

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Motivation .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Definition relevanter Begriffe.....</b>	<b>9</b>
2.1	Begriffe zu Arten der Sternpunktterdung in Netzen.....	9
2.2	Begriffe im Rahmen der Umfrage.....	11
<b>3</b>	<b>Ausgewählte Aspekte der Sternpunktbehandlung .....</b>	<b>18</b>
3.1	Physik des Erdschlusses .....	18
3.1.1	Der Erdschluss.....	20
3.1.2	Entladevorgang.....	21
3.1.3	Aufladevorgang.....	23
3.1.4	Stationärer Zustand.....	24
3.1.5	Wiederzündende / Intermittierende Erdschlüsse .....	27
3.2	Regelung der Erdschluss-Spule .....	29
3.2.1	Vereinfachte Ersatzschaltung mithilfe der Symmetrischen Komponenten .....	29
3.2.2	Betrachtungen zur Über- und Unterkompensation .....	34
3.2.3	Art der Kompensation: prozentual versus fix .....	36
3.2.4	Übersprechen des Laststromes auf das Nullsystem.....	36
3.2.5	Bekannte Berechnungs- und Regelungsverfahren.....	38
3.2.5.1	Suche nach dem Maximum des Betrages von $U_0$ .....	38
3.2.5.2	Parameterschätzung aus der Resonanzkurve .....	39
3.2.5.3	Parameterschätzung aus der Inversen der Resonanzkurve .....	39
3.2.5.4	Berechnung der Ortskurve ohne Stromeinspeisung .....	40
3.2.5.5	Berechnung der Verstimmung mit einer 50-Hz-Stromeinspeisung.....	41
3.2.5.6	Auswertung des Ausgleichsvorganges nach einem Erdschluss.....	42
3.2.5.7	Berechnung der Verstimmung durch Einspeisung von zwei Frequenzen .....	44
3.3	Verfahren zur Verminderung des Reststromes während des Erdschlusses .....	47
3.3.1	Reststrom-Kompensation .....	47
3.3.2	Kompensation der Oberschwingungen im Reststrom .....	48
3.3.3	Erden des fehlerhaften Leiters .....	49
3.4	Erdschlussortungsverfahren.....	50
3.4.1	Allgemein .....	50
3.4.2	Transiente Verfahren .....	51
3.4.2.1	Erdschlusswischerverfahren .....	51
3.4.2.2	Standard-Wischerverfahren .....	51
3.4.2.3	Wischerverfahren mit dem $qu$ -Algorithmus .....	52
3.4.2.4	Wischerverfahren mit dem $qu^2$ -Algorithmus .....	55
3.4.2.5	Gerichtete Erkennung des wiederzündenden Fehlers mit dem $qui$ -Algorithmus .....	59
3.4.2.6	Wischerverfahren basierend auf Wavelets .....	63
3.4.3	Stationäre Verfahren.....	63
3.4.3.1	Blindleistungsrichtung 50-Hz- oder $\sin(\varphi)$ -Verfahren .....	63
3.4.3.2	Wirkleistungsrichtung oder $\cos(\varphi)$ -Verfahren.....	64

