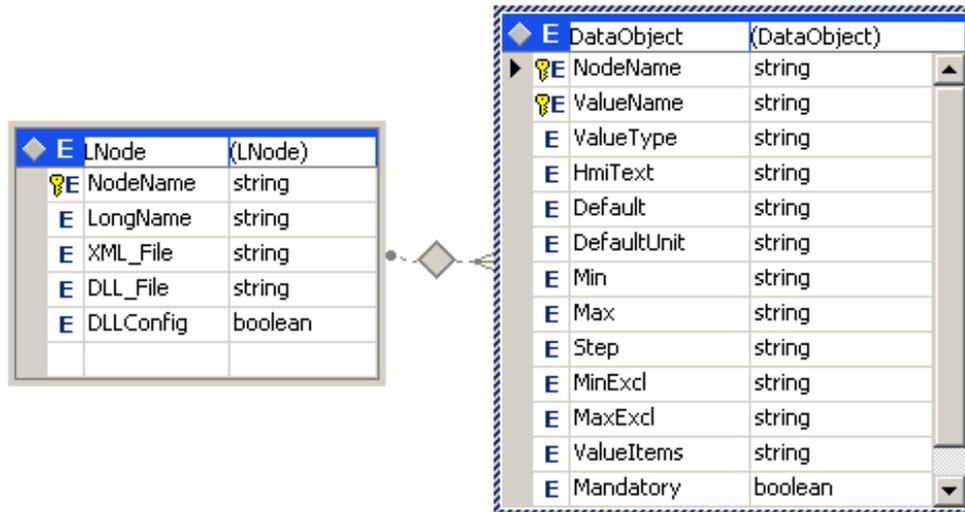


Bild 3: Metadaten

In der linken Tabelle „LNode“ in Bild 3 stellt das Element „NodeName“ einen Bezug zu einer logischen Gruppe her. Untergeordnet in einer 1-zu-n-Beziehung finden sich in der rechten Tabelle „DataObject“ in Bild 3 alle Einstellungen, die bei dieser logischen Gruppe möglich sind. Die eigentlichen Einstellwerte sind hier natürlich nicht vorhanden. Unter „Min“ und „Max“ bzw. „MinExcl“ und „MaxExcl“ finden sich z.B. die zugehörigen Minimum- und Maximumwerte für die Prüfung. Erwähnenswert ist noch das Feld „Mandatory“. Hier ist es möglich, die betroffenen Einstellwerte als Pflichtfeld oder als wahlfrei zu deklarieren. Wahlfreie Einstellwerte können im eigentlichen Einstell-Datensatz in der Tabelle „Setting“ in Bild 2 ganz fehlen. Es werden dann Defaultwerte eingesetzt, die auch in den Metadaten vorgegeben sind.

Die folgende Tabelle enthält die Beschreibungen der Elemente der Tabelle „LNode“, die die Metadaten der logischen Gruppen enthält.

Tabelle 5: Beschreibungen der Elemente der Tabelle „LNode“

Name des Elementes	Typ	Beschreibung
nodeName	String	Name der logischen Gruppe (Primärschlüssel)
LongName	String	Ausführliche Bezeichnung der logischen Gruppe
XML_File	String	Name der XML-Datei zur Ablage dieser Daten
DLL_File	String	Name der DLL-Datei, die die Funktionalitäten enthält
DLLConfig	Boolean	Logische Gruppe ist konfigurierbar (ja/nein)

Die folgende Tabelle enthält die Beschreibungen der Elemente der untergeordneten Tabelle „DataObject“, die die Metadaten der Einstellungen enthält.

Tabelle 6: Beschreibungen der Elemente der Tabelle „DataObject“

Name des Elementes	Typ	Beschreibung
nodeName	String	Name der logischen Gruppe (Fremdschlüssel und gleichzeitig Teil des Primärschlüssels)
ValueName	String	Name der Einstellgröße (Teil des Primärschlüssels)
ValueType	String	Name der XML-Datei zur Ablage dieser Daten
HmiText	String	Name der DLL-Datei, die die Funktionalität enthält
Default	String	Vorgegebene sinnvolle Einstellung, falls Eingabe fehlt
DefaultUnit	String	Vorgegebene sinnvolle Einheit, falls Eingabe fehlt
Min	String	Minimum-Wert der Einstellgröße
Max	String	Maximum-Wert der Einstellgröße
Step	String	Schrittweite der Einstellgröße
MinExcl	String	Minimum-Wert - der Wert selbst jedoch nicht zulässig
MaxExcl	String	Maximum- Wert - der Wert selbst jedoch nicht zulässig
ValueItems	String	Wertereihe, falls nur diskrete Werte möglich sind
Mandatory	Boolean	Pflichtfeld (ja/nein)

Mit den Informationen aus den Metadaten kann eine Benutzerführung realisiert werden, die dynamisch zur Laufzeit generiert wird und nicht hinter fest programmierten Dialogen zurücksteht. Mit der Angabe der Wertetyps „ValueType“, z.B. Double, können die eingegeben Schutzdaten auf zulässigen Datentyp überprüft werden. Über „ValueItems“ ist es möglich, die zulässigen Eingaben anzugeben, z.B. „geerdet“ und „nicht geerdet“. Alle anderen Eingaben sind nicht erlaubt. Damit ist es möglich, dynamisch Drop-Down-Menüs aufzubauen, die lediglich die zulässigen Werte bei der Eingabe zulassen und damit eine falsche Eingabe unmöglich machen.

4.1.3 Datenablage im XML-Format

Alle Tabellen können leicht in jeder beliebigen relationalen Datenbank oder auch im XML-Format [10] [11] abgespeichert werden. Eine Datenbank ist nicht zwingend erforderlich. Wenn die Funktionen eines Datenbank-Managementsystems nicht benötigt werden, kann man sich auf die Ablage im XML-Format beschränken und auf eine Datenbank verzichten. In kleineren Unternehmen ist das XML-Format eine echte Alternative zur Datenbank, da die Pflege der Datenbank entfällt und alle XML-Dateien hervorragend sowohl zur Kurzzeit- als auch zur Langzeit-Archivierung und gleichzeitig zum Datenaustausch geeignet sind.

Zum Editieren und Visualisieren von XML-Daten sind inzwischen eine Vielzahl von Hilfsprogrammen vorhanden. Diese Programme berücksichtigen jedoch nicht den Zusammenhang zwischen Schutzdaten und Metadaten in dem beschriebenen assoziativen Datenmodell. Um die Benutzerführung durch die Metadaten zu ermöglichen, wurde deshalb ein neues Programm geschaffen. Die Ausgabe dieses Programms ist in Abschnitt 4.3 beschrieben. Dieses Programm ist bereits bei verschiedenen Energieversorgungsunternehmen erfolgreich im Einsatz.

Sinnvollerweise trennt man die Metadaten von den eigentlichen Einstelldaten. Metadaten werden nur einmalig bei Programmstart geladen.

Das Einlesen und Abspeichern im XML-Format ist problemlos, da Standard-Routinen genutzt werden können. Falls erforderlich können die Daten auch nach HTML transformiert werden und anschließend in jedem beliebigen HTML-Browser dargestellt werden.

Eine Datenbank ist dann sinnvoll, wenn eine Benutzerverwaltung gewünscht wird. XML dient dann als Format für den Datenaustausch und zur Langzeit-Archivierung. Die Verbindung zwischen den Netzdaten, die auch die Relais-Einbauorte enthalten, und den Schutzdaten ist die Parameternummer „DataID“ in der Tabelle „DeviceData“ (siehe Tabelle 1). Eine Ablage der Schutzdaten zusammen mit den Netzdaten in einer Datenbank hat auch den Vorteil, dass diese Verbindung besser überwacht werden kann. Beim Relais-Einbauort könnte sonst versehentlich eine Parameternummer eingegeben werden, die in den Schutzdaten nicht enthalten ist.

Das folgende Bild zeigt ein verkürztes Beispiel für einen Schutzdatensatz im XML-Format entsprechend der Datenstruktur in Bild 2.

```

<?xml version="1.0" standalone="yes" ?>
- <ProtectionData xmlns="http://tempuri.org/ProtectionData.xsd">
- <DeviceData>
  <DataID>110001</DataID>
  <DeviceTypeName>Typ STCN1</DeviceTypeName>
- <LogicalNode>
  <DataID>110001</DataID>
  <NodeName>STCN1</NodeName>
- <Setting>
  <DataID>110001</DataID>
  <NodeName>STCN1</NodeName>
  <ValueName>IM</ValueName>
  <Value>600</Value>
  <Unit>A</Unit>
</Setting>
- <Setting>
  <DataID>110001</DataID>
  <NodeName>STCN1</NodeName>
  <ValueName>I</ValueName>
  <Value>900</Value>
  <Unit>A</Unit>
</Setting>
- <Setting>
  <DataID>110001</DataID>
  <NodeName>STCN1</NodeName>
  <ValueName>UR</ValueName>
  <Value>R</Value>
</Setting>
</LogicalNode>
</DeviceData>
</ProtectionData>

```

Bild 4: Schutzdaten im XML-Format

Die relationalen 1-zu-n-Beziehungen in den Tabellen entsprechen hier den geschachtelten Strukturen im XML-Format. Beispielhaft ist hier lediglich ein Datensatz „DeviceData“ mit der ID 110001 beschrieben. Dieser Datensatz enthält eine logische Gruppe „LogicalNode“ mit dem Namen „STCN1“. Innerhalb der logischen Gruppe sind unter „Setting“ verschiedene Einstellwerte vorhanden. Reale Datensätze sind natürlich wesentlich umfangreicher. In den untergeordneten Elementen könnte auf das Nennen des Schlüssels des übergeordneten Elements verzichtet werden, da die Beziehungen bereits durch die Schachtelungen festgelegt werden. In dieser Ausgabe werden jedoch alle Primärschlüssel wiederholt, um das automatisierte Einlesen durch Standard-Programmrountinen zu erleichtern.

Auch die Metadaten, die einmalig zur Beschreibung des Relaisstyps benötigt werden, können im XML-Format abgelegt werden. Das folgende Bild zeigt ein verkürztes Beispiel im XML-Format. Hier ist die logische Gruppe mit dem Namen „STCN1“

beschrieben. Sie enthält unter „DLL_File“ einen Verweis zur zugehörigen DLL-Datei der Komponente, in der ein Modell zur Beschreibung der Funktionalität der Komponente „STCN1“ abgelegt ist. In diesem Falle liegt eine einfache Überstromanregung vor. Untergeordnet sind unter „DataObject“ die Einstellgrößen „IM“ und „I>“ beschrieben. „IM“ dient zur Ablage des Summenstrom-Schwellwerts. „I>“ ist die Einstellgröße zur Ablage des Überstrom-Schwellwerts.

```
<?xml version="1.0" standalone="yes" ?>
- <LNNodeData xmlns="http://tempuri.org/LNodeData.xsd">
- <LNNode>
  <NodeName>STCN1</NodeName>
  <LongName>Überstromanregung</LongName>
  <XML_File>MetaSTCNX.xml</XML_File>
  <DLL_File>STCNX.dll</DLL_File>
  <DLLConfig>>false</DLLConfig>
- <DataObject>
  <NodeName>STCN1</NodeName>
  <ValueName>IM</ValueName>
  <ValueType>Decimal</ValueType>
  <HmiText>Schwellwert Summenstrom</HmiText>
  <Default>0</Default>
  <DefaultUnit>A</DefaultUnit>
  <MinExcl>0</MinExcl>
  <Mandatory>>false</Mandatory>
</DataObject>
- <DataObject>
  <NodeName>STCN1</NodeName>
  <ValueName>I></ValueName>
  <ValueType>Decimal</ValueType>
  <HmiText>Schwellwert Überstrom</HmiText>
  <Default>0</Default>
  <DefaultUnit>A</DefaultUnit>
  <MinExcl>0</MinExcl>
  <Mandatory>>true</Mandatory>
</DataObject>
</LNNode>
</LNNodeData>
```

Bild 5: Metadaten im XML-Format

4.2 Relaismodelle in Komponenten

Die Modellierung der Relaisfunktionalitäten erfolgt in Komponenten, die dynamisch zur Laufzeit eingebunden werden können und über feste Schnittstellen angesprochen werden können. Diese Komponenten befinden sich in einer Sammlung von DLL-Dateien. Spezielle Komponenten sind in der Lage MATLAB/SIMULINK [9] anzusprechen. Andere Komponenten könnten beispielsweise die Verbindung zu Microsoft Excel herstellen. Einfache Komponenten, beispielsweise die Überstromanregung, enthalten direkt ein Modell zur Nachbildung der Funktionalität, das über feste Schnittstellen angesprochen werden kann. Verschiedene Komponenten, beispielsweise die konventionelle Unterimpedanzanregung, sind konfigurierbar. In den Konfigurationsdateien, sind beispielsweise U-I-Punkte zur Beschreibung der Abhängigkeit zwischen Ansprechstrom und Spannung abgelegt. Auch hier wurde das XML-Format zur Ablage der Daten sinnvoll genutzt.

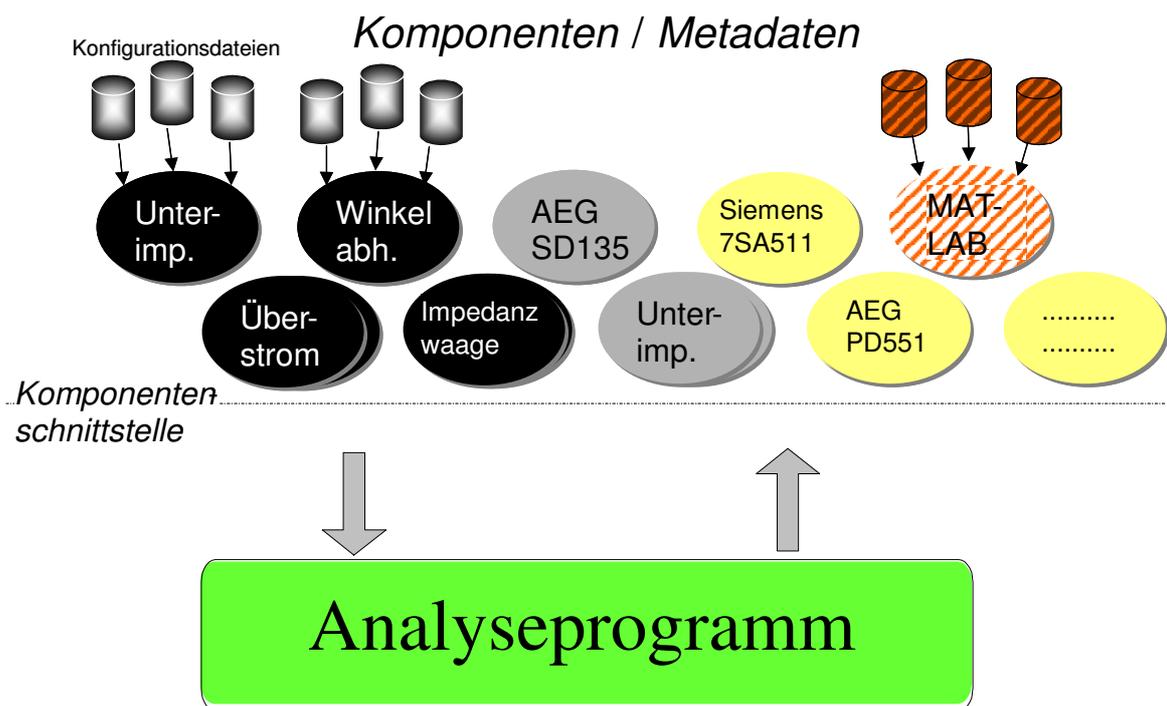


Bild 6: Relaismodelle in Komponenten

4.3 Visualisierung der Daten

Zur Visualisierung aller Daten, dazu gehören die Relaisbauorte, die Schutz-Einstelldaten, die Metadaten und die Analyseergebnisse dient ein speziell angepasstes Programm. Zusätzlich sind bei den Schutzdaten und bei den Metadaten auch Editierfunktionen zur Pflege der Daten integriert.

Dort wo die Schutzdaten visualisiert werden, können sie auch geändert werden. In der Praxis erhöht diese Vorgehensweise die Benutzerfreundlichkeit, da auf zusätzliche Dialogfelder und Masken zur Eingabe ganz verzichtet werden kann.

Das folgende Bild zeigt eine typische Ausgabe zur Visualisierung der Daten.

The screenshot displays the Sandia XP software interface. On the left, a tree view shows the network topology under 'Netztopologie'. It includes a 'Netzgruppe' section with 'NETZGRUPPE 380 KV, WEST' and 'NETZGRUPPE 21 KV, EINSPI.' containing sub-groups like 'NETZGRUPPE 110 KV, MITTE' and 'NETZGRUPPE 380 KV, OST'. Below these are tables for 'Standort' (Location) and 'Rel' (Relay) data.

The main window on the right shows a detailed view of protection parameters. It features a menu bar with 'XML-Schutzdaten', 'XML-Metadaten', and 'Ergebnis-Browser'. The data is organized into several tables:

Param.-Nr.	Relaistyp	Hersteller	Text	Fehler-Anz			
110001	Typ STCN1						
log. Gruppe		Beschreibung	Konfiguration	Text			
STCN1		Überstromanregung					
Bezeichner	Beschreibung	Wert	Einheit	Text			
IM	Schwellwert Summenstrom	600	A				
I>	Schwellwert Überstrom	900	A				
UR	Arbeitsweise ungerichtet oder	R					
Rel	Standort	KN	UKKN	Un	EleName1	EleName2	UKEL
H	JENS	DF		21	TR-1	BERTA 2 JENS	
H	SAMUEL	DF		110	TR-2	AUSGLWG1 CAESAR SAM	
H	BERND	DF		110	L090	BERND YBERNDA	

Param.-Nr.	Relaistyp	Hersteller	Text	Fehler-Anz			
120001	Typ STCN2						
log. Gruppe		Beschreibung	Konfiguration	Text			
STCN2		Überstromanregung zweistufi					
Bezeichner	Beschreibung	Wert	Einheit	Text			
IM	Schwellwert Summenstrom	500	A				
I>	Schwellwert Überstrom	800	A				
I>>	Schwellwert Überstrom 2. Stu	1500	A				
Rel	Standort	KN	UKKN	Un	EleName1	EleName2	UKEL
H	PAUL	DF		220	TR-3	AUSGLWCK FRITZ PAUL	
A	BERTA	1		380	L007	BERTA 1 CAESAR	

Param.-Nr.	Relaistyp	Hersteller	Text	Fehler-Anz
120002	Typ STCN2			
log. Gruppe		Beschreibung	Konfiguration	Text
STCN2		Überstromanregung zweistufi		

Bild 7: Visualisierung der Daten

Im linken Drittel der Benutzeroberfläche in Bild 7 sind die Relaiseinbauorte aufgelistet. In der grünen Untertabelle unter der Spaltenbezeichnung „Rel“ ist ein Distanzschutzgerät mit der Bezeichnung „H“ dargestellt. Die übergeordneten Tabellen dienen lediglich zur Bezeichnung des Einbauortes. Das Distanzschutzgerät verweist durch den Eintrag mit der Nummer „11001“ auf den Datensatz mit der Parameternummer „11001“, dessen Inhalt in den zwei Dritteln auf der rechten Seite unter „XML-Schutzdaten“ aufgelistet ist. In diesem Beispiel enthält das angesprochene Schutzgerät nur eine logische Gruppe „STCN1“, die die Daten des Anregemoduls „Überstromanregung“ enthält. Der Datensatz wird aber nicht nur von dem angesprochenen Distanzschutzgerät, sondern gleichzeitig von zwei weiteren Distanzschutzgeräten genutzt. Dies wird in der zweiten grauen Untertabelle auf der rechten Seite deutlich.

Die Baumstruktur der Daten wird bei der Visualisierung durch Verbindungslinien am linken Rand und zusätzlich durch Farben kenntlich gemacht. Nicht benötigte Daten können durch Klicken auf das Minus-Symbol ausgeblendet werden. Ein Klicken auf das Plus-Symbol macht ausgeblendete Daten wieder sichtbar. Probleme beim Ausdruck durch überlange Zeilen bestehen nicht.

Die Metadaten beschreiben die Daten. Sie werden einmal bei Programmstart geladen. Enthalten ist ein Querverweis zur DLL-Datei, in der die Funktionalität der Komponente hinterlegt ist, beispielsweise das Anregeverhalten. Ebenso wie die Einstelldaten können auch die Metadaten visualisiert werden. Dies geschieht auf einem speziellen Registerblatt, das in der Datendarstellung oben auf der rechten Seite angewählt werden kann. Es erscheint typischerweise die folgende Ausgabe, die als Beispiel die Metadaten des Anregemoduls des digitalen Distanzschutzgerätes Siemens 7SA511 zeigt.

