

FNN-Hinweis



Netzschutzkonzepte für zukünftige Netze

Mai 2018

FNN

e oesterreichs
energie.

VS
ΛES

VDE

Dieser FNN-Hinweis wurde vom FNN-Expertennetzwerk Netzschutz im Auftrag des FNN-Lenkungskreis Hoch- und Höchstspannung erstellt. Er ist mit dem Arbeitskreis „Schutztechnik“ von OESTERREICHS ENERGIE und dem VSE Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen abgestimmt und wird gemeinschaftlich herausgegeben.

Impressum

Österreichs E-Wirtschaft
Brahmsplatz 3, 1040 Wien
Telefon: +43 (0) 1 50198 0
Fax: +43 (0) 1 50198 900
E-Mail: info@oesterreichsenergie.at
Internet: <http://www.oesterreichsenergie.at>

Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
Hintere Bahnhofstrasse 10, 5001 Aarau
Telefon: +41 (0) 62 825 25 25
Fax: +41 (0) 62 825 25 26
E-Mail: info@strom.ch
Internet: <http://www.strom.ch>

© Forum Netztechnik / Netzbetrieb im VDE (FNN)
Bismarckstraße 33, 10625 Berlin
Telefon: + 49 (0) 30 3838687 0
Fax: + 49 (0) 30 3838687 7
E-Mail: fnn@vde.com
Internet: <http://www.vde.com/fnn>

Mai 2018

Netzschutzkonzepte für zukünftige Netze

Mai 2018 – Version 1.0

Inhalt

1	Höhere Auslastung der Netze	9
1.1	Freileitungsmonitoring	9
1.2	Maximal zulässige Lastströme	11
1.3	Adaptiver Schutz	16
2	Bidirektionale Leistungsflüsse über Transformatoren	18
2.1	Einleitung – Transformatorschutz	18
2.2	Reichweite Impedanzanregung am Netzkuppltransformator	19
2.3	Begrenzung induktiver Leistungsflüsse aufgrund winkelabhängiger Anregung	24
2.4	Lösungsansätze	27
2.4.1	Einstellkonvention ÜNB/VNB und Visualisieren der Begrenzung	27
2.4.2	Ortsnaher Reserveschutz und Leistungsschaltversagerschutz – Ansatz 1	29
2.4.3	Ortsnaher Reserveschutz und Leistungsschaltversagerschutz – Ansatz 2	29
3	Schutzkonzepte an den Netzschnittstellen ÜNB/VNB	31
4	Entwicklung der Schutzkonzepte im Mittelspannungsnetz	34
4.1	Bisher verwendete Netzstrukturen und zugehörige Schutzkonzepte	34
4.2	Netzveränderung durch Einspeiser - vom offenen Ring zu geschlossenen Ringen	34
4.3	Netzveränderung durch Einspeiser - vom geschlossenen Ring zu Maschennetzen	35
4.4	Besondere Netzformen auf Grund großer Einspeisepunkte	37
4.5	Netzanschluss von Kunden	38
4.6	Besonderheiten bei der Sternpunktbehandlung	38
5	Schutz der Sammelschiene im neuen Umfeld	40
5.1	Redundanter Sammelschienenendifferentialschutz	40
5.2	Sammelschienenendifferentialschutz und LSV bei schwachen Einspeisungen (Kondensatorbank)	42
5.3	Alternative zum Sammelschienenendifferentialschutz	43
5.4	Vollständige rückwärtige Verriegelung	44
6	Stichanschlüsse an das HS-Netz und 3-Beine im HöS-Netz	46
6.1	Begriffsklärung und Klassifikation von Dreibeinen	46
6.1.1	Leitungsdreibein mit passiven Stichanschluss	46
6.1.2	Leitungsdreibein mit schwach einspeisendem Stichanschluss	46
6.1.3	Aktive Leitungsdreibeine	47
	Aktive Leitungsdreibeine	47
6.2	Messwertverfälschung durch Zwischeneinspeisung	47
6.3	Hochspannungsnetz	48
6.3.1	Allgemeines	48
6.3.2	Schutzkonzepte bei Leitungsdreibein mit passivem Stichanschluss	49
6.3.3	Schutzkonzept bei Leitungsdreibein mit schwach einspeisendem Stichanschluss	51
6.3.4	Schutzkonzept bei aktivem Leitungsdreibein	52
6.4	Höchstspannungsnetz	52