3.4.3.3	Oberschwingungsverfahren .....	66
3.4.3.4	Admittanz-Verfahren .....	69
3.4.4	Verfahren mit Strominjektion in das Nullsystem .....	73
3.4.4.1	Wattreststrom-Erhöhung .....	73
3.4.4.2	Pulsortung .....	74
3.4.4.3	Pulsortung mit Frequenzen $\neq$ 50 Hz .....	77
3.4.4.4	Schnelle Pulsortung .....	79
3.4.5	Vergleichende Verfahren .....	79
3.4.5.1	Vergleich der Wattrestströme je Abgang .....	79
3.4.5.2	Vergleich der Admittanzen je Abgang .....	80
3.4.5.3	Vergleich der Oberschwingungsströme je Abgang .....	80
3.4.5.4	DESIR .....	80
3.4.6	Priorisierung der Erdschluss-Richtungs-Verfahren .....	81
3.5	Grundsätze zur niederohmigen Sternpunkterdung (NOSPE) .....	82
3.6	Sternpunktbehandlung in den Bahnnetzen .....	85
3.6.1	Aktuelle Situation .....	85
3.6.2	Entwicklungen der Sternpunktbehandlung bei den Bahnen .....	89
<b>4</b>	<b>Bestandsaufnahme der angewendeten Verfahren .....</b>	<b>90</b>
4.1	Ziele und Organisation der Bestandsaufnahme .....	90
4.2	Gliederung der Umfrage .....	90
4.3	Umfrageergebnisse .....	91
4.3.1	Beteiligung .....	91
4.3.2	Basisdaten .....	92
4.3.3	Auswertung Teil 1 – Allgemeine Angaben .....	93
4.3.3.1	Stand und Entwicklung der Art der Sternpunktbehandlung .....	94
4.3.3.2	Bahnanwendungen .....	100
4.3.4	Auswertung Teil 2 – Störungsgeschehen .....	100
4.3.4.1	Allgemeine Hinweise .....	100
4.3.4.2	Ergebnisse ohne Berücksichtigung selbstverlöschender Erdschlüsse .....	101
4.3.4.3	Ergebnisse unter Berücksichtigung selbstverlöschender Erdschlüsse .....	105
4.3.4.4	Intermittierendes und wiederzündendes Fehlverhalten .....	106
4.3.5	Auswertung Teil 3 – Netz mit isoliertem Sternpunkt (OSPE) .....	110
4.3.6	Auswertung Teil 4 – Netz mit Erdschlusskompensation (RESPE) .....	111
4.3.6.1	Datenumfang für Netze mit RESPE/RESPE+KNOSPE .....	111
4.3.6.2	Netzparameter .....	112
4.3.6.3	Anlagenbau - Primärtechnik .....	129
4.3.6.4	Anlagenbau - Sekundärtechnik .....	133
4.3.6.5	Betriebsführung .....	139
4.3.7	Auswertung Teil 5 und 6 – Netz mit niederohmiger Sternpunkterdung (NOSPE) und Netz mit vorübergehender niederohmiger Sternpunkterdung (KNOSPE) .....	160
4.3.7.1	Datenbasis .....	160
4.3.7.2	Erdkurzschlussströme .....	161
4.3.7.3	Häufigkeit der NOSPE und KNOSPE .....	162
4.3.7.4	Art und Weise der Sternpunkterdung .....	163
4.3.7.5	Auslöse- und Einschaltzeiten .....	164

4.3.7.6 Automatische Wiedereinschaltung (AWE) .....	164
4.3.7.7 Schutztechnik .....	164
4.3.7.8 Messungen und Berechnungen.....	165
<b>5 Relevante Normen zur Sternpunktbehandlung.....</b>	<b>167</b>
5.1 Einleitung .....	167
5.2 Errichtung von Starkstromanlagen .....	168
5.2.1 Internationale und europäische Entwicklung.....	168
5.2.2 Details zur EN 50522 .....	168
5.2.2.1 Arten der Sternpunktbehandlung.....	168
5.2.2.2 Definition von Berührungsspannungen .....	169
5.2.2.3 Erläuterungen zum Begriff „Globales Erdungssystem“ .....	170
5.2.3 Beeinflussung von Telekommunikationsanlagen .....	170
5.2.4 Zusammenfassung .....	171
<b>6 Sternpunktbehandlung im europäischen Kontext.....</b>	<b>173</b>
6.1 Einleitung .....	173
6.2 Arten der Sternpunktbehandlung.....	173
6.3 Europäischer Vergleich .....	174
6.4 Zusammenfassung .....	178
<b>7 Quellenverzeichnis.....</b>	<b>179</b>
7.1 Normen D-A-CH.....	179
7.2 Literaturverzeichnis .....	181
<b>8 Anhänge.....</b>	<b>185</b>
Anhang 1 Anleitung zum online-Fragebogen .....	185
Anhang 2 Musterfragebogen zur Umfrage STE 2010.....	186