XML-Schutzdaten											
... mit Filter											
XML-Metadaten											
Ergebnis-Browser											
log. Gruppe	XML-Datei	LongName							DLL-Datei	konfigurierbar	
STCD2	MetaSTCDX.xml	Impedanzanregung digital Siemens 7SAxxx							STCDX.dll	<input type="checkbox"/>	
STCD3	MetaSTCDX.xml	Impedanzanregung digital Siemens 7SA511							STCDX.dll	<input type="checkbox"/>	
Bezeichner	Wertetyp	Beschreibung	Default	Einheit	Min	Max	Step	MinExcl	MaxExcl	Werte-Reihe	Pflicht
AP	String	Anregeprogramm	B	-						B#B - beides;E#E	<input type="checkbox"/>
U Bezug	Decimal	Bezugsspannung	0	kV				0			<input type="checkbox"/>
I Bezug	Decimal	Bezugsstrom	0	A				0			<input checked="" type="checkbox"/>
IE>	Decimal	Summenstrom-Anregung	0	p.u.				0			<input checked="" type="checkbox"/>
ST	Decimal	Steigung Summenstrom-An	0	p.u.	0						<input type="checkbox"/>
UE>	Decimal	Erdspannungs-Anregung	0	p.u.				0			<input type="checkbox"/>
I>>	Decimal	Überstrom-Anregung	0	p.u.				0			<input checked="" type="checkbox"/>
I min	Decimal	Mindeststrom für Impedanz	0	p.u.				0			<input checked="" type="checkbox"/>
RA1	Decimal	Resistanz 1 für Leiter-Leiter	0	Ohm				0			<input checked="" type="checkbox"/>
RA2	Decimal	Resistanz 2 für Leiter-Leiter	0	Ohm				0			<input checked="" type="checkbox"/>
RAE	Decimal	Resistanz für Leiter-Erde	0	Ohm				0			<input checked="" type="checkbox"/>
X+A	Decimal	Reaktanzwert vorwärts	0	Ohm				0			<input checked="" type="checkbox"/>
X-A	Decimal	Reaktanzwert rückwärts	0	Ohm				0			<input checked="" type="checkbox"/>
RE/RL	Decimal	Widerstandsverh. Erdfehler	0	-	-10	10					<input checked="" type="checkbox"/>
XE/XL	Decimal	Reaktanzverh. Erdfehleran	0	-	-10	10					<input checked="" type="checkbox"/>
log. Gruppe	XML-Datei	LongName							DLL-Datei	konfigurierbar	
STCD4	MetaSTCDX.xml	UI-Anregung digital Siemens 7SA511							STCDX.dll	<input type="checkbox"/>	
Bezeichner	Wertetyp	Beschreibung	Default	Einheit	Min	Max	Step	MinExcl	MaxExcl	Werte-Reihe	Pflicht
AP	String	Anregeprogramm	B	-						B#B - ULE bei Erd	<input type="checkbox"/>

Bild 8: Visualisierung der Metadaten

Bei konfigurierbaren logischen Gruppen enthält die zugewiesene DLL-Datei auch die Routinen zur Datenpflege der Konfigurationsdateien. Es können neue Konfigurationsdateien angelegt oder auch vorhandene Daten geändert werden.

4.4 Datenablage im RIO-Format

Die Einsetzbarkeit des RIO-Datenformat [3] der Firma OMICRON im Hinblick auf dieses AiF-Forschungsvorhaben wurde untersucht. „RIO“ steht für „Relay Data Interchange Format by OMICRON“.

Der Datenumfang dieser Schnittstelle ist vorwiegend auf Relais-Prüfgeräte zugeschnitten. Enthalten sind neben einigen wenigen Anrege-Einstellwerten in der aktuellen Version 2.1 lediglich Beschreibungen der Kennlinien. In welcher Form diese Kennlinien einstellbar sind, ist aus den Daten nicht ersichtlich. Der Zusammenhang zwischen den Kennlinien und den Einstellwerten fehlt. Eine Beschreibung der Funktionalität, die man für eine Modellierung nutzen könnte, ist nicht vorhanden. Das Format ist ähnlich wie eine Programmiersprache gut strukturiert, jedoch wenig zeitgerecht, da es ein stark proprietäres Format ist, das mit Standard-Tools nicht eingelesen und nicht bearbeitet werden kann. Für das RIO-Datenformat spricht, dass die Daten von den meisten Relais-Parametrierprogrammen der Hersteller automatisch erzeugt werden.

Über Relais-Parametrierprogramme werden die digitalen Schutzgeräte eingestellt. Gleichzeitig wird von diesen Parametrierprogrammen ein Datensatz im RIO-Datenformat erzeugt, der als Eingabedatei für die Prüf-Software dient. Das Prüfgerät ist dadurch in der Lage, nach Bestimmung der Ist-Kennlinien des Schutzgerätes einen Soll-Ist-Vergleich durchzuführen.

Die Erweiterungsmöglichkeiten des Datenformats wurden zusammen mit Mitarbeitern der Firma OMICRON diskutiert. OMICRON hat sich entschlossen, das Format grundlegend zu überarbeiten und dabei auch den Wechsel zum XML-Standard zu vollziehen. Dieses Format soll auch die Abhängigkeiten zwischen den Einstellgrößen und den Kennlinien enthalten. Zusätzlich finden sich hier Minimum- und Maximumwerte für die Einstellungen. Dieses Format befindet sich aber zur Zeit noch im Entwicklungsstadium und kann deshalb noch nicht genutzt werden. Auch die vorhandenen Relais-Parametrierprogramme sind noch nicht auf dieses neue Format eingerichtet.

Der gewählte Algorithmus zur Einstellungsoptimierung (siehe Abschnitte 5.4 und 5.5) ist unabhängig von der Form der Kennlinie. Die Daten der RIO-Schnittstelle werden deshalb im Hinblick auf dieses AiF-Forschungsvorhaben nicht zwingend benötigt. Eine spätere Einbindung der erweiterten RIO-Daten wurde vorgesehen.

5 Optimierte Staffelung

5.1 Problemanalyse und Lösungsweg

Die Ausgangssituation ist der Kurzschlusseintritt, der in jedem Fall ein dynamischer Vorgang ist. Der zeitliche Verlauf von Strom und Spannung kann nur dann exakt bestimmt werden, wenn sowohl das Netz als auch die Sekundärtechnik dynamisch nachgebildet und im Zusammenwirken berechnet werden. Zur Sekundärtechnik gehören die Distanzschutzeinrichtungen. Das Resultat sind Strom- und Spannungsverläufe, die sowohl bei Kurzschlusseintritt als auch bei jeder Schaltänderung im Verlauf des Kurzschlussklärung neuen dynamischen Ausgleichsvorgängen unterworfen sind.

5.1.1 Dynamische Nachbildung von Distanzschutzgeräten

Die Ermittlung der Impedanz im Gerät erfolgt nicht mit Hilfe der Effektivwerte von Strom und Spannung, sondern mit Hilfe der Auswertung von Strom- und Spannungsänderungen im zeitlichen Verlauf. Eine Messung der Effektivwerte würde im Gerät zu unakzeptablen Verzögerungen führen, da vor dem Ablauf der ersten Halbwelle keine sinnvolle Messung möglich ist. Zum anderen wäre diese Art der Messung recht ungenau.

Die Ausgangsbasis bei der Messung der Impedanz im Gerät ist in der Regel eine Differentialgleichung erster Ordnung zur Modellierung der Leitung [6] [8].

$$u_M = R \cdot i_M + L \cdot \frac{di_M}{dt}$$

Gleichung 4: Leitungs-Differentialgleichung

mit

- R : Resistanz der Leitung
- L : Induktivität der Leitung
- u_M : Zeitwert der Spannung am Messort
- i_M : Zeitwert des Stromes am Messort
- $\frac{di_M}{dt}$: Differentialquotient Änderung des Messstromes nach der Zeit

Zur Lösung dieser Differentialgleichung liegen im Gerät diskrete Messwerte für Strom und Spannung vor, die durch eine Abtastung beispielsweise bei einer Frequenz von 500 Hz ermittelt werden. Es gibt verschiedene Algorithmen, die unbekanntes Größen Resistanz R und Induktivität L mit Hilfe der diskreten Messwerte zu ermitteln. Alle Algorithmen sind jedoch mit einem gewissen Fehler behaftet, der durch anschließende digitale Filterung vermindert werden kann.

Die komplette dynamische Modellierung des Distanzschutzgerätes muss deshalb die genaue Methode der Impedanzermittlung und Filterung sowie alle Programmabläufe bei Anregung, Richtungsbestimmung, Messgrößenauswahl und Distanzentscheid enthalten. Nicht nur der Distanzentscheid ist mit einem Zeitglied zur Abschaltverzögerung behaftet. In digitalen Relais finden sich an verschiedenen Stellen weitere Zeitglieder, die den internen Ablauf signifikant beeinflussen. Ein Beispiel ist hier die Anregemithnahme bei einer einpoligen Anregung ohne Erdstromanregung. Auch diese Zeitglieder sollten in einem genauen dynamischen Modell berücksichtigt werden.

5.1.2 Dynamische Nachbildung des Netzes

Die dynamische Nachbildung des Netzes sollte die Nachbildung der Ausgleichsvorgänge im Generator und die Generator-Regeleigenschaften enthalten [6]. Nur so kann das Zeitverhalten im Sekundenbereich nach dem Kurzschluss richtig errechnet werden. Die bezogene Reaktanz x_d'' des Generators, mit der üblicherweise bei der quasi-stationären Kurzschlussstromberechnung gerechnet wird, hat im Sekundenbereich nach dem Kurzschluss keine Gültigkeit mehr, da die bestimmenden Ausgleichsvorgänge im Generator bereits abgeklungen sind. Die aktuelle treibende Spannung im Zeitbereich kann ohne Berücksichtigung der Generatorregelung nicht bestimmt werden. Dies hat zur Folge, dass die quasi-stationäre Rechnung ohne Berücksichtigung der dynamischen Modelle im Sekundenbereich zwangsläufig ungenaue Ergebnisse liefert.

5.1.3 Fazit

Die komplette dynamische Modellierung von Netz und Distanzschutzgeräten ist eine komplexe Aufgabe, die bisher nur in kleineren Netzen gelungen ist. Bei einem größeren Netz, beispielsweise beim UCTE-Verbundnetz, würde diese Art der Nachbildung schnell an der enormen Datenflut und an der Komplexität der Abhängigkeiten scheitern.

In der Praxis durchgesetzt hat sich die quasi-stationäre Kurzschlussrechnung nach DIN EN 60909-0 (VDE 0102) [4]. Bei einer konkreten Fehleruntersuchung, bei der die

Lastflusssituation bekannt ist, bietet sich das Verfahren der Lastfluss-Überlagerung an, das aber auch nur ein quasi-stationäres Ergebnis liefert, dessen Gültigkeit auf den ersten Augenblick nach Fehlerbeginn beschränkt ist. Die nicht-linearen Eigenschaften des Lichtbogens gehen nur näherungsweise in die Rechnung ein.

Damit einhergehend haben sich Relaismodelle durchgesetzt, die das dynamische Verhalten der Distanzschutzgeräte und die Zeitschleifen innerhalb des Gerätes vernachlässigen und nur das binäre Verhalten nachbilden. Auch im AiF-Forschungsvorhaben 11610 N „Parametrierung von Schutzeinrichtungen in elektrischen Energieversorgungsnetzen“ sind derartige Relaismodelle zu finden.

Bei den genannten Vereinfachungen in den Netz- und Relaismodellen kann der Ablauf bei der Fehlerklärung in jedem Falle nur näherungsweise bestimmt werden. Sinnvoll ist deshalb in diesem Zusammenhang von wahrscheinlichen Schaltfolgen zu sprechen. Im nächsten Abschnitt wird eine Vorgehensweise vorgestellt, wie diese wahrscheinlichen Schaltfolgen ermittelt werden können.

5.2 Ermittlung der wahrscheinlichen Schaltfolge

Bei einem Schutzversager muss die Fehlerklärung durch die nachgeordneten Relais erfolgen. Hier ist die folgende Schaltfolge wahrscheinlich. Diese Schaltfolge wurde zusammen mit Schutzfachleuten von Energieversorgungsunternehmen ermittelt und resultiert aus den in der Praxis üblichen Einstellungen der Netzschutzgeräte. Bei der Anregeanalyse großer Netze von Energieversorgungsunternehmen wurde diese Schaltfolge bereits erfolgreich eingesetzt und getestet.

1. Ausgangssituation: Ein fehlerbehaftetes Schutzobjekt hat mehrere Anschlüsse mit Distanzschutzgeräten. Zur Untersuchung des Reservefalles wird ein einfacher Schutzversager angenommen, d.h. alle Anschlüsse, bis auf den Anschluss mit dem Schutzversager werden abgeschaltet. Dies ist der Zeitpunkt t_1 .
2. Das angeregte Relais in der Sammelschienenkupplung am Standort des Schutzversagers schaltet zuerst. Dies ist der Zeitpunkt t_2 .
3. Die benachbarten Reserverelais des Schutzversagers, die den Fehler in Vorwärtsrichtung sehen, schalten aus. Dies gilt unter der Voraussetzung, dass sie sowohl zum Zeitpunkt t_1 als auch zum Zeitpunkt t_2 angeregt sind. Dies ist der Zeitpunkt t_3 .

4. Die Relais zwischen Reserverelais und Schutzversager, die den Fehler in Rückwärtsrichtung sehen, schalten aus. Dies gilt unter der Voraussetzung, dass sie zu den Zeitpunkten t_1 , t_2 und t_3 angeregt sind. Dies ist der Zeitpunkt t_4 . Im Allgemeinen erfolgt spätestens zu diesem Zeitpunkt die endgültige Fehlerklärung.

Diese Art der Ermittlung der Schaltfolge ist nur abhängig von der Anregung. Es gehen keine weiteren Distanzschutzeinstellungen in die Schaltfolge ein. Dies hat den Vorteil, dass die Distanzschutzoptimierung ohne Iterationsschritte erfolgen kann. Andernfalls würden die Ergebnisse der Distanzschutzoptimierung die Schaltfolge beeinflussen, die die Ausgangsbasis für die Distanzschutzoptimierung ist.

5.3 Ermittlung der optimierten Einstellwerte

Die Einstellung der ersten Staffelstufe ist in der Regel unproblematisch. Die kilometrische Staffelung (siehe Abschnitt 3) liefert hier sinnvolle Ergebnisse. Die Einstellimpedanz ist in der Regel die Leitungsimpedanz multipliziert mit dem Staffelfaktor, z.B. 0,9. Dies bedeutet, dass Fehler auf 90 % der Leitungslänge in Schnellzeit abgeschaltet werden, dahinter liegende Fehler im Bereich 90 % bis 100 % lediglich in der zweiten Zeitstufe. Bei Dreibeinen oder T-Schaltungen mit unterschiedlichen Teilimpedanzen ist dieser Bereich noch größer. Um Überreichweiten zu vermeiden, wird ausgehend vom jeweiligen Schutzgerät die kleinste der beiden möglichen Pfadimpedanzen ermittelt und anschließend mit dem Staffelfaktor multipliziert. Abhilfe schaffen hier Signalverbindungen zwischen den Schutzgeräten, die im Gerät unabhängig von der gemessenen Impedanz die Auslösung in der ersten Zeitstufe erzwingen, wenn eines der beiden gegenüberliegenden Schutzgeräte eine Impedanz innerhalb der ersten Staffelstufe ermittelt hat.

Die Optimierung der zweiten Stufe ist wesentlich komplexer. An dieser Stelle wird die grundsätzliche Vorgehensweise in diesem AiF-Forschungsvorhaben beschrieben. Im nächsten Abschnitt wird zur Verdeutlichung diese Vorgehensweise exemplarisch angewendet.

Zur Optimierung der zweiten Stufe werden im ersten Schritt ausgehend vom zu optimierenden Relais topologisch die Relaiseinbauorte gesucht, für die das Relais eine Reserveschutzfunktion übernehmen muss. Diese Relais stellen die jeweiligen Schutzversager dar. Es werden nur einfache Schutzversager untersucht, d.h. ein gleichzeitiger Ausfall zweier Hauptschutzgeräte kommt wegen der geringen Eintrittswahrscheinlichkeit nicht in Betracht.

Jedem der gefundenen Schutzversager ist eindeutig ein Schutzobjekt zugeordnet. Bei einer Leitung ist dies ein einfaches Zweitor mit zwei Anschlüssen. Es können jedoch auch Dreitore mit einem Abzweigpunkt im Verlauf der Leitung sein. Auch Viertore sind in Mittelspannungsnetzen keine Seltenheit. Da nur einfache Schutzversager betrachtet werden, sind alle Anschlüsse, bis auf den Anschluss des Schutzversagers, abgeschaltet.

Nacheinander wird an den abgeschalteten Anschlüssen der Fehler am offenen Leitungsende gerechnet. Der Fehlerort befindet sich also auf leitungsseitig nahe am abgeschalteten Leistungsschalter. Entsprechend den Regeln zur Ermittlung der wahrscheinlichen Schaltfolge im vorangegangenen Abschnitt 5.2 werden nun sukzessive die nächsten Abschaltungen bestimmt bis das zu optimierende Relais selbst abschaltet und deshalb eine weitere Impedanzmessung entfällt.

Für jeden der gefundenen Fehlerfälle und Netzschaltungen ergibt sich am zu optimierenden Relais, sofern es angeregt ist, eine gemessene Impedanz. Um Überreichweiten und damit nicht selektive Abschaltungen zu vermeiden, wird die kleinste dieser Impedanzen ermittelt und anschließend mit dem Staffelfaktor beaufschlagt. Dieser Wert ist nach diesem Verfahren der optimierte Einstellwert. In der Regel ist er deutlich größer als der Wert, der sich aus der kilometrischen Staffelung entsprechend Abschnitt 3 ergibt. Die damit verbundene Verschiebung der Kippunkte wirkt sich günstig auf die Betriebssicherheit aus. Dies wird im nächsten Abschnitt anhand eines Beispiels verdeutlicht.

5.4 Exemplarisches Vorgehen bei der Ermittlung optimierter Einstellwerte

Die Einstellung der zweiten Staffelstufe soll an dieser Stelle optimiert werden. Die Grundlage ist die wahrscheinliche Schaltfolge, die im vorangegangenen Abschnitt beschrieben wurde.

Ausgehend vom zu optimierenden Relais werden die Fehlerfälle ermittelt, bei denen das Relais eine Reservefunktion übernehmen muss. In den folgenden Bildern ist das zu analysierende Relais mit „Relais1“ bezeichnet und blau hinterlegt. Aus der topologischen Analyse ergeben sich in dem gewählten Beispiel drei Fehlerfälle für die Reservefunktion des Relais.