6.4.1	Allgemeines.....	52
6.4.2	Schutzkonzept bei Leitungsdreibein mit schwach einspeisendem Stichanschluss	52
6.4.3	Schutzkonzept bei aktivem Leitungsdreibein.....	53
6.5	Praktische Hinweise.....	55

Bildverzeichnis

Bild 1	Mindestsicherheitsabstand Durchhang Freileitung zum Boden [Bildquelle: Westnetz GmbH Dortmund].....	9
Bild 2	Einfluss von Wetterbedingungen auf die Strombelastbarkeit [Bildquelle: Dr. R. Puffer, RWTH Aachen].....	10
Bild 3	Notwendige Resistanzreichweite der ersten Zone phE, $I_{LB} = 5\text{m}$, $R_F = 5\Omega$, $R_E/R_L = 1$, $3I_{(0),A}/I_{ph,A} = 1$	13
Bild 4	Notwendige Resistanzreserven gemäß Gleichung (1-2) ph_{ph} , $I_{LB} = 5\text{ m}$, $v_{LB} = 10\text{ m/s}$	14
Bild 5	Angebereich und Lastausschnitt in der Impedanzebene, Betrachtung der 380-kV-Spannungsebene.....	15
Bild 6	Angebereich der Distanzschutzfunktion und Lastbereich der Leitungstrecke in der Impedanzebene.....	16
Bild 7	Bidirektionaler Leistungsfluss über Transformatoren.....	19
Bild 8	Thevenin-Modell.....	20
Bild 9	Leitungsimpedanz mit Lichtbogenreserve.....	21
Bild 10	Vereinfachen aus Kreisgleichung.....	22
Bild 11	Minimale Reichweite Impedanzanregung bei unterschiedlichen Trafobemessungsleistungen.....	23
Bild 12	Reichweite Mittelspannungsabgangsfeld, Lichtbogenreserve ist berücksichtigt.....	24
Bild 13	Beispiel 300 MVA Trafoeinspeisung - Impedanz- und Überstromanregung in Impedanzebene ($X_v = 50\ \Omega$ / $R_v = 24\ \Omega$ / $\beta = 50^\circ$ / $I_{>} = 2360\text{ A}$ / $U_{\min} = 99\text{ kV}$).....	26
Bild 14	Beispiel 300 MVA Trafoeinspeisung - Impedanz- und Überstromanregung in Leistungsebene ($X_v = 50\ \Omega$ / $R_v = 24\ \Omega$ / $\beta = 50^\circ$ / $I_{>} = 2360\text{ A}$ / $U_{\min} = 99\text{ kV}$).....	26
Bild 15	Mögliche Definition einer Blindleistungsgrenze.....	27
Bild 16	Beispiel für die Überwachung der Impedanzanregung mit aktuellem Arbeitspunkt (grün).....	28
Bild 17	Reserveschutz Hochspannung – Konzept.....	29
Bild 18	Schutzkonzept konventioneller Netzanschluss.....	32
Bild 19	Schutzkonzept strategischer Netzanschluss.....	33
Bild 20	Schutzkonzept ausgeprägter Netzanschluss mit HS-Sammelschiene des ÜNB.....	33
Bild 21	Offen betriebener Netzring.....	34
Bild 22	Geschlossen betriebener Netzring.....	35
Bild 23	Vermaschtes Netz.....	36
Bild 24	Besondere Netzformen auf Grund großer Einspeisepunkte.....	38
Bild 25	Sternpunkt der Erzeugungsanlage.....	39
Bild 26	Redundanter Sammelschienenschutz (hier Prinzip Master-Follower).....	41
Bild 27	Schutz der Sammelschiene durch den Distanzschutz.....	44
Bild 28	Bild aus ETG/ITG SuA - Rückwärtige Verriegelung nach dem Arbeitsstromprinzip (Blockade bei Abgangsfehler).....	45
Bild 29	Leitungsdreibein mit passivem Stichanschluss.....	46
Bild 30	Leitungsdreibein mit schwach einspeisendem Stichanschluss.....	46
Bild 31	Aktives Leitungsdreibein.....	47
Bild 32	Zwischeneinspeisung Leitungsdreibein.....	48
Bild 33	Schutzkonzept bei Leitungsdreibein mit passivem Stichanschluss.....	50
Bild 34	Schutzkonzept bei Leitungsdreibein mit schwach einspeisendem Stichanschluss ...	51
Bild 35	Netztopologie aktives Leitungsdreibein.....	53
Bild 36	Messung der Fehlerimpedanz des Relais in A.....	53
Bild 37	Schwer zu erfassende Fehlerstellen (rot) und leicht zu erfassende Fehlerstellen (grün) bei überreichenden Verfahren (oben) und unterreichenden Verfahren (unten).....	55

