

Inhalt

1	Höhere Auslastung der Netze	11
1.1	Freileitungsmonitoring	11
1.2	Maximal zulässige Lastströme	13
1.3	Adaptiver Schutz	17
2	Bidirektionale Leistungsflüsse über Transformatoren	19
2.1	Einleitung – Transformatorschutz	19
2.2	Reichweite Impedanzanregung am Netzkoppeltransformator	20
2.3	Begrenzung induktiver Leistungsflüsse aufgrund winkelabhängiger Anregung	24
2.4	Lösungsansätze	26
2.4.1	Einstellkonvention ÜNB/VNB und Visualisieren der Begrenzung	26
2.4.2	Ortsnaher Reserveschutz und Leistungsschaltversagerschutz – Ansatz 1	28
2.4.3	Ortsnaher Reserveschutz und Leistungsschaltversagerschutz – Ansatz 2	29
3	Schutzkonzepte an den Netzschnittstellen ÜNB/VNB	30
4	Entwicklung der Schutzkonzepte im Mittelspannungsnetz	33
4.1	Bisher verwendete Netzstrukturen und zugehörige Schutzkonzepte	33
4.2	Netzveränderung durch Einspeiser – vom offenen Ring zu geschlossenen Ringen	33
4.3	Netzveränderung durch Einspeiser – vom geschlossenen Ring zu Maschennetzen	34
4.4	Besondere Netzformen auf Grund großer Einspeisepunkte	35
4.5	Netzanschluss von Kunden	36
4.6	Besonderheiten bei der Sternpunktbehandlung	36
5	Schutz der Sammelschiene im neuen Umfeld	38
5.1	Redundanter Sammelschienendifferentialschutz	38
5.2	Sammelschienendifferentialschutz und LSV bei schwachen Einspeisungen (Kondensatorbank)	40
5.3	Alternative zum Sammelschienendifferentialschutz	41
5.4	Vollständige rückwärtige Verriegelung	42
6	Stichanschlüsse an das HS-Netz und 3-Beine im HöS-Netz	44
6.1	Begriffsklärung und Klassifikation von Dreibeinen	44
6.1.1	Leitungsdreibein mit passiven Stichanschluss	44
6.1.2	Leitungsdreibein mit schwach einspeisendem Stichanschluss	44
6.1.3	Aktive Leitungsdreibeine	44
6.2	Messwertverfälschung durch Zwischeneinspeisung	45
6.3	Hochspannungsnetz	46
6.3.1	Allgemeines	46
6.3.2	Schutzkonzepte bei Leitungsdreibein mit passivem Stichanschluss	47
6.3.3	Schutzkonzept bei Leitungsdreibein mit schwach einspeisendem Stichanschluss	48
6.3.4	Schutzkonzept bei aktivem Leitungsdreibein	49
6.4	Höchstspannungsnetz	49
6.4.1	Allgemeines	49
6.4.2	Schutzkonzept bei Leitungsdreibein mit schwach einspeisendem Stichanschluss	49

6.4.3	Schutzkonzept bei aktivem Leitungsdreibein.....	49
6.5	Praktische Hinweise.....	52
7	Erhöhte Verkabelung in Netzen der elektrischen Energieversorgung	53
7.1	Erhöhte Verkabelung – eine (schutz-)technische Herausforderung.....	53
7.2	Das Nullsystem und dessen Abhängigkeit von der Kabelschirmbehandlung	53
7.2.1	Einseitige Erdung eines Kabelschirms	54
7.2.2	Zweiseitige Erdung eines Kabelschirms	54
7.2.3	Crossbonding.....	55
7.2.4	Stromtragfähigkeit von Kabelschirmen und Hauptleitern.....	56
7.2.5	Fehlerstromwege, Nullsystem in Abhängigkeit der Kabelschirmbehandlung.....	56
7.2.6	Berechnung des Erdkompensationsfaktors (k_E -Faktor) in Abhängigkeit der Kabelschirmerdung	60
7.2.7	Messergebnisse von Erdkompensationsfaktor (k_E -Faktor) bei Mittelspannungskabeln in Abhängigkeit der Kabelschirmerdung.....	63
7.2.8	Auswirkungen auf die Schutzfunktion bei nicht korrekt eingestelltem Erdkompensationsfaktor	65
7.2.9	Verarbeitung des Erdkompensationsfaktors in den Schutzgeräten und ihre Auswirkungen auf die Schutzfunktion.....	67
7.2.10	Allgemeine Empfehlungen für die Einstellung des Erdkompensationsfaktors	70
7.2.11	Strommessung über Kabelumbauwandler.....	70
7.3	Verlegearten von Kabeln	70
7.3.1	Verlegearten.....	71
7.3.2	Berechnung der Induktivität und des Reaktanzwertes	72
7.3.3	Betrachtung im Kurzschlussfall.....	73
7.3.4	Auswirkung der unsymmetrischen Leiterimpedanz auf die Erdschlussortung	73
7.4	Vom gelöschten Netz zur niederohmigen Sternpunktterdung als Folge hoher Verkabelungsanteile im Netz – Schutzbetrachtungen.....	74
7.5	Der Ersatz von Freileitung durch Kabel – Schutzbetrachtungen speziell für Mittelspannungsnetze	75
7.5.1	Übersicht und Fallbeispiel.....	75
7.5.2	Hauptschutzbetrachtungen für 20-kV-Abgang (Schutzeinrichtung B)	76
7.5.3	Reserveschutzbetrachtungen (z.B. Betrachtung Schutzsystem A)	78
7.5.4	Genauigkeitsanforderungen bei kleinen Leitungswinkeln	79
7.5.5	Vergleich des Ladestroms zwischen Kabel und Freileitung	80
7.6	Schutzkonzepte an Fallbeispielen	80
7.6.1	Kabelstrecke mit Kompensationsdrosselspule	80
7.6.2	Kompensationsdrosselspule an einer Sammelschiene	82
7.6.3	Kabelstrecke mit Trenntrafo.....	82
7.7	Erhöhung der E-Spulenleistung und Schutz von Eigenbedarf-, Erdungstransformatoren	82
7.8	Minimierung des Doppelerdschlussrisikos durch kurzzeitig niederohmige Sternpunktterdung	85
7.9	Kurzschlussortung	87
7.10	Fehlerortung im gelöscht und isoliert betriebenen Netz	91
7.11	AWE in gemischten Freileitungs-/Kabelstrecken.....	94

7.12 Überlastbarkeit von Kabeln.....	95
7.13 U-Wandler und Entladung	98
7.14 Richtwerte für Kabelparameter	99
8 Literaturverzeichnis	101
9 Anhang	102