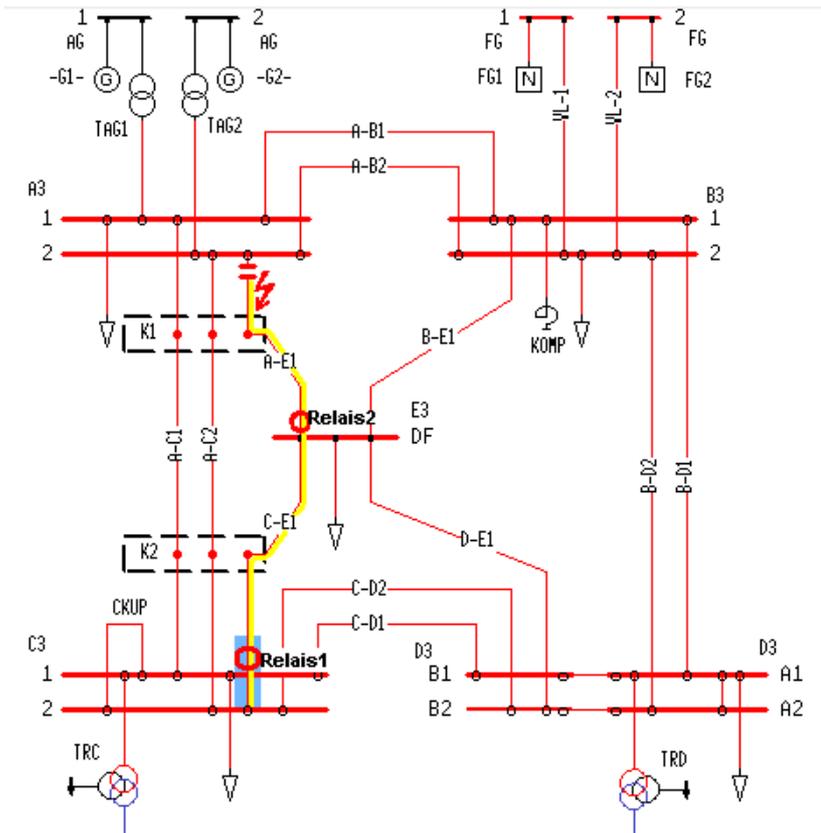


Bild 9: Schutzstrecke 1

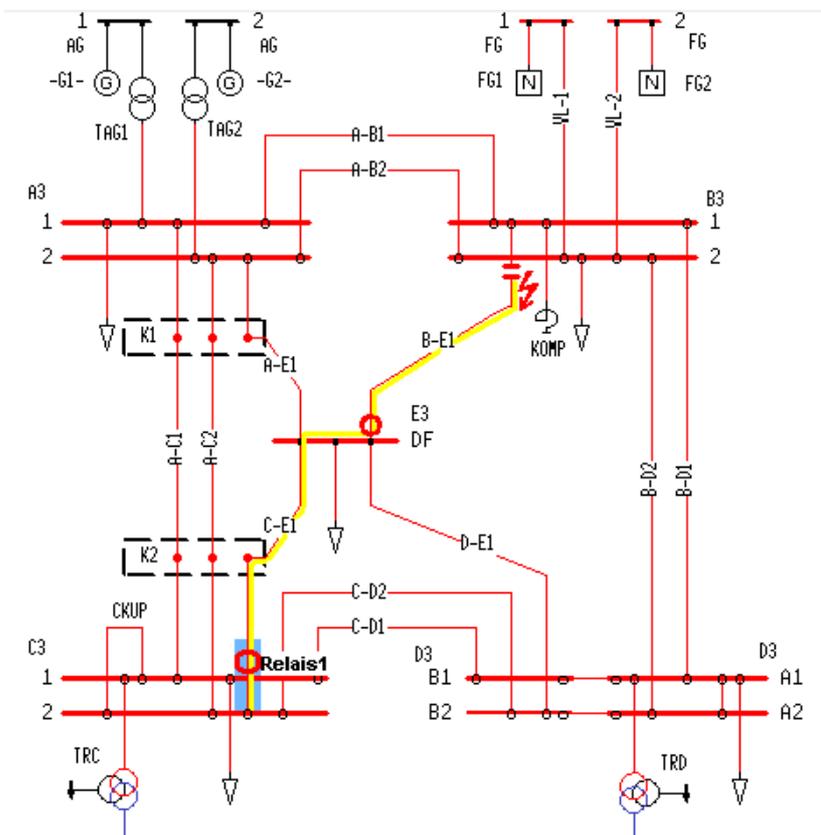


Bild 10: Schutzstrecke 2

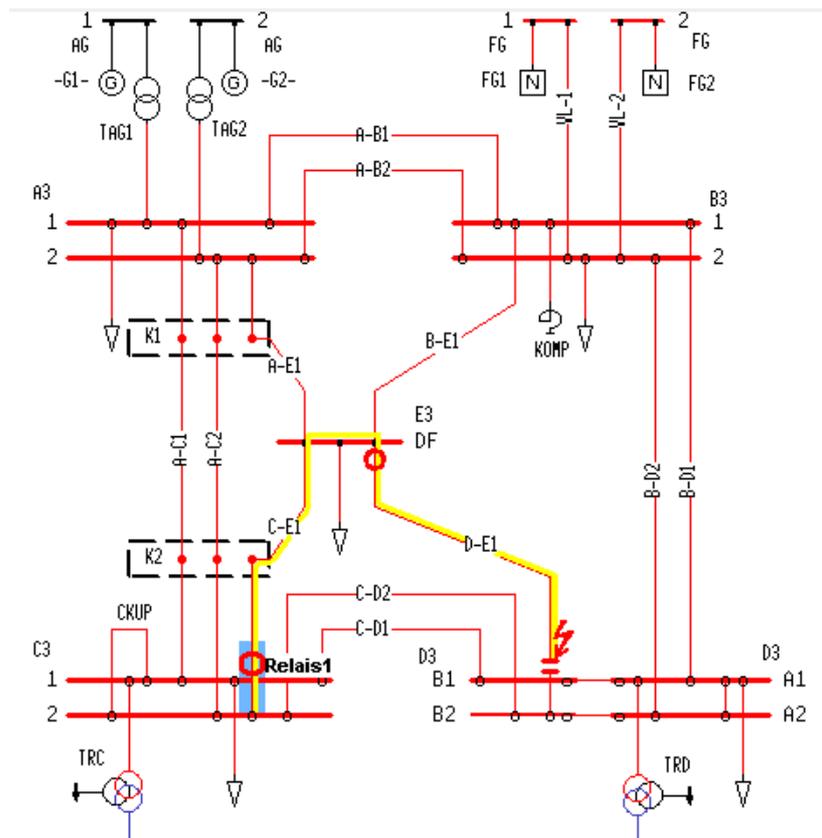


Bild 11: Schutzstrecke 3

Entsprechend den Fehlerfällen entstehen drei Schutzstrecken, das sind die jeweiligen Leitungsstrecken zwischen Relais und Fehlerort. Diese Schutzstrecken sind in den Bildern gelb hinterlegt. Beispielsweise übernimmt „Relais1“ in Bild 9 eine Reservefunktion für „Relais2“. Der Kurzschlussort befindet sich an der gegenüberliegenden Seite von „Relais2“ am offenen Leitungsende.

Für jeden dieser drei Fehlerfälle wird die wahrscheinliche Schaltfolge ermittelt, die im vorangegangenen Abschnitt beschrieben wurde. Das Öffnen der Sammelschienenkupplung entfällt, da in diesem Falle in der Mitte des Bildes am Standort des Schutzversagers nur eine Einfach-Sammelschiene vorhanden ist.

Bei der Schutzstrecke 1 ergibt sich der nächste Schritt bei der Ermittlung der wahrscheinlichen Schaltfolge aus einer Kurzschlussrechnung bei dreipoligem Kurzschluss. Dabei werden für alle Relais, die eine Reservefunktion übernehmen müssen, die Anregungen bestimmt. Auch für die vorgelagerten Relais in Rückwärtsrichtung, die zwischen Schutzversager und Reserverelais angeordnet sind, werden die Angewerte bestimmt. Die gemessene Impedanz von Relais1 ist Grundlage für die spätere Optimierung der Einstellung.

Entsprechend den Regeln zur Ermittlung der wahrscheinlichen Schaltfolge in Abschnitt 5.2 schalten im nächsten Schritt die angeregten Relais in Vorwärtsrichtung aus. Diese Relais sind im obigen Bild mit einem Pfeil gekennzeichneten Relais gekennzeichnet. Zu diesen Relais gehört auch das zu optimierende Relais selbst. Eine weitere gemessene Impedanz entfällt hier also.

Die endgültige Fehlerklärung erfolgt durch das Relais, das den Fehler in Rückwärtsrichtung sieht. Dieses Relais ist im folgenden Bild 13 mit einem Pfeil gekennzeichnet. Die Schutzstrecke 1 ist damit komplett abgearbeitet.

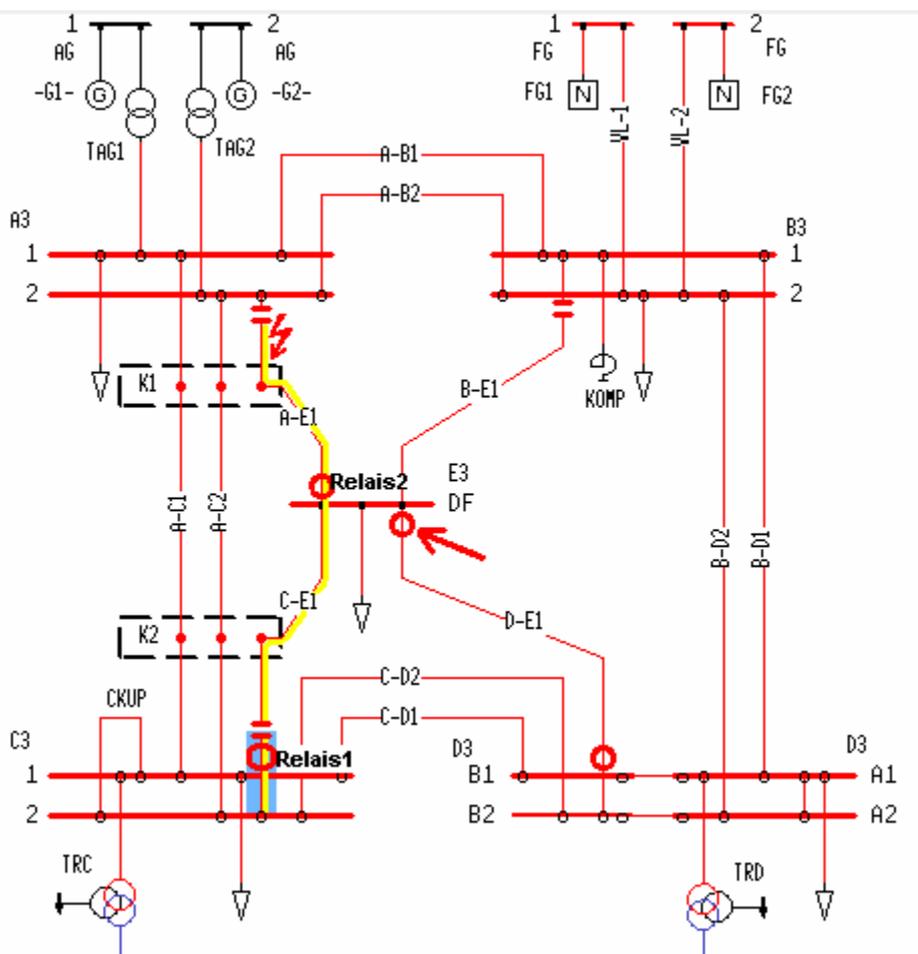


Bild 13: Schutzstrecke 1 – Bestimmung der nächsten Abschaltung

Die wahrscheinliche Schaltfolge wird jetzt für die Schutzstrecke 2 bestimmt. Nach einer Kurzschlussrechnung ergibt sich das folgende Bild 14, bei dem alle Reserveschutzrelais in Vorwärtsrichtung anregen. Diese Reserveschutzrelais sind in diesem Bild mit einem Pfeil gekennzeichnet.

Die Schutzstrecke hat eine summierte Leitungsimpedanz:

$$R = 5,4 \text{ Ohm} \quad X = 51 \text{ Ohm}$$

Die gemessene Impedanz ist:

$$R = 8,8 \text{ Ohm} \quad X = 82 \text{ Ohm}$$

Auch hier ist die gemessene Impedanz deutlich größer als die Leitungsimpedanz.

Durch die Abschaltungen wird der Fehler komplett abgeschaltet.

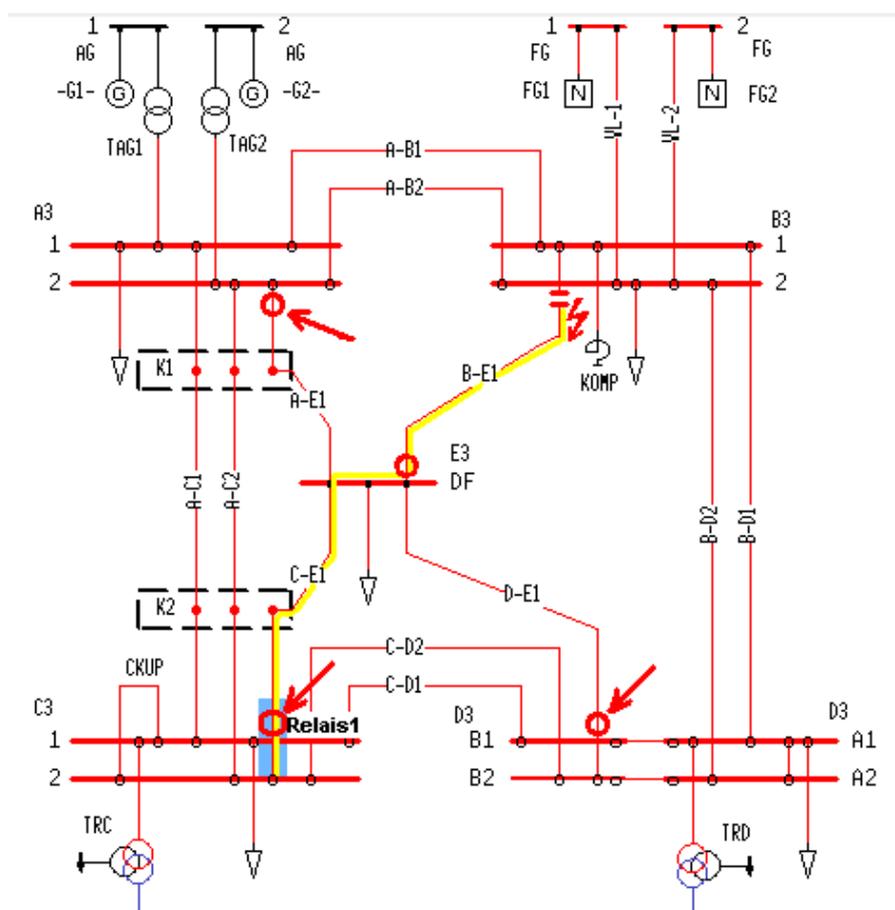


Bild 14: Schutzstrecke 2 – Ermittlung der nächsten Abschaltungen

Bei Schutzstrecke 3 ist die Situation etwas komplexer. Relais 1 hat nämlich nicht sofort Anregung, sondern erst nachdem die anderen beteiligten Reserveschutzrelais abschalten. Dies machen die folgenden beiden Bilder deutlich.

Für Schutzstrecke 3 gelten die folgenden Werte am zu optimierenden Relais „Relais1.“

Die Schutzstrecke hat eine summierte Leitungsimpedanz:

$$R = 8,2 \text{ Ohm} \quad X = 76,2 \text{ Ohm}$$

Die gemessene Impedanz ist ebenfalls:

$$R = 8,2 \text{ Ohm} \quad X = 76,2 \text{ Ohm}$$

Diese Werte gelten für eine Schaltung entsprechend Bild 16. Die gemessene Impedanz entspricht genau der Leitungsimpedanz, da Zwischeneinspeisungen durch die Abschaltungen fehlen.

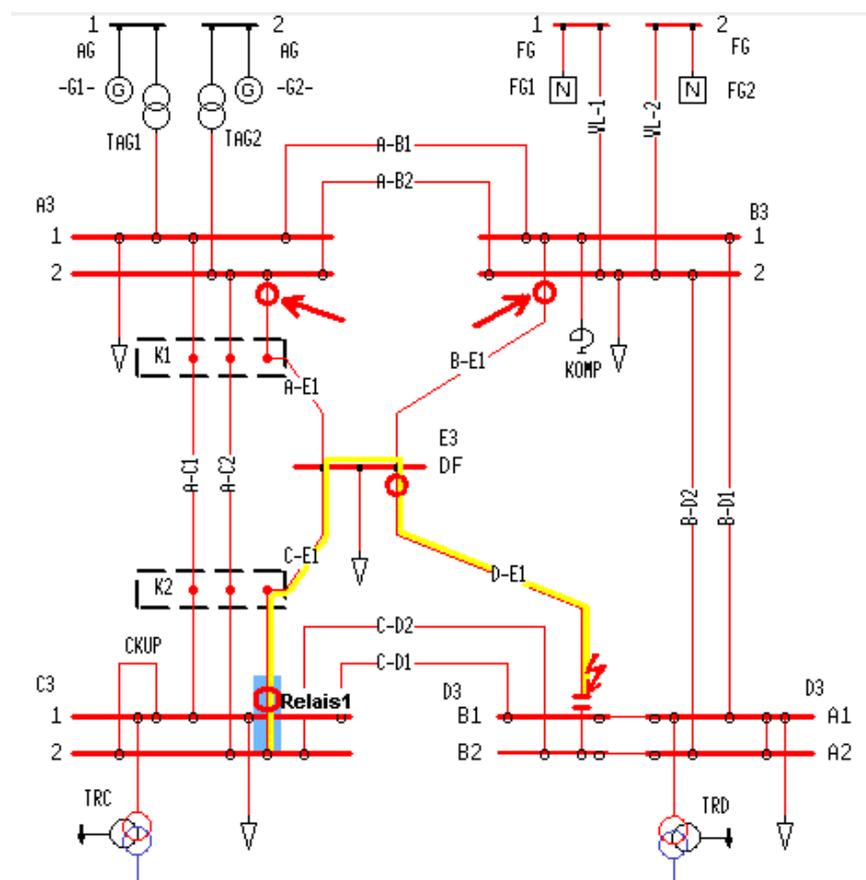


Bild 15: Schutzstrecke 3 - Ermittlung der nächsten Abschaltungen

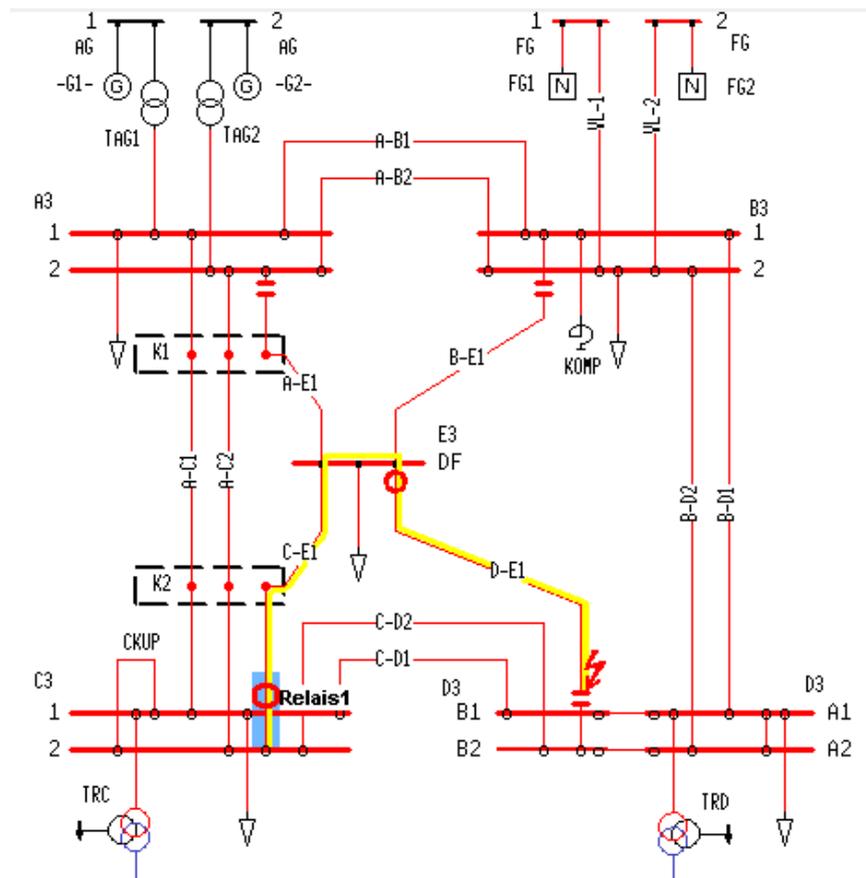


Bild 16: Schutzstrecke 3 – Relais1 mit verspäteter Anregung

Aus jedem der Fehlerfälle, die bei der Reserveschutzfunktion bestimmend sind, ergibt sich für das zu optimierende Relais eine gemessene Impedanz. In dem gewählten Beispiel wurden die folgenden Impedanzen bestimmt.

- 1) $R = 16,8 \text{ Ohm}$ $X = 155,8 \text{ Ohm}$ (entsprechend Bild 12)
- 2) $R = 8,8 \text{ Ohm}$ $X = 82 \text{ Ohm}$ (entsprechend Bild 14)
- 3) $R = 8,2 \text{ Ohm}$ $X = 76,2 \text{ Ohm}$ (entsprechend Bild 16)

Der Wert entsprechend Punkt 3 der Aufzählung gilt jedoch bei verspäteter Anregung. Dimensionierend ist der kleinste der drei Werte. Dadurch werden Überreichweiten und unselektive Abschaltungen vermieden. Wenn man hier auch Messungen bei verspäteter Anregung einschließt, sind dies die Werte $R=8,2 \text{ Ohm}$ und $X=76,2 \text{ Ohm}$.