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung der Schutzgrenz- und Engpassströme der 380-kV- und 110-kV Spannungsebene unter verschiedenen Leitungswinkeln.....	11
Tabelle 2: Resistanzreichweite auf der 380-kV-Spannungsebene.....	13
Tabelle 3: Erfahrungswerte der Resistanzreichweite auf der 110-kV-Spannungsebene	14
Tabelle 4: Blindleistungsgrenze	27

Vorwort

Elektrische Energieversorgungsnetze und deren Strukturen sind in der Regel nach den sich ändernden Erfordernissen der Versorgung mit elektrischer Energie gewachsen. Die Energieversorgungsnetze entwickeln sich derzeit unter folgenden wesentlichen Gesichtspunkten und Randbedingungen weiter

1. Einspeisungen erneuerbarer Erzeugungsanlagen, dezentral (onshore), zentral (offshore)
2. Einsatz neuer Technologien parallel zur konventionellen Technik
3. Geänderte technische Randbedingungen eines stabilen und zuverlässigen Netzbetriebs
4. Organisatorische Entflechtung der Elektroenergieversorgungsstrukturen und Liberalisierung des Stromenergiemarkts
5. Realisierung der Netzbauprojekte und deren Akzeptanz

Die Netze waren bisher durch eine weitläufige und große Netzausdehnung geprägt. Der Ausbau war vornehmlich an der Verbrauchslast orientiert. Die Lastflussrichtung orientierte sich von Großerzeugern unidirektional zur Last. Der Ausgleich von Erzeugung und Last war regional ausgeglichen. Nur im städtischen Bereich wurden Kabel verwendet. Dadurch konnten der Blindleistungsbedarf und der Erdschlussstrom in den Netzen relativ geringgehalten werden.

Der Ausbau der Netze wird nun durch erneuerbare Erzeugungsanlagen, deren Standortoptimum und deren Einbezug in die Bedingungen des Strommarkts bestimmt. Die Höchstspannungsnetze verbinden neue Erzeugungs- und Lastschwerpunkte über größere Entfernungen. Es entstehen Verteilernetze mit mehrseitigen volatilen Einspeisungen und grundsätzlich erhöht sich der Verkabelungsgrad über alle Spannungsebenen hinweg. Neu etablieren sich Erzeugungsnetze, die nur zur Aufnahme von erzeugter Energie bestimmt sind und zur Weiterleitung der Energie oft im Stich an das HS/HöS-Netz angebunden sind. Die Lastflussrichtung ist über Spannungsebenen hinweg bidirektional zu erwarten. Sowohl die erneuerbaren Erzeugungsanlagen als auch immer mehr Verbraucher und Netzelemente, wie Statcom-Anlagen, werden zunehmend über Leistungselektronik realisiert. Die Leistungselektronik beeinflusst die Zustandsgrößen des Netzes im Normal- wie im Gefährdungszustand.

Die Entwicklungen in den Netzen haben konkrete Folgen auf den Netzschutz. Der hier vorliegende FNN-Hinweis ist als Kompendium zu verstehen, welches in einzelnen Kapiteln verschiedene Folgen auf den Netzschutz beschreibt und Lösungen anbietet. Es verfolgt das Ziel, den ebenfalls vom VDE (FNN) herausgegebenen „Leitfaden zum Einsatz von Schutzsystemen in elektrischen Netzen“ (1), als Basis guter netzschutztechnischer Herangehensweisen und Empfehlungen, mit einzeln betrachteten Zukunftsthemen zu ergänzen. Die Kapitel können damit unabhängig voneinander gelesen werden und das Kompendium insgesamt mit weiteren Themen erweitert werden.