Diese Impedanz ist immer noch deutlich größer als die kleinste Impedanz, die sich aus der Summation der Leitungsimpedanzen ergibt. In diesem Falle ist dies die Impedanz der Schutzstrecke 2 entsprechend Bild 10. Der Wert dieser Pfadimpedanz

ist $R=5,4$ Ohm und $X=51$ Ohm. Bei Berücksichtigung des Staffelfaktors 0,9 ergibt sich folgende Gegenüberstellung für den Einstellwert der zweiten Stufe von Relais1.

Bei kilometrischer Staffelung: $R_2 = 4,8$ Ohm $X_2 = 44,6$ Ohm

Bei optimierter Staffelung: $R_2 = 7,4$ Ohm $X_2 = 68,6$ Ohm

Das beschriebene Verfahren zur Ermittlung der optimierten Staffelung basiert auf eindeutigen Regeln und ist bei Netzen beliebiger Größe anwendbar. Abschnitt 5.7 zeigt die Visualisierung dieser Optimierungsergebnisse.

5.5 Kennlinien-Formen

Die ermittelten Einstellimpedanzen können über unterschiedliche Kennlinienformen im Schutzgerät realisiert werden. So sind bei den konventionellen Relais kreisförmige Kennlinien üblich. Beispiele sind der Impedanzkreis und der Konduktanzkreis. Bei digitalen Schutzgeräten herrschen Kennlinien vor, die mit Polygonzügen beschrieben werden können. Die einfachste Form ist hier das Rechteck. Die folgenden Bilder zeigen die wichtigsten Kennlinien-Formen. Mit R_1 und X_1 sind die Einstellwerte gekennzeichnet. Zusätzlich ist die Gerade für den Richtungsentscheid dargestellt.

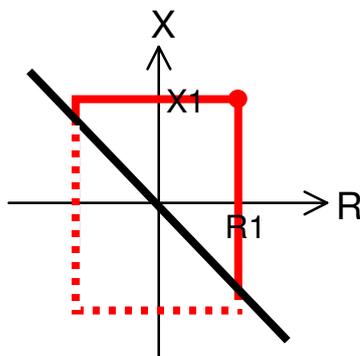


Bild 17: Rechteck

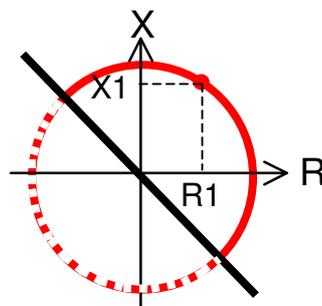


Bild 18: Impedanzkreis

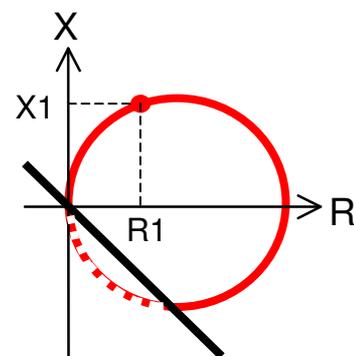


Bild 19: Konduktanzkreis

5.6 Realisierung innerhalb eines Prototyps

Die Realisierung des Prototyps erfolgte innerhalb des Datenmodells, das Ergebnis des AiF-Forschungsvorhabens 12942 N „Erweiterung des DVG-Datenmodells auf MS- und NS-Netze unter Einschluss wirtschaftlicher Optimierungsaufgaben“ [1] [2] entstanden ist. Dieses Datenmodell wurde um Strom- und Spannungswandler und um Distanzschutzgeräte erweitert. Die Programmierung erfolgte objektorientiert in C++ mit Hilfe moderner Entwicklungswerkzeuge. Für C++ spricht der gewaltige Sprachumfang, umfangreiche Unterstützungen durch leistungsfähige Bibliotheken und die hohe Ausführungsgeschwindigkeit.

Die Realisierung des assoziativen Datenmodells und der Kapselung der Funktionalitäten der Schutzgeräte erfolgte in der Programmiersprache „C Sharp“ innerhalb der neuesten Entwicklungsumgebung „Microsoft Visual Studio .NET 7.0 .“ Die gute XML-Unterstützung, die hier integriert ist, konnte vorteilhaft genutzt werden. XML kann in dieser Umgebung nicht nur als Ergänzung, sondern auch als Ersatz für eine relationale Datenbank genutzt werden.

Die Programmiersprache „C Sharp“ unterstützt die Programmierung in Komponenten, die dynamisch zur Laufzeit geladen werden. Abgekoppelt vom Hauptprogramm wurden innerhalb dieser Komponenten die Modelle zur Nachbildung Funktionalitäten der Schutzgeräte hinterlegt. Die Komponenten erhalten ihre Daten aus dem beschriebenen assoziativen Datenmodell. Mit dieser flexiblen Struktur ist die einfache Erweiterbarkeit durch neue Relaismodelle sichergestellt. Durch spezielle Komponenten ist die Ankopplung an externe Programme zur Nachbildung der Funktionalitäten möglich. In Betracht kommen hier „Microsoft Excel“ oder auch „MATLAB/SIMULINK“.

Eine besondere Stärke der genutzten Entwicklungsumgebung „Microsoft Visual Studio .NET“ ist die Interoperabilität zwischen der Programmiersprachen. Dies bedeutet, dass eine Vielzahl von Programmiersprachen in Kombination problemlos eingesetzt werden können. Es wird kein Maschinen-Code sondern Zwischen-Code erzeugt, der erst zur Laufzeit des Programms auf der Ziel-Hardware übersetzt wird. Hierdurch ist es möglich, während der Übersetzung auf der Ziel-Hardware die speziellen Möglichkeiten der jeweiligen Hardware zu nutzen.

Herkömmlich übersetzte Programmteile, die bereits auf der Entwicklungs-Hardware in Maschinen-Code übersetzt werden, können jedoch in das Programm zusätzlich eingebunden werden. Dies wurde z.B. bei der Einbindung des Kurzschluss-Rechenkerns genutzt, der über eine C-Sharp-C und weiter über eine C-FORTRAN-Schnitt-

stelle angesprochen wird. Auf diese Weise kann bestehender Programm-Code problemlos weiter genutzt werden.

5.7 Visualisierung der Optimierungsergebnisse

Zur Visualisierung von Rechnungsergebnissen existieren auf dem Markt eine Vielzahl von Tools mit unterschiedlichen Eigenschaften. Hier wurde eine Visualisierung mit Hilfe von Microsoft Excel realisiert. Dieses Programm hat den Vorteil, dass Text, Tabellen und Kurven beliebig kombiniert werden können und die Einbindung in die Textverarbeitung Microsoft Word in der Regel unproblematisch ist. Ein Vorteil ist auch der hohe Verbreitungsgrad, der den Datenaustausch in der heutigen vernetzten Arbeitswelt erleichtert.

Das Reichweitendiagramm stellt die Abschaltzeiten in Abhängigkeit von der Fehlerentfernung dar. Es wurde mit Hilfe von Kurzschlussrechnungen nach DIN EN 60909-0 (VDE 0102) [4] für die Schutzstrecke 1 entsprechend Bild 9 bestimmt. In geringen gleichmäßigen Abständen wurde der dreipolige Leitungsfehler im Verlauf der Schutzstrecke gerechnet, die gemessene Impedanz bestimmt und die zugehörige Abschaltzeit eingetragen. Die ermittelten Punkte wurden durch Linien verbunden.

Auf der folgenden Seite sind die Reichweitendiagramme für Schutzstrecke 1 vor und nach der Optimierung gegenübergestellt. Es wurde die Abschaltzeit des Schutzgerätes „Relais 1“ und des vorgelagerten Schutzgerätes „Relais 2“ entsprechend Bild 9 eingetragen. Ausgehend vom zu optimierenden Schutzgerät „Relais 1“ ist auf der Abzisse die Fehlerentfernung in km aufgetragen. Bei 150 km, in diesem Falle auf der Hälfte der Schutzstrecke befindet sich der Einbauort des vorgelagerten Schutzgerätes „Relais 2“. Auf der Ordinate ist die Zeit t nach Fehlereintritt eingetragen, bei der das Ausschaltsignal des Schutzgerätes ausgelöst wird. Die gerichtete Endzeit beträgt in diesem Beispiel 2,5 Sekunden.

Man erkennt, dass ohne Optimierung durch den Einfluss der Zwischeneinspeisungen auf ca. 100 km der Leitungslänge die Leitungsfehler im Reservefall erst in Endzeit abgeschaltet werden. Dies gilt bei einer Leitungslänge von 150 km und bei einer gesamten Länge der Schutzstrecke von 300 km. Durch die Optimierung der Einstellung kann dieser Bereich um 40 km auf ca. 60 km verringert werden. Unselektive Abschaltungen sind hier nicht zu erwarten.

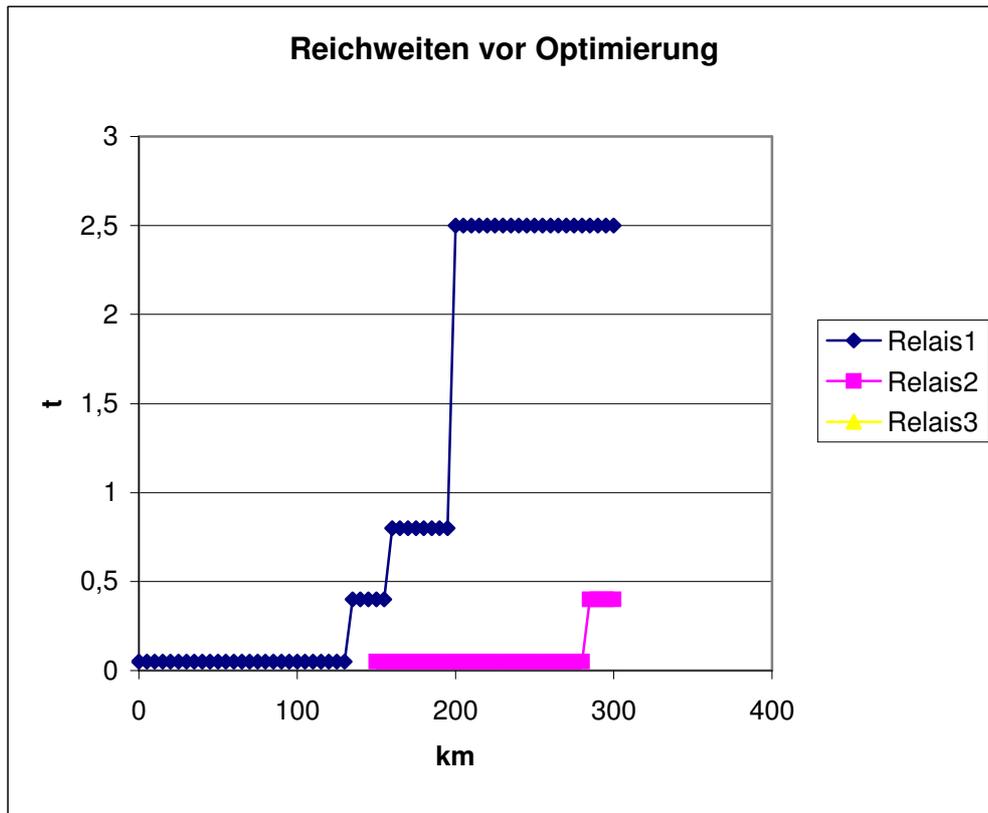


Bild 20: Reichweitendiagramm vor Optimierung

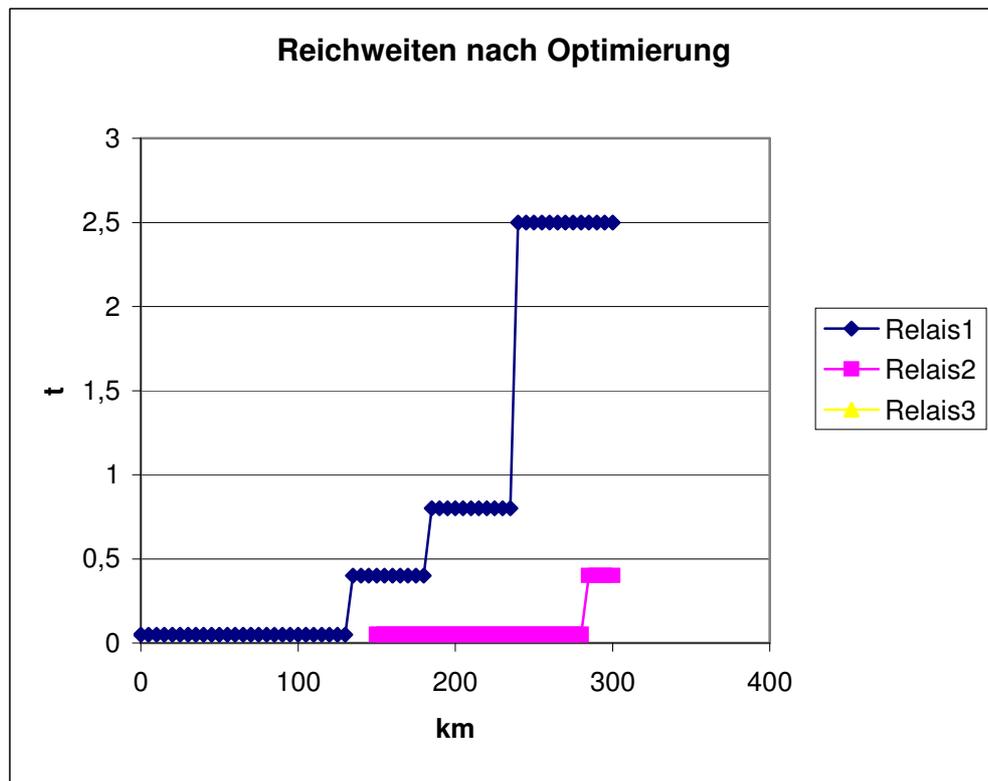


Bild 21: Reichweitendiagramm nach Optimierung

6 Weitere Verbesserungen durch externe Maßnahmen

Eine Optimierung der Einstellungen kann das Verhalten des Distanzschutzes verbessern. Es bleiben jedoch immer noch Bereiche mit erhöhten Abschaltzeiten. Die Ursache sind, wie beschrieben die Zwischeneinspeisungen und die unterschiedlich langen Impedanzen der Schutzpfade.

Wenn der ortsferne Reserveschutz auch nach Optimierung der Einstellungen nur unzureichend funktioniert, kann eine Verbesserung durch Schutzverdoppelung, d.h. durch einen lokalen Reserveschutz erreicht werden. Oft werden alte elektromechanische Geräte weiter betrieben und nicht durch digitale Schutzgeräte ersetzt, sondern im Zuge der Modernisierung durch digitale Schutzgeräte ergänzt. Der konventionelle elektromechanische Schutz bildet dann den lokalen Reserveschutz. Der Leistungsschalter selbst und die Strom- und Spannungswandler sind jedoch in der Praxis nur einfach vorhanden. Sinnvollerweise kombiniert man diesen Schutz deshalb mit einem Schalterversagerschutz, bei dem bei einem Versagen des Leistungsschalters alle anderen Leistungsschalter des gleichen Sammelschienen-Teilabschnitts abgeschaltet werden. Ein Augenmerk muss auch auf die Hilfsspannungsversorgung der Sekundärtechnik gelegt werden. Auch hier müssen Redundanzen aufgebaut werden, da sonst ein Ausfall der Hilfsspannungsversorgung den Ausfall beider Schutzsysteme bewirken würde.

Der Hauptschutz von Schutzobjekten mit mehreren Anschlüssen (Drei- oder Mehrbeine bzw. T-Anschlüsse) bereitet oft Probleme. Hier treten ähnliche Effekte auf wie bei den Zwischeneinspeisungen im Reserveschutz. Unterschiedliche Impedanzen der Schutzpfade bewirken verlängerte Abschaltzeiten am Ende des Schutzpfades mit der größeren Impedanz, denn die Einstellung wird, um Überreichweiten zu vermeiden, immer auf die kleinste der möglichen Impedanzen ausgerichtet. Abhilfe schaffen hier Signalverbindungen, die durch eine Mitnahmeschaltung eine allseitige Abschaltung in Schnellzeit bewirken, wenn eines der beteiligten Hauptschutzgeräte in Schnellzeit abschaltet. Durch Umstrukturierungen und Netz-Vereinfachungen, die aus Kostengründen durchgeführt werden, entstehen oft Drei- und Mehrbeine. Diese Problematik gewinnt deshalb zunehmend an Bedeutung.

Bei kurzen Leitungen wäre auch ein Differentialschutz denkbar, der für das Schutzobjekt die Summe der Ströme an den äußeren Anschlussstellen überwacht. Die Anforderungen an die Signalverbindungen sind hier jedoch sehr viel größer als im zuvor genannten Fall des Distanzschutzes. Die Störanfälligkeit ist dementsprechend groß. Der Schwerpunkt bei der Anwendung des Differentialschutzes liegt deshalb beim Sammelschienenschutz und beim Transformatorschutz. Die Längen

der Signalverbindungen fallen hier nicht ins Gewicht. Der Differentialschutz kann jedoch keine Reservefunktionen übernehmen, da außen liegende Fehler nicht erkannt werden. Auch zu den Vergleichsschutzeinrichtungen gehört der Phasenvergleichsschutz, der mit Hilfe der Strom-Nulldurchgänge die Winkeldifferenz zwischen den Strömen am Anfang und am Ende der Leitung bestimmt.

7 Literaturverzeichnis

- [1] Datenmodell für Planungsrechnungen
Deutsche Verbundgesellschaft (DVG), Heidelberg (1999)
- [2] Erweiterungen und Ergänzungen des Datenmodells für Netzberechnungen der DVG für INTEGRAL
Forschungsgemeinschaft für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft e.V. (FGH e.V.), Mannheim (1999)
- [3] RIO Format – Version 2.1
OMICRON, Österreich (2000)
- [4] DIN EN 60909-0 (VDE 0102)
Kurzschlussströme in Drehstromnetzen
Teil 0: Berechnung der Ströme
VDE Verlag GmbH, Berlin (Juli 2002)
- [5] Doemeland
Handbuch Schutztechnik: Grundlagen, Schutzsysteme, Inbetriebnahme
Verlag Technik GmbH, Berlin (1997)
- [6] Mahrenbach, Richard, geb. Huwer
Funktionsprüfung digitaler Distanzschutzeinrichtungen mittels dynamischer Fehler
Shaker Verlag GmbH, Aachen (1999)
Berichte der Energieversorgung, Universität Kaiserslautern, Dissertation
- [7] Power System Protection Volume 3: Application.
The Institution of Electrical Engineers, London, United Kindom (1995)
- [8] Power System Protection Volume 4: Digital protection and signalling
The Institution of Electrical Engineers, London, United Kindom (1995)
- [9] Adrian Biran, Moshe Breiner
MATLAB 5 für Ingenieure, Addison-Wesley
- [10] Weitzel, T; Buxmann, P.; Ladner, F.; König, W.
XML – Konzept und Anwendung der Extensible Markup Language (2000)
- [11] World wide Web Consortium
<http://www.w3.org>

Anhang: Anregebausteine

Im Anhang A sind die realisierten Anregebausteine aufgelistet. Die Daten dieser Anregebausteine sind entsprechend dem Datenmodell aus Abschnitt 4.1 in logischen Gruppen zusammengefasst. Die entsprechenden Metadaten enthalten die Beschreibungen. Die Funktionalitäten sind den Komponenten gespeichert.

Die Funktionalität des Anregebausteins 7SA511 stimmt mit der MATLAB/SIMULINK-Nachbildung in dem AiF-Forschungsvorhaben 11610 N „Parametrierung von Schutz-einrichtungen in elektrischen Energieversorgungsnetzen“ überein. Es brauchen hier keine Abstriche an die Detailgenauigkeit gemacht werden. In dem Prototyp hat es sich jedoch als praktisch erwiesen, die Funktionalitäten direkt in den Komponenten zu programmieren. Ein wichtiger Vorteil ist, dass die Ablauffähigkeit dann unabhängig von einer eventuellen MATLAB/SIMULINK-Installation in jedem Falle gewährleistet ist.

Auf den folgenden Seiten sind die einzelnen Anregebausteine beschrieben. Mit Ausnahme der digitalen Relais sind die Beschreibungen komplett. Bei den digitalen Relais sind die Funktionalitäten sehr komplex. Auf die komplette Beschreibung wurde aus Vereinfachungsgründen verzichtet und nur die wichtigsten Eckpunkte der Funktionalitäten beschrieben.

Es wurde folgende Reihenfolge gewählt:

- | | |
|---------------------------------------------|----------------------|
| 1. Konventionelle elektromechanische Relais | Anhang A.1 bis A.6 |
| 2. Statische (elektronische) Relais | Anhang A.7 bis A.10 |
| 3. Digitale (numerische) Relais | Anhang A.11 bis A.15 |

A.1 Logische Gruppe "STCN1"

Anregedaten "Überstromanregung"

Folgende Einstellwerte sind bei dieser logischen Gruppe möglich:

Bezeichner	Wertetyp	Beschreibung	Pflicht
IM	Decimal	Schwellwert Summenstrom	
I>	Decimal	Schwellwert Überstrom	ja
Leiter1	String	1. Leiter, wenn Anregung nur in zwei Leitern, L1-L2-L3	
Leiter2	String	2. Leiter, wenn Anregung nur in zwei Leitern, L1-L2-L3	
UR	String	Arbeitsweise ungerichtet (U) oder gerichtet (G), Default: U	

Anmerkungen:

Wenn der Anregebaustein in allen drei Leitern vorhanden ist, dann sind die Einstellungen "Leiter1" und "Leiter2" wegzulassen.

Wenn die Einstellung "UR" weggelassen wird, dann wird eine ungerichtete Arbeitsweise angenommen.

A.2 Logische Gruppe "STCN2

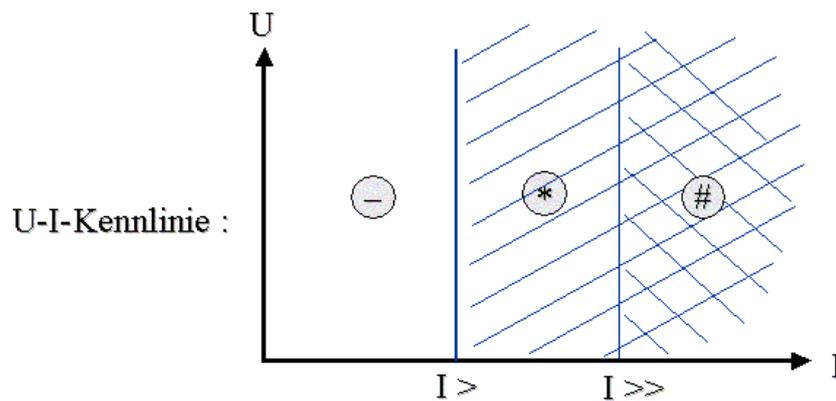
Anregedaten "Überstromanregung, zweistufig"

Folgende Einstellwerte sind bei dieser logischen Gruppe möglich:

Bezeichner	Wertetyp	Beschreibung	Pflicht
IM	Decimal	Schwellwert Summenstrom	
I>	Decimal	Schwellwert Überstrom	ja
I>>	Decimal	Schwellwert Überstrom 2. Stufe	ja
Leiter1	String	1. Leiter, wenn Anregung nur in zwei Leitern, L1-L2-L3	
Leiter2	String	2. Leiter, wenn Anregung nur in zwei Leitern, L1-L2-L3	

Anmerkungen:

Wenn der Anregebaustein in allen drei Leitern vorhanden ist, dann sind die Einstellungen "Leiter1" und "Leiter2" wegzulassen.



$I >$ Ansprechwert 1. Stufe

$I >>$ Ansprechwert 2. Stufe

Bild 22: Anregebereich Überstromanregung zweistufig

A.3 Logische Gruppe "STCN3"

Anregedaten "Unterimpedanzanregung, Annäherung durch Polygonzug"

Folgende Einstellwerte sind bei dieser logischen Gruppe möglich:

Bezeichner	Wertetyp	Beschreibung	Pflicht
EKA	String	Einsatz, Spannungswahl, E-K-A-N-B, Default: E	
U Bezug	Decimal	Bezugsspannung	ja
I Bezug	Decimal	Bezugsstrom	ja
IM	Decimal	Schwellwert Summenstrom [p.u.]	
IF	Decimal	Fußpunktstrom [p.u.]	ja
ID	Decimal	Durchstoßstrom (eingestellt) [p.u.]	ja
I>>	Decimal	Schwellwert Überstrom [p.u.]	

Anmerkungen:

Diese logische Gruppe ist konfigurierbar. In der Konfigurationsdatei mit dem Namen "STCN3_xxx.xml" (xxx ist ein frei wählbarer Name) wird eine Kennlinienschar festgelegt, die die Abhängigkeit des Schwellwertes von der Spannung U, dem Strom I und dem Einstellwert ID beschreibt. Außerdem wird hier der Eichwert des Fußpunktstromes IFX vorgegeben

Zum Einstellwert EKA: Bei 'E', d.h. Einsatz im wirksam geerdeten Netz, werden dem Relais Leiter-Erd-Spannungen zugeführt. Bei 'N' hingegen erhält das Relais Leiter-Neutral-Spannungen. Bei 'B' sind es bei fehlender Summenstromanregung Leiter-Neutral-Spannungen, sonst Leiter-Erd-Spannungen. Bei 'K', d.h. Einsatz im kompensierten bzw. isolierten Netz, werden dem Relais verkettete Spannungen zugeführt. Dies sind:

Anregung Leiter 1: Spannung $U(L2)-U(L1)$ Strom $I(L1)$

Anregung Leiter 2: Spannung $U(L3)-U(L2)$ Strom $I(L2)$

Anregung Leiter 3: Spannung $U(L1)-U(L3)$ Strom $I(L3)$

Bei 'A', d.h. Einsatz im kompensierten bzw. isolierten Netz mit azyklischer Leiterbevorzugung werden dem Relais spezielle verkettete Spannungen zugeführt. Dies sind:

Anregung 1: Spannung $U(L2)-U(L1)$ Strom $I(L1)$

Anregung 2: Spannung $U(L3)-U(L2)$ Strom $I(L3)$

Anregung 3: Spannung $U(L1)-U(L3)$ Strom $I(L3)$

Zu den Einstellwerten U Bezug und I Bezug: Wenn ohne weitere Umrechnung die auf den Relais-Nennstrom bezogenen Werte der Hersteller-Relaisbeschreibung eingegeben werden, z.B. bei IM in p.u., so muss als Bezugsstrom der auf die Primärseite bezogene Relais-Nennstrom eingegeben werden:

$$I \text{ Bezug} = I_N(\text{Relais}) * \ddot{u}(\text{Stromwandler})$$

Für Spannungswerte finden sich in den Relaisbeschreibungen häufig Werte in %. Diese können ohne Umrechnung in die Eingabefelder übertragen werden. Als Bezugsspannung muss dann bei Eingabe von 'E' oder 'N' die auf die Primärseite bezogene Relais-Nennspannung geteilt durch Wurzel(3) eingegeben werden:

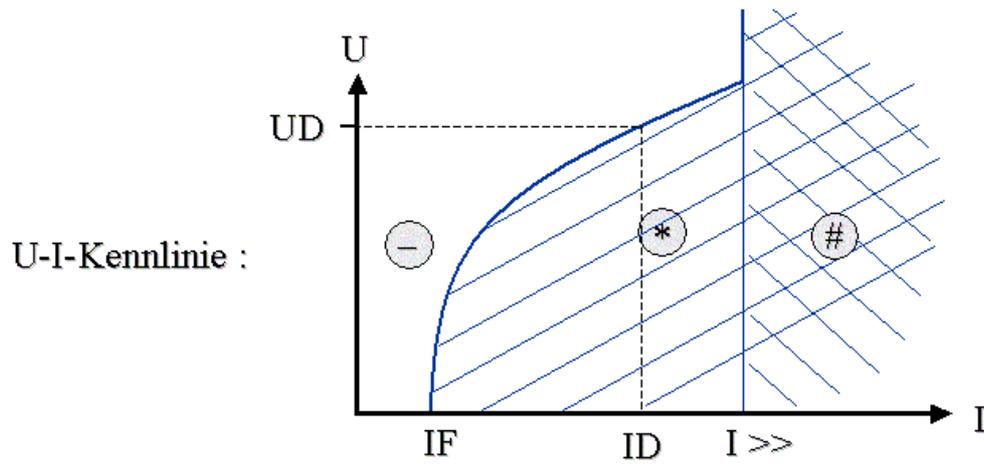
$$U \text{ Bezug} = U_N(\text{Relais}) * \ddot{u}(\text{Spannungswandler}) / \text{Wurzel}(3)$$

Da bei Eingabe von 'K' oder 'A' verkettete Spannungen ausgewertet werden, entfällt in diesen Fällen die Division durch Wurzel(3). Die Bezugsspannung ist dann:

$$U \text{ Bezug} = U_N(\text{Relais}) * \ddot{u}(\text{Spannungswandler})$$

Zum Einstellwert ID: Liegt speziell für den eingestellten ID-Wert keine Kennlinienschar vor, erfolgt eine Interpolation mit Hilfe der benachbarten Werte durch Linearisierung.

Zum Einstellwert IF: Der Fußpunktstrom IF in p.u. muss nicht mit dem Fußpunktstrom IFX (Eichwert) aus der Konfigurationsdatei übereinstimmen. Ist der Fußpunktstrom anders eingestellt, erfolgt eine Verschiebung der Ansprechwerte aus der Konfigurationsdatei um den Differenzbetrag (IF-IFX).



IF Fußpunktstrom

UD ... Durchstoßspannung

ID Durchstoßstrom

$I \gg$.. Bereich reiner Überstromanregung

Bild 23: Anregebereich Unterimpedanz konventionell

A.4 Logische Gruppe "STCN4"

Anregedaten "Unterimpedanzanregung, einfach und doppelt geknickt"

Folgende Einstellwerte sind bei dieser logischen Gruppe möglich:

Bezeichner	Wertetyp	Beschreibung	Pflicht
EKA	String	Einsatz, Spannungswahl, E-K-A-N-B, Default: E	
IM	Decimal	Schwellwert Summenstrom	
UF/UD	Decimal	Verhältnis Fußpunktspannung zu UD [%]	ja
IF	Decimal	Fußpunktstrom	ja
UD	Decimal	Durchstoßspannung	ja
ID	Decimal	Durchstoßstrom	ja
UX/UD	Decimal	Verhältnis Spg. am 2. Knickpkt. zu UD [%]	
I>>	Decimal	Schwellwert Überstrom	

Anmerkungen:

Zum Einstellwert EKA: Bei 'E', d.h. Einsatz im wirksam geerdeten Netz, werden dem Relais Leiter-Erd-Spannungen zugeführt. Bei 'N' hingegen erhält das Relais Leiter-Neutral-Spannungen. Bei 'B' sind es bei fehlender Summenstromanregung Leiter-Neutral-Spannungen, sonst Leiter-Erd-Spannungen. Bei 'K', d.h. Einsatz im kompensierten bzw. isolierten Netz, werden dem Relais verkettete Spannungen zugeführt. Dies sind:

Anregung Leiter 1: Spannung $U(L2)-U(L1)$ Strom $I(L1)$

Anregung Leiter 2: Spannung $U(L3)-U(L2)$ Strom $I(L2)$

Anregung Leiter 3: Spannung $U(L1)-U(L3)$ Strom $I(L3)$

Bei 'A', d.h. Einsatz im kompensierten bzw. isolierten Netz mit azyklischer Leiterbevorzugung werden dem Relais spezielle verkettete Spannungen zugeführt. Dies sind:

Anregung 1: Spannung $U(L2)-U(L1)$ Strom $I(L1)$

Anregung 2: Spannung $U(L3)-U(L2)$ Strom $I(L3)$

Anregung 3: Spannung $U(L1)-U(L3)$ Strom $I(L3)$

Zum Einstellwert UX/UD: Optional kann mit Eingabe von UX/UD ein zweiter Knickpunkt festgelegt werden, um eine genauere Annäherung an die tatsächliche Kennlinie zu erreichen. Die folgenden Bilder zeigen die Ansprechkennlinien bei einfach und doppelt geknickter Kennlinie und geben Aufschluss über die Lage des 2. Knickpunktes. Eine noch genauere Annäherung kann mit dem Anregetyp N3 mit Hilfe von Polygonzügen erreicht werden (logische Gruppe STCN3).

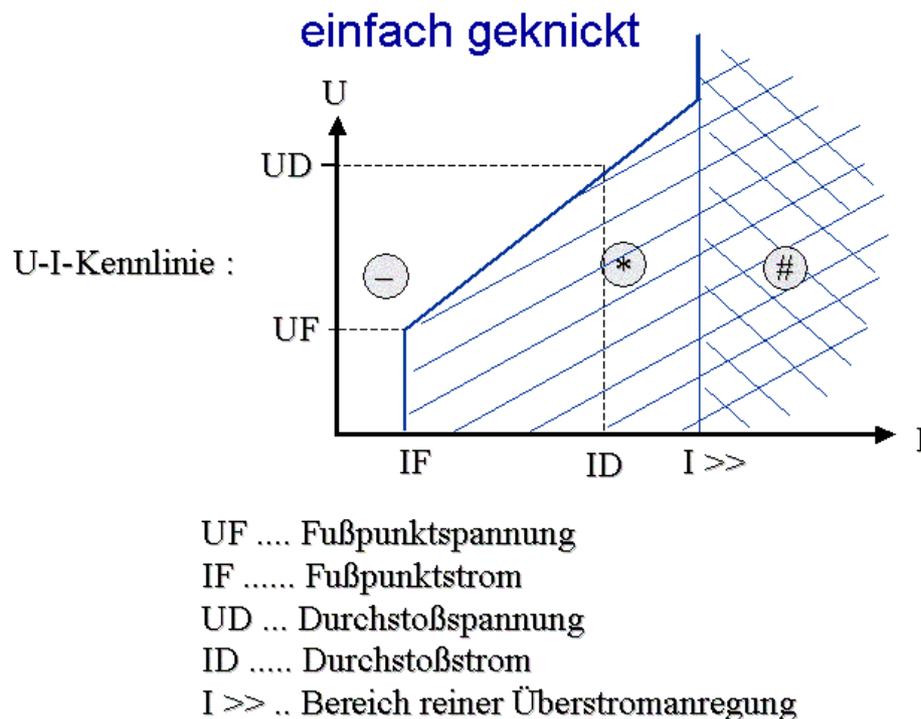


Bild 24: Angebereich Unterimpedanzanregung einfach geknickt

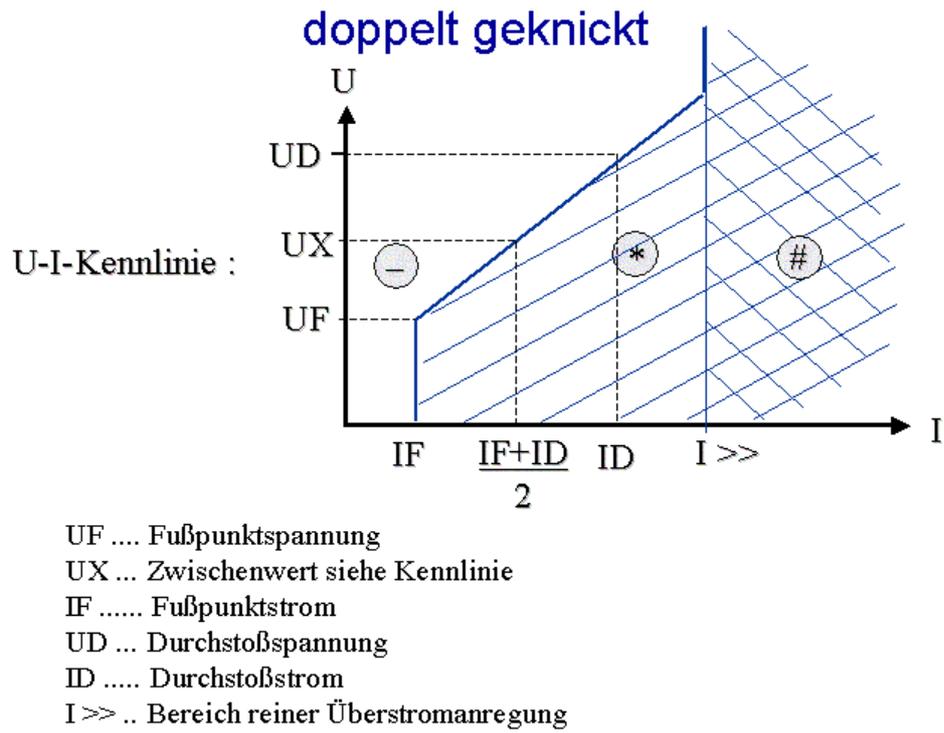


Bild 25: Anregebereich Unterimpedanzanregung doppelt geknickt

A.5 Logische Gruppe "STCN5"

Anregedaten "winkelabhängige Unterimpedanzanregung"

Folgende Einstellwerte sind bei dieser logischen Gruppe möglich:

Bezeichner	Wertetyp	Beschreibung	Pflicht
EKA	String	Einsatz, Spannungswahl, E-K-A-N-B, Default: E	
U Bezug	Decimal	Bezugsspannung	ja
I Bezug	Decimal	Bezugsstrom	ja
IM	Decimal	Schwellwert Summenstrom [p.u.]	
IF	Decimal	Fußpunktstrom [p.u.]	ja
IDK	Decimal	Durchstoßstrom (eingestellt) [p.u.]	ja
I>>	Decimal	Schwellwert Überstrom [p.u.]	

Anmerkungen:

Diese logische Gruppe ist konfigurierbar. In der Konfigurationsdatei mit dem Namen "STCN5_xxx.xml" (xxx ist ein frei wählbarer Name) wird eine Kennlinienschar festgelegt, die die Abhängigkeit des Schwellwertes von der Spannung U, dem Strom I, dem Winkel und dem Einstellwert IDK beschreibt. Außerdem wird hier der Eichwert des Fußpunktstromes IFX vorgegeben

Zum Einstellwert EKA:

Bei 'E', d.h. Einsatz im wirksam geerdeten Netz, werden dem Relais Leiter-Erd-Spannungen zugeführt. Bei 'N' hingegen erhält das Relais Leiter-Neutral-Spannungen. Bei 'B' sind es bei fehlender Summenstromanregung Leiter-Neutral-Spannungen, sonst Leiter-Erd-Spannungen. Bei 'K', d.h. Einsatz im kompensierten bzw. isolierten Netz, werden dem Relais verkettete Spannungen zugeführt. Dies sind:

Anregung Leiter 1: Spannung $U(L2)-U(L1)$ Strom $I(L1)$

Anregung Leiter 2: Spannung $U(L3)-U(L2)$ Strom $I(L2)$

Anregung Leiter 3: Spannung $U(L1)-U(L3)$ Strom $I(L3)$

Bei 'A', d.h. Einsatz im kompensierten bzw. isolierten Netz mit azyklischer Leiterbevorzugung werden dem Relais spezielle verkettete Spannungen zugeführt. Dies sind:

Anregung 1: Spannung $U(L2)-U(L1)$ Strom $I(L1)$

Anregung 2: Spannung $U(L3)-U(L2)$ Strom $I(L3)$

Anregung 3: Spannung $U(L1)-U(L3)$ Strom $I(L3)$

Zu den Einstellwerten U Bezug und I Bezug:

Wenn ohne weitere Umrechnung die auf den Relais-Nennstrom bezogenen Werte der Hersteller-Relaisbeschreibung eingegeben werden, z.B. bei IM in p.u., so muss als Bezugsstrom der auf die Primärseite bezogene Relais-Nennstrom eingegeben werden:

$$I \text{ Bezug} = I_N(\text{Relais}) * \ddot{u}(\text{Stromwandler})$$

Für Spannungswerte finden sich in den Relaisbeschreibungen häufig Werte in %. Diese können ohne Umrechnung in die Eingabefelder übertragen werden. Als Bezugsspannung muss dann bei Eingabe von 'E' oder 'N' die auf die Primärseite bezogene Relais-Nennspannung geteilt durch Wurzel(3) eingegeben werden:

$$U \text{ Bezug} = U_N(\text{Relais}) * \ddot{u}(\text{Spannungswandler}) / \text{Wurzel}(3)$$

Da bei Eingabe von 'K' oder 'A' verkettete Spannungen ausgewertet werden, entfällt in diesen Fällen die Division durch Wurzel(3). Die Bezugsspannung ist dann:

$$U \text{ Bezug} = U_N(\text{Relais}) * \ddot{u}(\text{Spannungswandler})$$

Zum Einstellwert IDK:

Dies ist der eingestellte Durchstroßstrom für $\Phi=90$ Grad induktiv. Liegt speziell für den eingestellten IDK-Wert keine Kennlinienschar vor, erfolgt eine Interpolation mit Hilfe der benachbarten Werte durch Linearisierung.

Zum Einstellwert IF:

Der Fußpunktstrom IF in p.u. muss nicht mit dem Fußpunktstrom IFX (Eichwert) aus der Konfigurationsdatei übereinstimmen. Ist der Fußpunktstrom anders eingestellt,

erfolgt eine Verschiebung der Ansprechwerte aus der Konfigurationsdatei um den Differenzbetrag (IF-IFX).

Das folgende Bild zeigt die Winkelabhängigkeit als UI-Kennlinie und als Ortskurve.

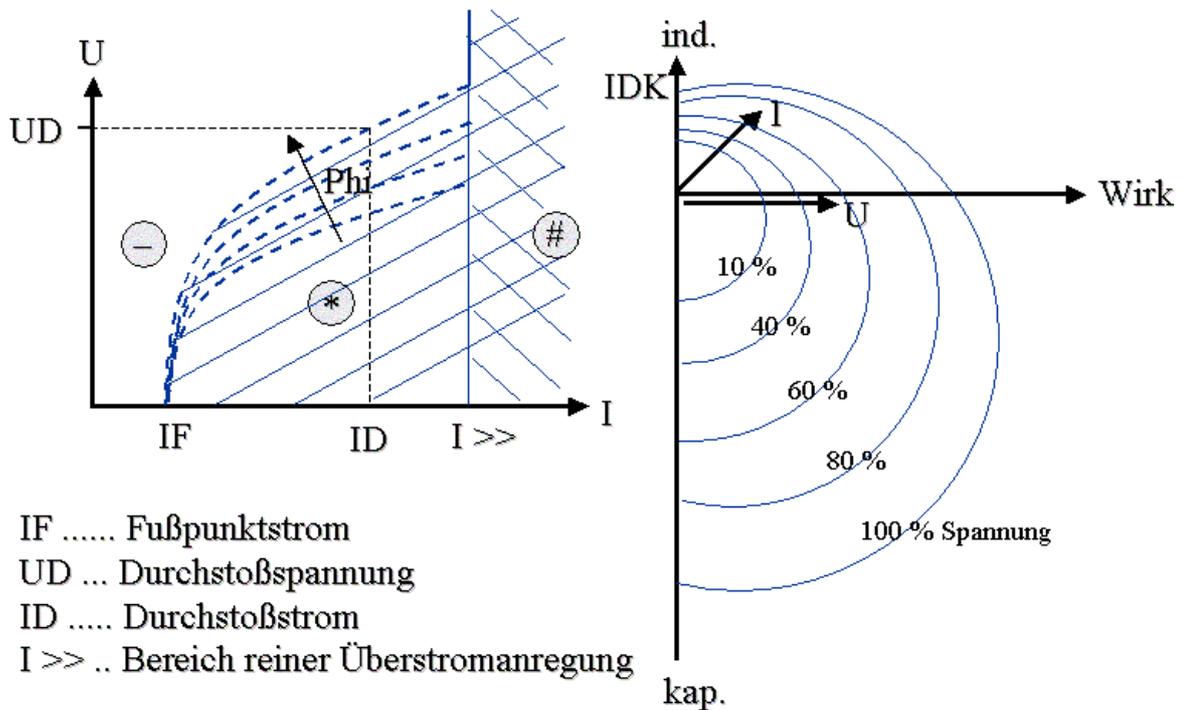


Bild 26: Anregebereich Unterimpedanzanregung winkelabhängig

A.6 Logische Gruppe "STCN9"

Anregedaten "Impedanzwaage Siemens R3Z7"

Folgende Einstellwerte sind bei dieser logischen Gruppe möglich:

Bezeichner	Wertetyp	Beschreibung	Pflicht
U Bezug	Decimal	Bezugsspannung	ja
I Bezug	Decimal	Bezugsstrom	ja
U Verl	Decimal	Schwellwert Verlagerungsspannung [%]	ja
IM	Decimal	Schwellwert Summenstrom [p.u.]	ja
IF	Decimal	Fußpunktstrom [p.u.]	ja
ID	Decimal	Durchstoßstrom für IF=0,5 [p.u.]	ja
I min	Decimal	Mindeststrom [p.u.]	ja
I>>	Decimal	Schwellwert Überstrom [p.u.]	
Lasche2	String	Lasche 1: offen (O) / geschlossen (G), Default: offen	ja
Lasche2	String	Lasche 2: offen (O) / geschlossen (G), Default: offen	ja
Lasche3	String	Lasche 3: offen (O) / geschlossen (G), Default: offen	ja
Lasche4	String	Lasche 4: offen (O) / geschlossen (G), Default: geschlossen	ja
Lasche5	String	Lasche 5: offen (O) / geschlossen (G), Default: offen	ja
Flag1	String	Flag 1: ja (J) / nein (N), Default: nein	ja
Flag2	String	Flag 2: ja (J) / nein (N), Default: nein	ja

Anmerkungen:

Zu den Einstellwerten U Bezug und I Bezug: Wenn ohne weitere Umrechnung die auf den Relais-Nennstrom bezogenen Werte der Hersteller-Relaisbeschreibung eingegeben werden, z.B. bei IM in p.u., so muss als Bezugsstrom der auf die Primärseite bezogene Relais-Nennstrom eingegeben werden:

$$I \text{ Bezug} = IN(\text{Relais}) * \ddot{u}(\text{Stromwandler})$$

Für Spannungswerte finden sich in den Relaisbeschreibungen häufig Werte in %. Diese können ohne Umrechnung in die Eingabefelder übertragen werden. Als Bezugsspannung muss dann die auf die Primärseite bezogene Relais-Nennspannung geteilt durch $\sqrt{3}$ eingegeben werden:

$$U_{\text{Bezug}} = U_{\text{N(Relais)}} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \text{ü(Spannungswandler)} / \sqrt{3}$$

Zu den Einstellwerten U Verl und IM: Die Verlagerungsspannung ist die dreifache Nullspannung am Einbauort. Die Summenanregung erfolgt durch ODER-Verknüpfung der Bedingungen 'Verlagerungsspannung überschritten' und der Bedingung 'Summenstrom überschritten'.

Zu den Laschen 1 bis 5: Abhängig von den gesetzten Laschen sind die Sperrdioden, Zenerdioden und Kopplungen im Gerät wirksam/unwirksam oder von der Summenanregung abhängig.

Zu den Flags 1 und 2:

Flag1 Verlagerungsspannung wirkt auf Hilfsrelais ja/nein

Flag2 Summenstrom wirkt auf Hilfsrelais ja/nein

A.7 Logische Gruppe "STCS2"

Anregedaten "Unterimpedanzregung, statisch"

Folgende Einstellwerte sind bei dieser logischen Gruppe möglich:

Bezeichner	Wertetyp	Beschreibung	Pflicht
EKA	String	Einsatz, Spannungswahl, E-K-A-N-B, Default: E	
IM	Decimal	Schwellwert Summenstrom	ja
UF	Decimal	Fußpunktspannung	ja
IF	Decimal	Fußpunktstrom	ja
ID	Decimal	Durchstoßstrom	ja

Anmerkungen:

Zum Einstellwert EKA: Bei 'E', d.h. Einsatz im wirksam geerdeten Netz, werden dem Relais Leiter-Erd-Spannungen zugeführt. Bei 'N' hingegen erhält das Relais Leiter-Neutral-Spannungen. Bei 'B' sind es bei fehlender Summenstromanregung Leiter-Neutral-Spannungen, sonst Leiter-Erd-Spannungen. Bei 'K', d.h. Einsatz im kompensierten bzw. isolierten Netz, werden dem Relais verkettete Spannungen zugeführt. Dies sind:

Anregung Leiter 1: Spannung $U(L2)-U(L1)$ Strom $I(L1)$

Anregung Leiter 2: Spannung $U(L3)-U(L2)$ Strom $I(L2)$

Anregung Leiter 3: Spannung $U(L1)-U(L3)$ Strom $I(L3)$

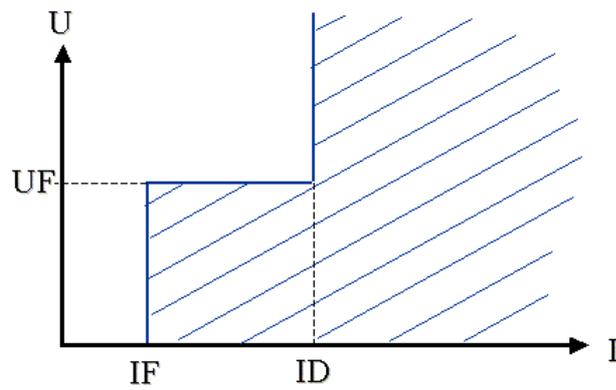
Bei 'A', d.h. Einsatz im kompensierten bzw. isolierten Netz mit azyklischer Leiterbevorzugung werden dem Relais spezielle verkettete Spannungen zugeführt. Dies sind:

Anregung 1: Spannung $U(L2)-U(L1)$ Strom $I(L1)$

Anregung 2: Spannung $U(L3)-U(L2)$ Strom $I(L3)$

Anregung 3: Spannung $U(L1)-U(L3)$ Strom $I(L3)$

UI-Kennlinie für Anregetyp S2:



IF Fußpunktstrom
UF Fußpunktspannung
ID Durchstoßstrom

Bild 27: Anregebereich Unterimpedanz statisch

A.8 Logische Gruppe "STCS3"

Anregedaten "Unterimpedanzregung, statisch, mit Umschaltung auf verkettete Größen, AEG SD135"

Folgende Einstellwerte sind bei dieser logischen Gruppe möglich:

Bezeichner	Wertetyp	Beschreibung	Pflicht
EK	String	Einsatz, E-K, Default: E	
IM	Decimal	Schwellwert Summenstrom	ja
UF	Decimal	Fußpunktspannung	ja
IF	Decimal	Fußpunktstrom	ja
ID	Decimal	Durchstoßstrom	ja
UFLL	Decimal	Fußpunktspannung L-L, Default: $UFLL = \sqrt{3} \cdot UF$	

Anmerkungen:

UI-Kennlinie und Anregebedingungen für Anregetyp S3:

1) Anregebedingung für EK=E, d.h. Einsatz im wirksam geerdeten Netz.

Bedingung 1

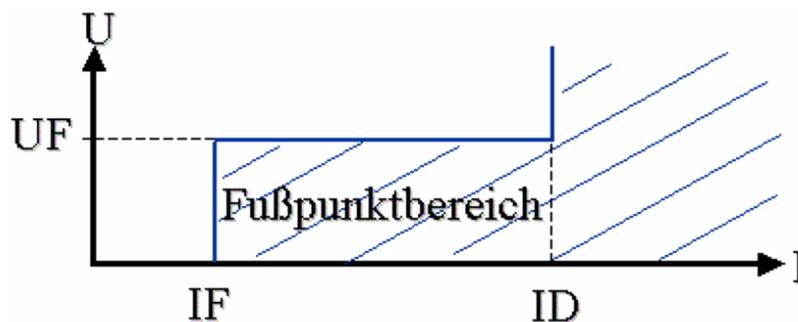


Bild 28: Anregebereich Unterimpedanz statisch SD135

oder Bedingung 2

- keine Summenstromanregung
- und IF überschritten
- und einer der beiden anderen Ströme überschreitet ebenfalls IF während die zugehörige verkettete Spannung den Schwellwert UFLL unterschreitet.

2) Anregebedingung für $EK=K$, d.h. Einsatz im komp./isolierten Netz.

Dto. Jedoch bei Bedingung 1 ist der Fußpunktbereich nur bei Summenstromanregung wirksam.

A.9 Logische Gruppe "STCS5"

Anregedaten "Unterimpedanzregung, statisch, mit Umschaltung auf verkettete Größen, Winkel für eine Richtung (Schlüssellochkennlinie), AEG SD135".

Folgende Einstellwerte sind bei dieser logischen Gruppe möglich:

Bezeichner	Wertetyp	Beschreibung	Pflicht
EK	String	Einsatz, E-K, Default: E	
MN	String	Anregemitnahme ja (J) / nein (N), Default: nein	
IM	Decimal	Schwellwert Summenstrom	ja
UF	Decimal	Fußpunktspannung	ja
IF	Decimal	Fußpunktstrom	ja
IDK	Decimal	Durchstoßstrom, Phi kurzschlussnah (Definition s.u.)	ja
IDL	Decimal	Durchstoßstrom, Phi lastnah (Definition s.u.)	ja
UFLL	Decimal	Fußpunktspannung L-L, Default: UFLL = $\sqrt{3}$ · UF	
PHIMIN	Decimal	Grenzwinkel MIN vorwärts	ja
PHIMAX	Decimal	Grenzwinkel MAX vorwärts	ja

Anmerkungen:

Begriffsdefinitionen:

1. Definition: 'vorwärts' bedeutet
Strom im 1. oder 2. Quadranten. Die Zählrichtung des Stromes ergibt sich aus der definierten Vorwärtsrichtung des Relais.
2. Definition: 'PHI kurzschlußnah' bedeutet,
dass der Winkel zwischen Spannung und Strom d.h. $\text{PHI}(U)\text{-PHI}(I)$ bei Sichtweise entsprechend der definierten Vorwärtsrichtung des Relais zwischen PHIMIN und PHIMAX liegt. Der übrige Winkelbereich gilt als 'PHI lastnah' entspr. "Schlüssellochkennlinie".

UI-Kennlinie und Anregebedingungen für Anregetyp S5:

1) Anregebedingung für $E_K=E$, d.h. Einsatz im wirksam geerdeten Netz.

Bedingung 1 bei Phi lastnah (siehe Bild unten):

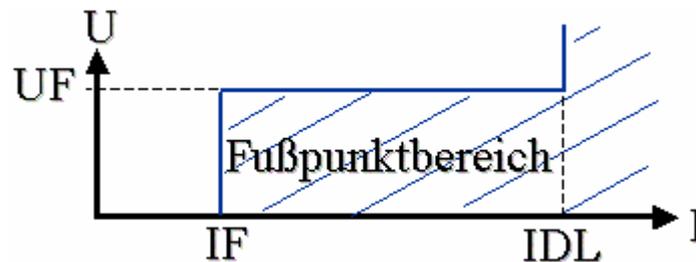


Bild 29: Anregebereich bei Phi lastnah

Bedingung 1 bei Phi kurzschlussnah (siehe Bild unten):

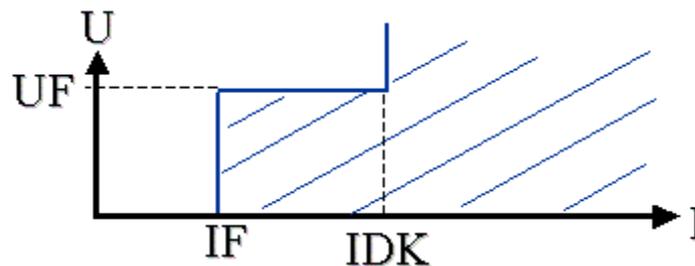


Bild 30: Anregebereich für Phi kurzschlussnah

oder Bedingung 2

- keine Summenstromanregung
- und I_F überschritten
- und einer der beiden anderen Ströme überschreitet ebenfalls I_F während die zugehörige verkettete Spannung den Schwellwert U_{FLL} unterschreitet.

oder Bedingung 3

Wenn angewählt „Anregemithnahme“ durch voreilenden Leiter ($MN=J$)

- IDK überschritten
- und einer der beiden anderen Ströme überschreitet IDL oder bei Phi kurzschlussnah IDK während der 3. Strom IDK unterschreitet.

2) Anregebedingung für $EK=K$, d.h. Einsatz im komp./isolierten Netz.

Dto. Jedoch bei Bedingung 1 ist der Fußpunktbereich nur bei Summenstromanregung wirksam.

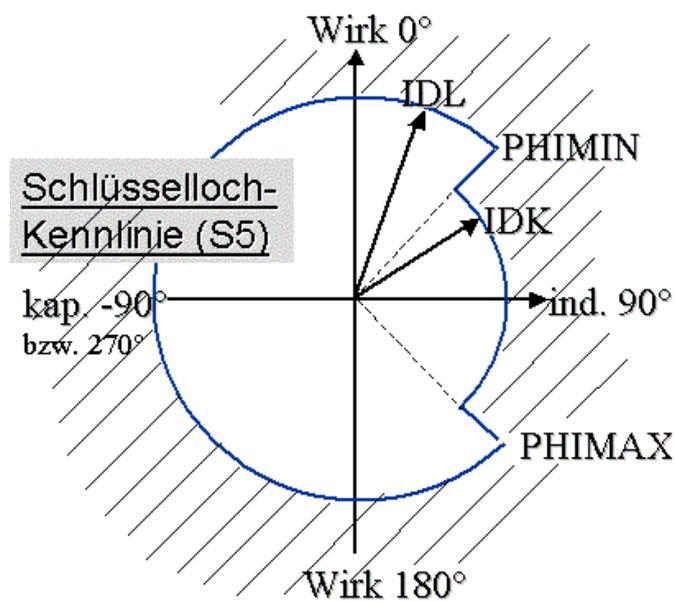


Bild 31: Anregebereich Unterimpedanz statisch winkelabhängig

A.10 Logische Gruppe "STCS6"

Anregedaten "Unterimpedanzregung, statisch, mit Umschaltung auf verkettete Größen, Winkel für beide Richtungen (Propellerkennlinie), AEG SD135"

Folgende Einstellwerte sind bei dieser logischen Gruppe möglich:

Bezeichner	Wertetyp	Beschreibung	Pflicht
EK	String	Einsatz, E-K, Default: E	
MN	String	Anregemithnahme ja (J) / nein (N), Default: nein	
IM	Decimal	Schwellwert Summenstrom	ja
UF	Decimal	Fußpunktspannung	ja
IF	Decimal	Fußpunktstrom	ja
IDK	Decimal	Durchstoßstrom, Phi kurzschlussnah (Definition s.u.)	ja
IDL	Decimal	Durchstoßstrom, Phi lastnah (Definition s.u.)	ja
UFLL	Decimal	Fußpunktspannung L-L, Default: UFLL = Wurzel(3) \cdot UF	
PHIMIN1	Decimal	Grenzwinkel MIN vorwärts	ja
PHIMAX1	Decimal	Grenzwinkel MAX vorwärts	ja
PHIMIN2	Decimal	Grenzwinkel MIN rückwärts	ja
PHIMAX2	Decimal	Grenzwinkel MAX rückwärts	ja

Anmerkungen:

Begriffsdefinitionen:

1. Definition: 'vorwärts' bedeutet
Strom im 1. oder 2. Quadranten. Die Zählrichtung des Stromes ergibt sich aus der definierten Vorwärtsrichtung des Relais.
2. Definition: 'PHI kurzschlußnah' bedeutet,
dass der Winkel zwischen Spannung und Strom d.h. PHI(U)-PHI(I) bei Sichtweise entsprechend der definierten Vorwärtsrichtung des Relais zwischen PHIMIN1 und PHIMAX1 (vorwärts) oder zwischen PHIMIN2 und PHIMAX2

(rückwärts) liegt. Der übrige Winkelbereich gilt als 'Phi lastnah', entspr. "Propellerkennlinie".

Die Anregung erfolgt wie bei Typ S5, jedoch mit Winkeln für beide Richtungen.

UI-Kennlinie und Anregebedingungen für Anregetyp S6:

1) Anregebedingung für $EK=E$, d.h. Einsatz im wirksam geerdeten Netz.

Bedingung 1 bei Phi lastnah (siehe Bild unten):

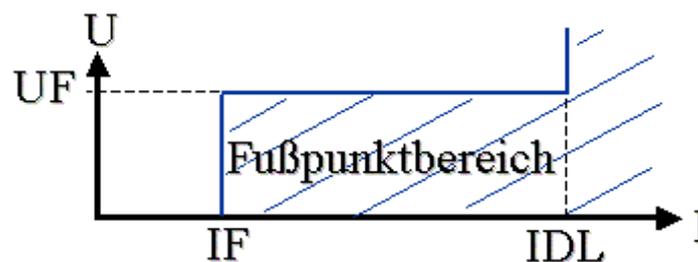


Bild 32: Anregebereich für Phi kurzschlussnah

Bedingung 1 bei Phi kurzschlussnah (siehe Bild unten):

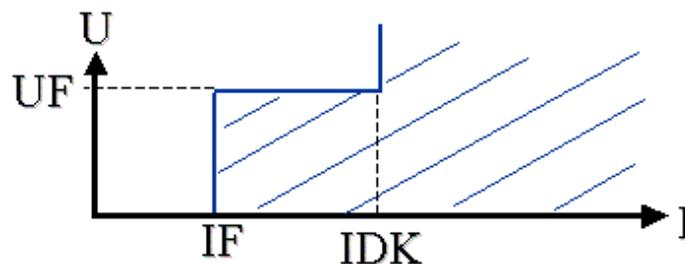


Bild 33: Anregebereich für Phi kurzschlussnah

oder Bedingung 2

- keine Summenstromanregung
- und IF überschritten
- und einer der beiden anderen Ströme überschreitet ebenfalls IF während die zugehörige verkettete Spannung den Schwellwert UFLL unterschreitet.

oder Bedingung 3

Wenn angewählt „Anregemithnahme“ durch voreilenden Leiter ($MN=J$)

- IDK überschritten
- und einer der beiden anderen Ströme überschreitet IDL oder bei Phi kurzschlussnah IDK während der 3. Strom IDK unterschreitet.

2) Anregebedingung für $EK=K$, d.h. Einsatz im komp./isolierten Netz.

Dto. Jedoch bei Bedingung 1 ist der Fußpunktbereich nur bei Summenstromanregung wirksam.

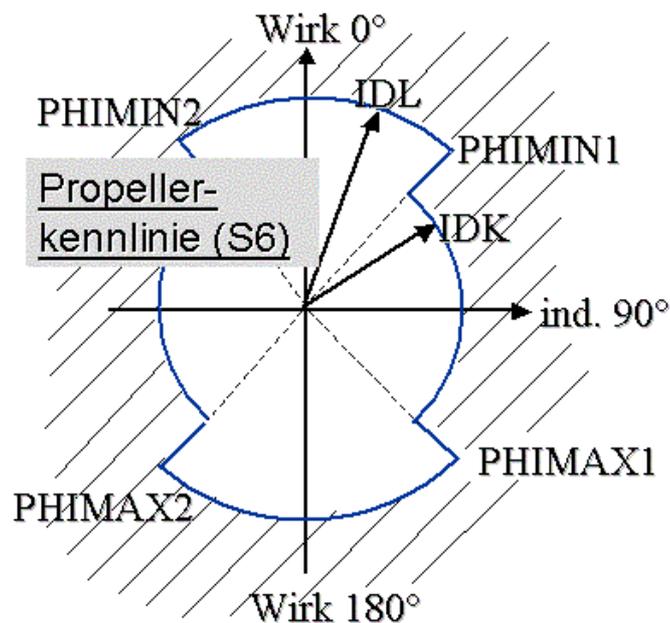


Bild 34: Anregebereich Unterimpedanz statisch winkelabhängig

A.11 Logische Gruppe "STCD2"

Anregedaten "Impedanzanregung digital Siemens 7SAxxx"

Folgende Einstellwerte sind bei dieser logischen Gruppe möglich:

Bezeichner	Wertetyp	Beschreibung	Pflicht
AP	String	Anregeprogramm beides(B) / nur Leiter-Erde (E), Default: B	
MN	String	Anregemitnahme ja(J) / nein(N)	ja
IE>	Decimal	Summenstrom-Anregung	ja
I>>	Decimal	Überstrom-Anregung	ja
I min	Decimal	Mindeststrom für Impedanzanregung	ja
RA	Decimal	Resistanz für Leiter-Leiter	ja
RAE	Decimal	Resistanz für Leiter-Erde	ja
X+A	Decimal	Reaktanzwert vorwärts	ja
X-A	Decimal	Reaktanzwert rückwärts	ja
Kippwinkel	Decimal	Kippwinkel der Kennlinie (Grad), Default: 76 Grad	
RE/RL	Decimal	Widerstandsverhältnis Erdfehleranpassung	ja
XE/XL	Decimal	Reaktanzverhältnis Erdfehleranpassung	ja

Anmerkungen:

Wichtig: Es sind in jedem Falle Primärwerte einzugeben !!

Zum Einstellwert AP - Anregeprogramm:

AP='E' (nur Leiter-Erde) bedeutet, dass die Impedanz aus der Leiter-Leiter-Schleife nicht maßgebend ist. Bei AP='B' wird die Impedanz aus der Leiter-Leiter-Schleife bei fehlender Summenstromanregung bestimmt.

Zum Einstellwert MN - Anregemithnahme:

MN='J' (IE-Mitnahme) bedeutet, dass die Impedanz aus der Leiter-Erde-Schleife auch ohne Summenstromanregung wirksam ist. Bei MN='N' (keine IE-Mitnahme) ist die Impedanz aus der Leiter-Erde-Schleife nur bei Summenstromanregung wirksam. In geerdeten Netzen in der Regel MN='J'.

Impedanzanregung Typ D2:

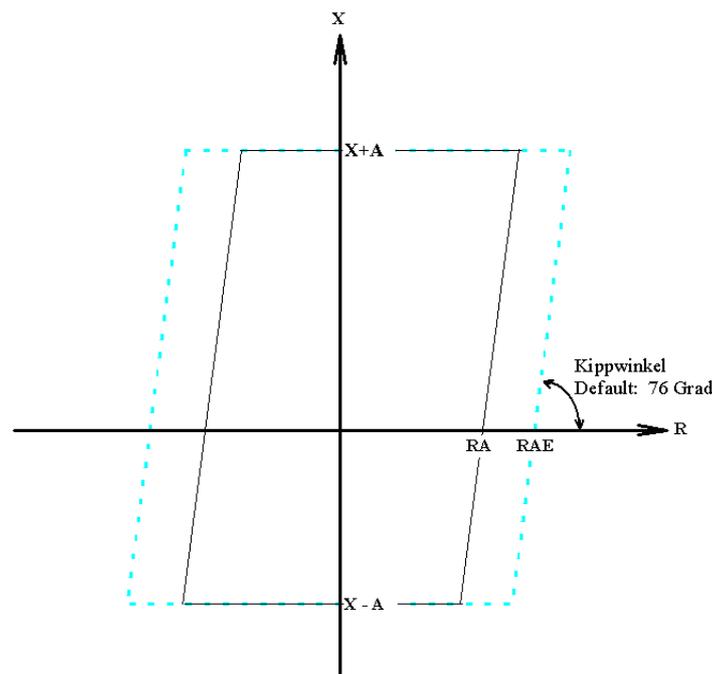


Bild 35: Impedanzfläche Siemens 7SAxxx

Berechnung der Impedanz aus der Leiter-Leiter-Schleife:

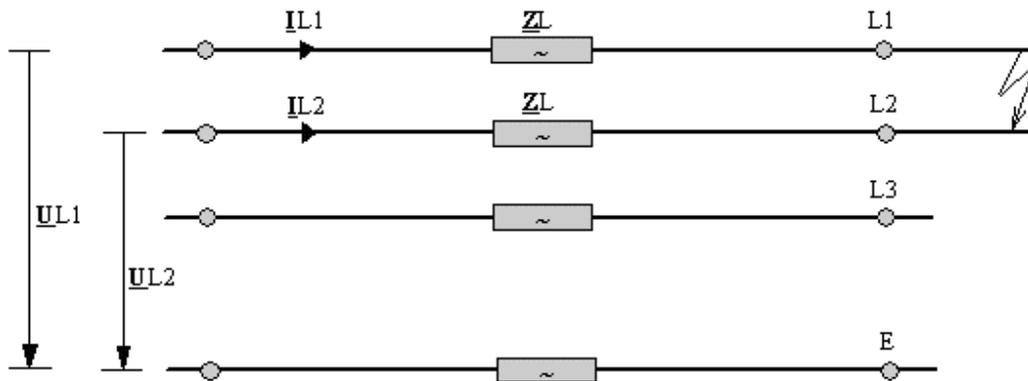
$$\underline{Z}_L = \frac{\underline{U}_{L2} - \underline{U}_{L1}}{\underline{I}_{L2} - \underline{I}_{L1}}$$

Gleichung 5: Schleife Leiter1 – Leiter 2

Voraussetzungen für die Berechnung:

- 1.) Entweder I_{L1} oder I_{L2} überschreitet den Mindeststrom.
- 2.) Der verkettete Strom Betrag ($I_{L2} - I_{L1}$) überschreitet den Mindeststrom.

Analog Schleife Leiter 2 - Leiter 3 und Schleife Leiter 3 - Leiter 1



Ersatzschaltbild zur Impedanzberechnung Leiter-Leiter

Bild 36: Impedanzberechnung Leiter-Leiter

Berechnung der Impedanz aus der Leiter-Erde-Schleife:

$$\underline{I}_{L1} \cdot \underline{Z}_L - \underline{I}_E \cdot \underline{Z}_E = \underline{U}_{L1}$$

$$\text{mit } \underline{I}_E = -(\underline{I}_{L1} + \underline{I}_{L2} + \underline{I}_{L3})$$

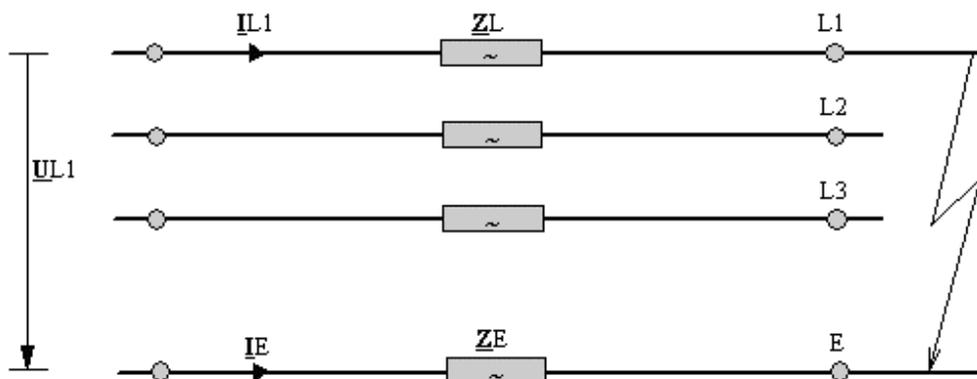
Gleichung 6: Schleife Leiter 1 - Erde

Voraussetzung: I_{L1} überschreitet den Mindeststrom.

Aus den Einstellparametern sind folgende Werte bekannt: R_E/R_L X_E/X_L .

Damit kann Z_L aus den errechneten Spannungen und Strömen bestimmt werden.

Analog Schleife Leiter 2 - Erde und Schleife Leiter 3 - Erde.



Ersatzschaltbild zur Impedanzberechnung Leiter-Erde

Bild 37: Impedanzberechnung Leiter-Erde

A.12 Logische Gruppe "STCD3"

Anregedaten "Impedanzanregung digital Siemens 7SA511"

Folgende Einstellwerte sind bei dieser logischen Gruppe möglich:

Bezeichner	Wertetyp	Beschreibung	Pflicht
AP	String	Anregeprogramm beides(B) / nur Leiter-Erde (E), Default: B	
U Bezug	Decimal	Bezugsspannung (Pflicht nur bei Eingabe von UE>)	
I Bezug	Decimal	Bezugsstrom	ja
IE>	Decimal	Summenstrom-Anregung (p.u.)	ja
ST	Decimal	Steigung Summenstrom-Anregung (p.u.)	
UE>	Decimal	Erdspannungs-Anregung (p.u.)	
I>>	Decimal	Überstrom-Anregung (p.u.)	ja
I min	Decimal	Mindeststrom für Impedanzanregung (p.u.)	ja
RA1	Decimal	Resistanz 1 für Leiter-Leiter	ja
RA2	Decimal	Resistanz 2 für Leiter-Leiter	ja
RAE	Decimal	Resistanz für Leiter-Erde	ja
X+A	Decimal	Reaktanzwert vorwärts	ja
X-A	Decimal	Reaktanzwert rückwärts	ja
Kippwinkel	Decimal	Kippwinkel der Kennlinie (Grad), Default: 76 Grad	
RE/RL	Decimal	Widerstandsverhältnis Erdfehleranpassung	ja
XE/XL	Decimal	Reaktanzverhältnis Erdfehleranpassung	ja

Anmerkungen:

Wichtig: Alle Werte in Ohm sind als Primärwerte einzugeben !!

Zum Einstellwert AP - Anregeprogramm:

AP='E' (nur Leiter-Erde) bedeutet, dass die Impedanz aus der Leiter-Leiter-Schleife für die Impedanzanregung nicht maßgebend ist. Bei erfasstem Erdfehler wird dann die Leiter-Erde-Schleife wirksam, ohne erfasstem Erdfehler nur die Überstromanregung $I_{>>}$.

AP='B' bedeutet, dass ohne erfasstem Erdfehler die Leiter-Leiter-Schleife maßgebend ist, bei erfasstem Erdfehler hingegen die Leiter-Erde-Schleife.

Zu den Bezugsgrößen U Bezug und I Bezug:

Die bezogenen Werte dieser logischen Gruppe werden mit Hilfe von Bezugsspannung und Bezugsstrom in absolute Werte (Primärwerte) umgerechnet. Einstellimpedanzen in Ohm werden vom Programm nicht umgerechnet und sind deshalb grundsätzlich als Primärwerte einzugeben.

Wenn ohne weitere Umrechnung die auf den Relais-Nennstrom bezogenen Werte der Hersteller-Relaisbeschreibung (Siemens 7SA511) eingegeben werden, so muss als Bezugsstrom der auf die Primärseite bezogene Relais-Nennstrom eingegeben werden:

$$I \text{ Bezug} = I_N(\text{Relais}) * \ddot{u}(\text{Stromwandler})$$

Für Spannungswerte finden sich dieser Hersteller-Relaisbeschreibung Werte in V. Diese können ohne Umrechnung in die Eingabefelder mit der Einheit p.u. übertragen werden, wenn als Bezugsspannung folgender Wert in V eingegeben wird:

$$U \text{ Bezug} = 1 \text{ V} * \ddot{u}(\text{Spannungswandler})$$

Besonderheiten von Typ D3 gegenüber Typ D2:

- Zur Vereinfachung der Eingabe muss ein Bezugsstrom "I Bezug" eingegeben werden. Alle anderen Ströme sind auf diesen Strom bezogen in p.u. einzugeben.
- Alle Schleifenimpedanzen größer $1.5 * Z_{\min}$ werden eliminiert, d.h. sie sind beim Anregeentscheid nicht wirksam.
- Die Überstromanregung $I_{>>}$ ist nur wirksam, wenn die entsprechende Leiter-Erde-Schleife eliminiert worden ist. Bei AP='E' (nur Leiter-Erde, siehe Feld 3)

wirkt die Überstromanregung zusätzlich bei fehlender Erdanregung um Leiter-Leiter-Fehler zu erfassen.

- Für die Summenstromanregung ist folgende Kennlinie wirksam:

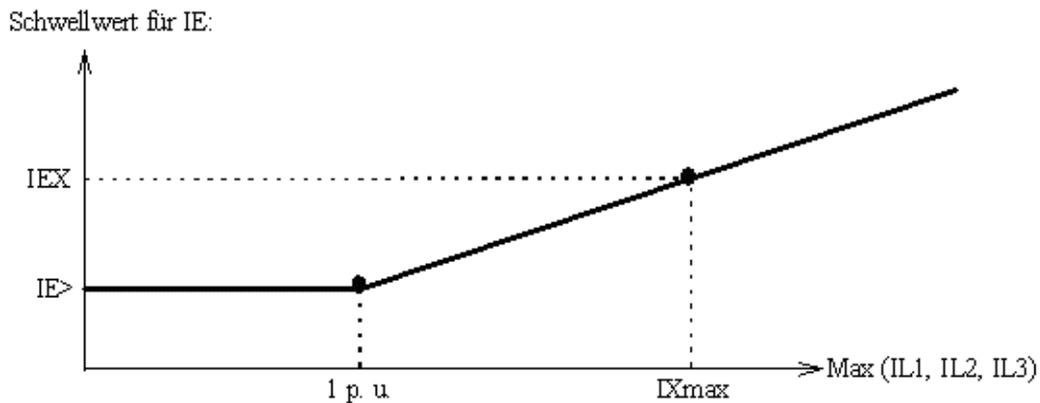


Bild 38: Kennlinie Erdstromanregung

Zur Beschreibung der Kennlinie ist der Schwellwert $IE>$ in p.u. und die Steigung ST einzugeben. Es gilt:

$$ST = \frac{IEX - IE>}{IX_{\text{max}} - 1 \text{ p. u.}} \quad (\text{alle Eingaben in p.u.})$$

Gleichung 7: Steigung für Erdstromanregung

Fehlt der Eintrag für die Steigung ST (oder bei Eintrag Null), so wirkt $IE>$ unabhängig vom maximalen Leiterstrom, d.h. der Schwellwert für die Summenstromanregung ist konstant.

Zum Einstellwert $UE>$:

Die Erdspannung ist die Nullspannung multipliziert mit Wurzel(3). Die Erdfehlererkennung besteht aus einer Oder-Verknüpfung aus Summenstrom-Anregung und Erdspannungs-Anregung.

Impedanzanregung Typ D3:

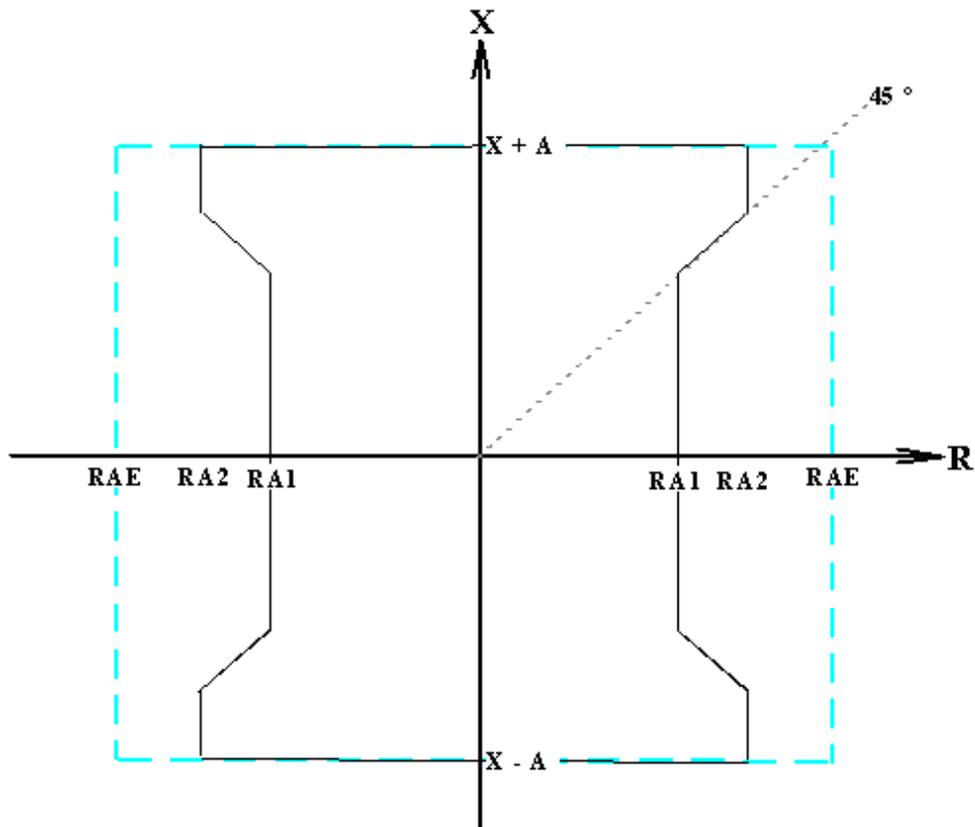


Bild 39: Impedanzfläche 7SA511

Berechnung der Impedanz aus der Leiter-Leiter-Schleife:

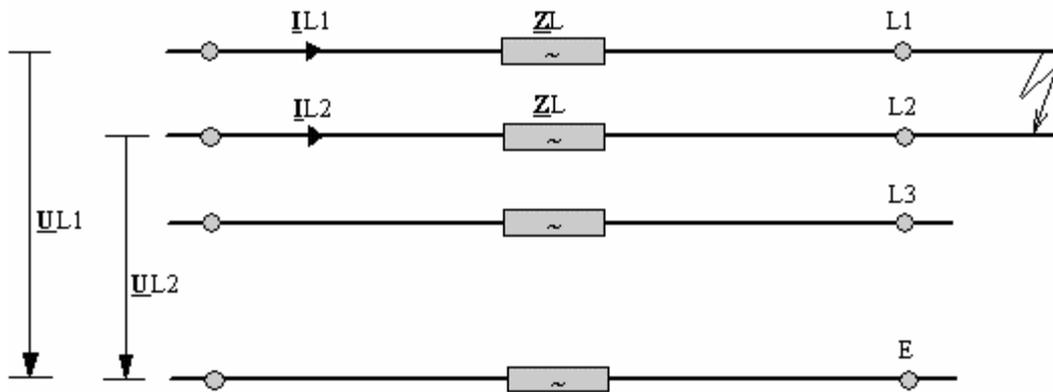
$$\underline{Z}_L = \frac{\underline{U}_{L2} - \underline{U}_{L1}}{\underline{I}_{L2} - \underline{I}_{L1}}$$

Gleichung 8: Schleife Leiter1 – Leiter 2

Voraussetzungen für die Berechnung:

- 1.) Entweder I_{L1} oder I_{L2} überschreitet den Mindeststrom.
- 2.) Der verkettete Strom Betrag ($I_{L2} - I_{L1}$) überschreitet den Mindeststrom.

Analog Schleife Leiter 2 - Leiter 3 und Schleife Leiter 3 - Leiter 1



Ersatzschaltbild zur Impedanzberechnung Leiter-Leiter

Bild 40: Impedanzberechnung Leiter-Leiter**Berechnung der Impedanz aus der Leiter-Erde-Schleife:**

$$\underline{I}_{L1} \cdot \underline{Z}_L - \underline{I}_E \cdot \underline{Z}_E = \underline{U}_{L1}$$

$$\text{mit } \underline{I}_E = -(\underline{I}_{L1} + \underline{I}_{L2} + \underline{I}_{L3})$$

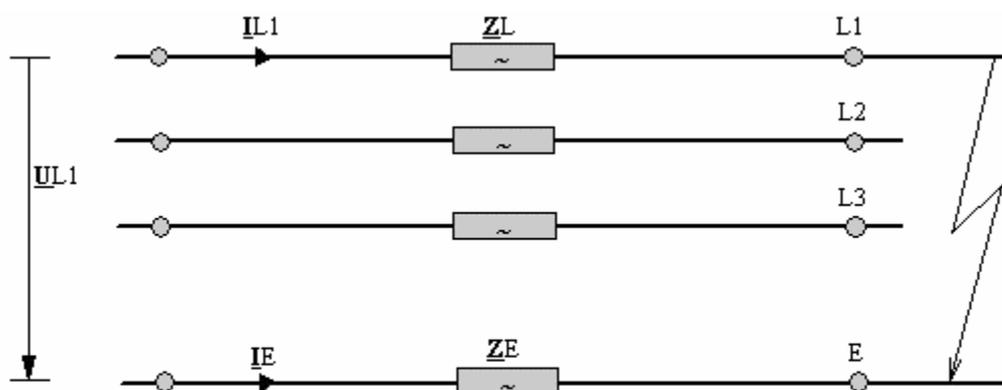
Gleichung 9: Schleife Leiter 1 - Erde

Voraussetzung: I_{L1} überschreitet den Mindeststrom.

Aus den Einstellparametern sind folgende Werte bekannt: R_E/R_L X_E/X_L .

Damit kann Z_L aus den errechneten Spannungen und Strömen bestimmt werden.

Analog Schleife Leiter 2 - Erde und Schleife Leiter 3 - Erde



Ersatzschaltbild zur Impedanzberechnung Leiter-Erde

Bild 41: Impedanzberechnung Leiter-Erde

A.13 Logische Gruppe "STCD4"

Anregedaten "UI-Anregung digital Siemens 7SA511"

Folgende Einstellwerte sind bei dieser logischen Gruppe möglich:

Bezeichner	Wertetyp	Beschreibung	Pflicht
AP	String	Anregeprogramm B-EE-E-LL (siehe unten), Default: B	
U Bezug	Decimal	Bezugsspannung	ja
I Bezug	Decimal	Bezugsstrom	ja
IE>	Decimal	Summenstrom-Anregung (p.u.)	ja
ST	Decimal	Steigung Summenstrom-Anregung (p.u.)	
UE>	Decimal	Erdspannungs-Anregung (p.u.)	
I>>	Decimal	Überstrom-Anregung (p.u.)	ja
I min	Decimal	Mindeststrom für Impedanzanregung (p.u.)	ja
U1LE	Decimal	Unterspannung U1LE bei I>> (p.u.)	ja
U2LE	Decimal	Unterspannung U2LE bei Imin (p.u.)	ja
U1LL	Decimal	Unterspannung U1LL bei I>> (p.u.)	ja
U2LL	Decimal	Unterspannung U2LL bei Imin (p.u.)	ja

Anmerkungen:

Zum Einstellwert AP - Anregeprogramm:

B: Auswertung Spannung Leiter-Erde (ULE) mit erfasstem Erdfehler
Auswertung Spannung Leiter-Leiter (ULL) ohne erfasstem Erdfehler

EE: immer Auswertung Spannung Leiter-Erde (ULE)

E: Auswertung Spannung Leiter-Erde (ULE) mit erfasstem Erdfehler
Überstrom I>> ohne erfasstem Erdfehler

LL: immer Auswertung Spannung Leiter-Leiter (ULL)

Zu den Bezugsgrößen U Bezug und I Bezug:

Die bezogenen Werte dieser logischen Gruppe werden mit Hilfe von Bezugsspannung und Bezugsstrom in absolute Werte (Primärwerte) umgerechnet.

Wenn ohne weitere Umrechnung die auf den Relais-Nennstrom bezogenen Werte der Hersteller-Relaisbeschreibung (Siemens 7SA511) eingegeben werden, so muss als Bezugsstrom der auf die Primärseite bezogene Relais-Nennstrom eingegeben werden:

$$I \text{ Bezug} = I_N(\text{Relais}) \cdot \ddot{u}(\text{Stromwandler})$$

Für Spannungswerte finden sich dieser Hersteller-Relaisbeschreibung Werte in V. Diese können ohne Umrechnung in die Eingabefelder mit der Einheit p.u. übertragen werden, wenn als Bezugsspannung folgender Wert in V eingegeben wird:

$$U \text{ Bezug} = 1 \text{ V} \cdot \ddot{u}(\text{Spannungswandler})$$

Summenstrom-Anregung:

Wie bei Anregetyp D3 kann bei ST größer Null eine Kennlinie für die Summenstromanregung vorgegeben werden, die vom maximalen Leiterstrom abhängig ist.

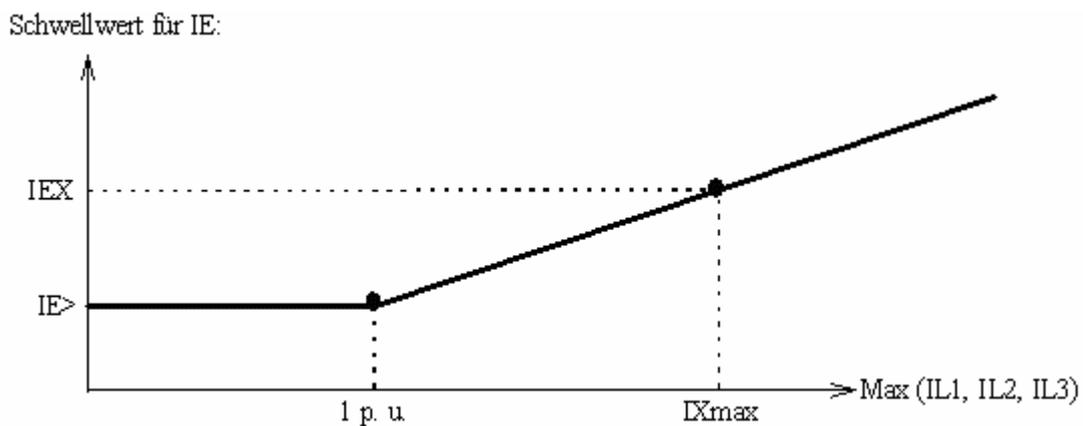


Bild 42: Kennlinie Erdstromanregung

Zur Beschreibung der Kennlinie ist der Schwellwert $IE>$ in p.u. und die Steigung ST einzugeben. Es gilt:

$$ST = \frac{IE_{X} - IE >}{IX_{\max} - 1 \text{ p.u.}} \quad (\text{alle Eingaben in p.u.})$$

Gleichung 10: Steigung für Erdstromanregung

Fehlt der Eintrag für die Steigung ST (oder bei Eintrag Null), so wirkt $IE>$ unabhängig vom maximalen Leiterstrom, d.h. der Schwellwert für die Summenstromanregung ist konstant.

Zum Einstellwert $UE>$:

Die Erdspannung ist die Nullspannung multipliziert mit Wurzel(3). Die Erdfehlererkennung besteht aus einer Oder-Verknüpfung aus Summenstrom-Anregung und Erdspannungs-Anregung.

Folgende U-I-Kennlinie gilt sowohl für die Leiter-Erd-Spannungen U_{1LE} und U_{2LE} als auch für die Leiter-Leiter-Spannungen U_{1LL} und U_{2LL} :

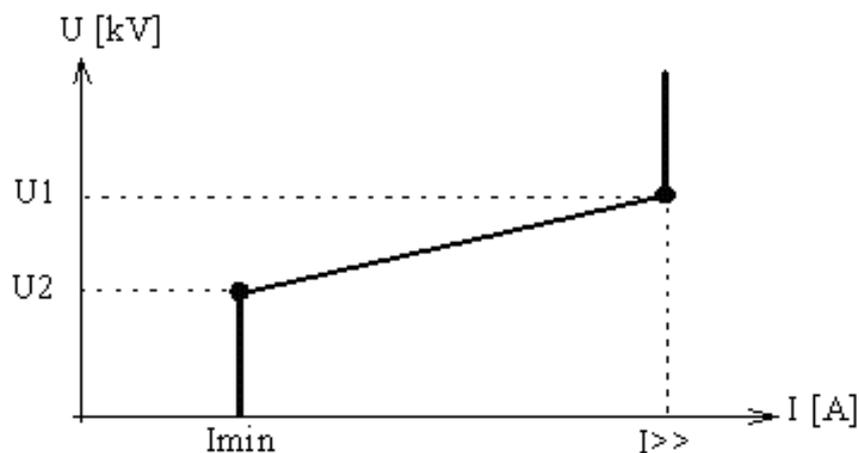


Bild 43: U-I-Kennlinie Siemens 7SA511

A.14 Logische Gruppe "STCD5"

Anregedaten "Impedanzanregung digital AEG PD551"

Folgende Einstellwerte sind bei dieser logischen Gruppe möglich:

Bezeichner	Wertetyp	Beschreibung	Pflicht
SB	String	Sternpunktbehandlung 1 - 2 - 3 - 4 (siehe unten), Default: 1	
MN	String	Anregemithnahme 1 - 2 (siehe unten)	ja
U Bezug	Decimal	Bezugsspannung	ja
I Bezug	Decimal	Bezugsstrom	ja
IE>	Decimal	Summenstrom-Anregung (p.u.)	ja
UNE>	Decimal	Erdspannungs-Anregung (p.u.)	ja
I>>	Decimal	Überstrom-Anregung (p.u.)	ja
IF>	Decimal	Fußpunktstrom (p.u.)	ja
UF<	Decimal	Unterspannungs-Anregung (p.u.) Leiter-Leiter	ja
K	Decimal	Erdfaktor, Betrag	ja
PhiK	Decimal	Erdfaktor, Winkel (Grad)	ja
XV	Decimal	Reaktanz	ja
RVE	Decimal	Resistanz für Leiter-Erde	ja
RV	Decimal	Resistanz für Leiter-Leiter	ja
ZR/ZV	Decimal	Reichweite rückwärts	ja
PhiL	Decimal	Lastwinkel (Grad)	ja

Anmerkungen:

Wichtig: Alle Werte in Ohm sind als Primärwerte einzugeben !!

Zum Einstellwert SB - Sternpunktbehandlung:

- 1: niederohmig geerdet
- 2: kompensiert/isoliert
- 3: kompensiert
- 4: kurzzeitig niederohmig

Zum Einstellwert MN - Anregemithnahme:

- 1: Mitnahme AN1
- 2: Mitnahme AN1 oder Leiter

Zu den Bezugsgrößen U Bezug und I Bezug:

Die bezogenen Werte dieser logischen Gruppe werden mit Hilfe von Bezugsspannung und Bezugsstrom in absolute Werte (Primärwerte) umgerechnet. Einstellimpedanzen in Ohm werden vom Programm nicht umgerechnet und sind deshalb grundsätzlich als Primärwerte einzugeben.

Wenn ohne weitere Umrechnung die auf den Relais-Nennstrom bezogenen Werte der Hersteller-Relaisbeschreibung (AEG PD551) eingegeben werden, so muss als Bezugsstrom der auf die Primärseite bezogene Relais-Nennstrom eingegeben werden:

$$I \text{ Bezug} = I_N(\text{Relais}) * \ddot{u}(\text{Stromwandler})$$

Für Spannungswerte finden sich dieser Hersteller-Relaisbeschreibung Werte in p.u. Diese können ohne Umrechnung in die Eingabefelder mit der Einheit p.u. übertragen werden, wenn als Bezugsspannung folgender Wert eingegeben wird:

$$U \text{ Bezug} = U_N(\text{Relais}) * \ddot{u}(\text{Spannungswandler})$$

Zum Einstellwert UNE>:

Die Erdspannung ist die Nullspannung multipliziert mit Wurzel(3).

Zum Einstellwert $UF_{<}$:

Der angegebene Wert gilt für Leiter-Leiter-Spannungen. Der Schwellwert für Leiter-Erd-Spannungen ist $UF_{<} / \sqrt{3}$.

Impedanzanregung Typ D5:

Das AEG-Relais PD551 hat ein aufwendiges Anregesystem, das genau nachgebildet wird. Das Anregeverhalten kann gegliedert werden in Überstromanregung, Erdstromanregung, Unterspannungsanregung, Impedanzanregung und Anregellogik zur Verknüpfung der Signale. Bei Zeitverzögerungen (z.B. durch Anregemithnahme) wird das Verhalten nach Ablauf der Zeitschleife nachgebildet. Zur genauen Beschreibung des Anregeverhaltens sei auf die Relaisbeschreibung des Herstellers verwiesen. Nachfolgend ist die Kennlinie abgebildet, die Bestandteil der Impedanzanregung ist.

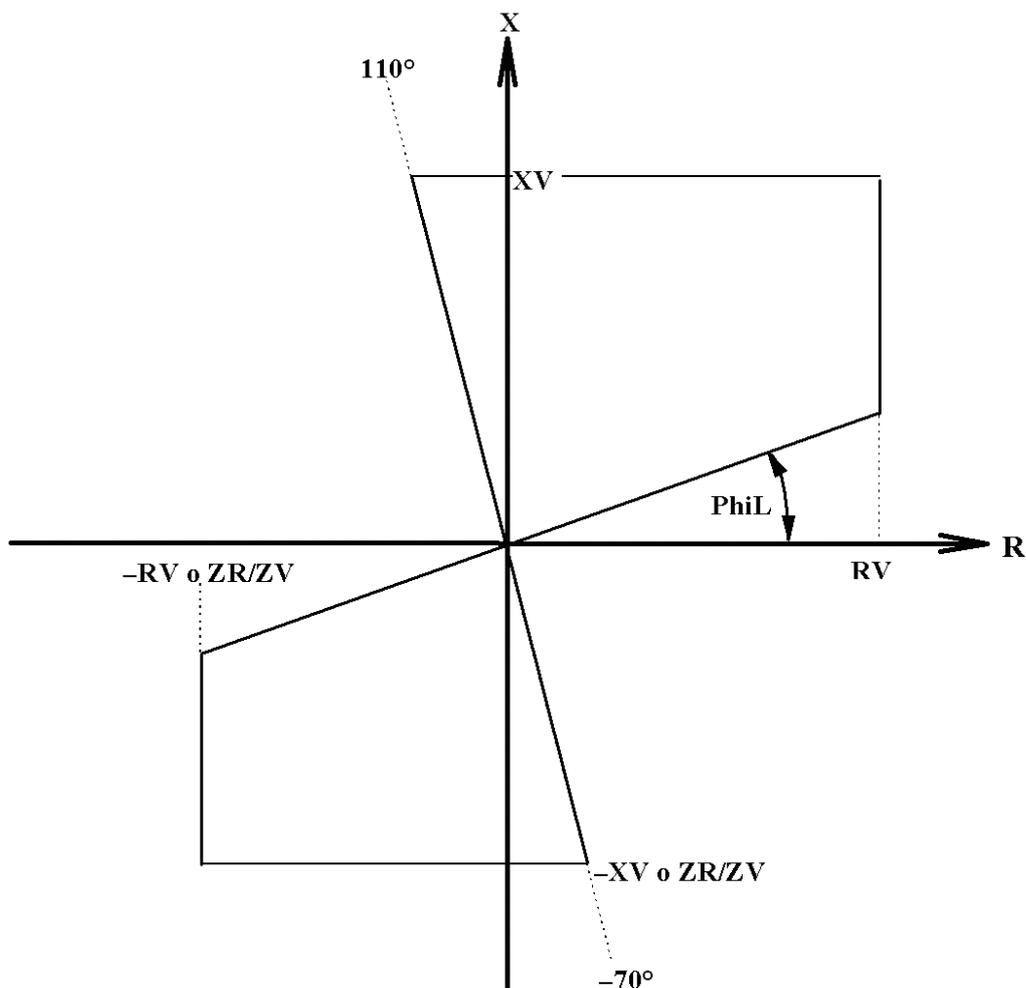


Bild 44: Impedanzfläche AEG PD551

A.15 Logische Gruppe "STCD6"

Anregedaten "Anregung digital AEG PD531"

Folgende Einstellwerte sind bei dieser logischen Gruppe möglich:

Bezeichner	Wertetyp	Beschreibung	Pflicht
SB	String	Sternpunktbehandlung 1 - 2 - 3 - 4 (siehe unten), Default: 1	
MN	String	Anregemithnahme 1 - 2 (siehe unten)	ja
BU	String	Betriebsart Unterspannung 0 - 1 - 2 (siehe unten)	ja
U Bezug	Decimal	Bezugsspannung	ja
I Bezug	Decimal	Bezugsstrom	ja
IE>	Decimal	Summenstrom-Anregung (p.u.)	ja
UNE>	Decimal	Erdspannungs-Anregung (p.u.)	ja
I>>	Decimal	Überstrom-Anregung (p.u.)	ja
IF>	Decimal	Fußpunktstrom (p.u.)	ja
UF<	Decimal	Unterspannungs-Anregung (p.u.) Leiter-Leiter	ja

Anmerkungen:

Zum Einstellwert SB - Sternpunktbehandlung:

- 1: niederohmig geerdet
- 2: kompensiert/isoliert
- 3: kompensiert
- 4: kurzzeitig niederohmig

Zum Einstellwert MN - Anregemithnahme:

- 1: Mitnahme AN1
- 2: Mitnahme AN1 oder Leiter

Zum Einstellwert BU - Betriebsart Unterspannung:

- 0: ohne UF<
- 1: Freigabe UF< durch A0
- 2: mit UF<

Zu den Bezugsgrößen U Bezug und I Bezug:

Die bezogenen Werte dieser logischen Gruppe werden mit Hilfe von Bezugsspannung und Bezugsstrom in absolute Werte (Primärwerte) umgerechnet.

Wenn ohne weitere Umrechnung die auf den Relais-Nennstrom bezogenen Werte der Hersteller-Relaisbeschreibung (AEG PD531) eingegeben werden, so muss als Bezugsstrom der auf die Primärseite bezogene Relais-Nennstrom eingegeben werden:

$$I \text{ Bezug} = I_N(\text{Relais}) \cdot \ddot{u}(\text{Stromwandler})$$

Für Spannungswerte finden sich dieser Hersteller-Relaisbeschreibung Werte in p.u. . Diese können ohne Umrechnung in die Eingabefelder mit der Einheit p.u. übertragen werden, wenn als Bezugsspannung folgender Wert eingegeben wird:

$$U \text{ Bezug} = U_N(\text{Relais}) \cdot \ddot{u}(\text{Spannungswandler})$$

Zum Einstellwert UNE>:

Die Erdspannung ist die Nullspannung multipliziert mit Wurzel(3).

Zum Einstellwert UF<:

Der angegebene Wert gilt für Leiter-Leiter-Spannungen. Der Schwellwert für Leiter-Erd-Spannungen ist $UF< / \sqrt{3}$.

Das AEG-Relais PD531 hat ein Anregesystem, das dem des AEG-Relais PD551 sehr ähnelt. Die Impedanzanregung fehlt jedoch. Zusätzlich existiert ein Einstellwert BU zur Steuerung der Unterspannungsanregung. Wie beim PD551 wird bei Zeitverzögerungen (z.B. durch Anregemithnahme) das Verhalten nach Ablauf der Zeitschleife nachgebildet. Zur genauen Beschreibung des Anregeverhaltens sei auf die Relaisbeschreibung des Herstellers verwiesen.