

Inhalt

NATIONALE ANMERKUNG Die Zahlen in eckigen Klammern geben die Quelle laut „Literaturhinweise“ an.

	Seite
1 Anwendungsbereich	10
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe	11
4 Überspannungen in Niederspannungssystemen	13
5 Blitzüberspannungen	14
5.1 Allgemeines	14
5.2 Ursprung von Blitzüberspannungen	19
5.3 Blitzüberspannungen, übertragen aus Mittelspannungssystemen.....	22
5.4 Überspannungen, verursacht durch einen Direkteinschlag in Niederspannungsleitungen	24
5.5 In Niederspannungssysteme induzierte Blitzüberspannungen	24
5.6 Beispiele von induzierten Überspannungen.....	26
5.7 Überspannungen, verursacht durch Blitzeinschläge in Gebäude oder in deren unmittelbarer Nähe	28
5.8 Zusammenfassung zu Blitzüberspannungen	32
6 Schaltüberspannungen.....	32
6.1 Allgemeines	32
6.2 Auslösen von Leistungsschaltern und Schaltern	36
6.3 Auslösen von Sicherungen.....	37
6.4 Häufigkeit von Ereignissen	38
6.5 Wechselwirkungen mit Überspannung-Schutzeinrichtungen (ÜSE).....	39
6.6 Zusammenfassung zu Schaltüberspannungen.....	39
7 Zeitweilige Überspannungen.....	40
7.1 Allgemeines	40
7.2 Intensität zeitweiliger Überspannungen auf Grund von Mittelspannungs- und Niederspannungsstörungen	40
7.3 Zeitweilige Überspannungen auf Grund von Fehlern in der Niederspannungsanlage	42
7.4 Wahrscheinlichkeit von Ereignissen und Schadenshöhe.....	43
7.5 Zusammenfassung zu zeitweiligen Überspannungen.....	45
8 Überspannungen auf Grund von Wechselwirkungen zwischen Systemen.....	46
8.1 Allgemein	46
8.2 Wechselwirkung zwischen Stromversorgungssystem und Nachrichtensystem.....	46
8.3 Weitere Wechselwirkungen.....	47
8.4 Zusammenfassung zu Überspannungen auf Grund von Wechselwirkungen zwischen Systemen.....	47
9 Bemerkungen zu Überspannungen und Ausfallraten	48
9.1 Allgemein	48
9.2 Auswertung von Ausfalldaten in der Praxis.....	48
9.3 Zusammenfassung der Bemerkungen zu Überspannungen und Ausfallraten	49
10 Überlegungen zu Systemausfällen/Betriebsmittelversagen/Bränden	50
10.1 Allgemeines	50
10.2 Vermeiden von Störbeeinflussungen beim Betrieb von Anlagen	50
10.3 Vorbeugung gegen dauerhafte Schäden	51
10.4 Kosten von überspannungsbedingten Störungen und Ausfällen	52
10.5 Zusammenfassung zu Ausfällen und Versagen.....	53
11 Überlegungen zum Einsatz von Schutz bei Überspannung.....	54

	Seite
11.1 Allgemeines	54
11.2 Konfiguration der Energieversorgung	54
11.3 Arten von Anlagen	55
11.4 Auftreten von Überspannungen	55
11.5 Abtrennvorrichtung einer Überspannung-Schutzeinrichtung (ÜSE)	55
11.6 Risikoabschätzung	56
11.7 Zusammenfassung der Betrachtungen über die Notwendigkeit von Schutz bei Überspannung	58
12 Anwendung von Schutz bei Überspannung	58
12.1 Allgemeines	58
12.2 Überspannung-Schutzeinrichtungen (ÜSE) für den Einsatz in Verteilungssystemen	59
12.3 Grundlegende Netzcharakteristika bei der Auswahl von Überspannung-Schutzeinrichtungen (ÜSE)	61
12.4 Betrachtungen zum Einbau von Überspannung-Schutzeinrichtungen (ÜSE)	65
12.5 Koordination zwischen Überspannung-Schutzeinrichtungen (ÜSE) und dem zu schützenden Betriebsmittel	67
12.6 Zusammenfassung zur Anwendung von Überspannung-Schutzeinrichtungen (ÜSE)	69
Anhang A (informativ) Zusätzliche Informationen zu blitzbedingten Überspannungen	71
Anhang B (informativ) Schaltüberspannungen	81
Anhang C (informativ) Ergänzende Informationen zu zeitweiligen Überspannungen	96
Anhang D (informativ) Ergänzende Informationen zu Überspannungen resultierend aus Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Systemen (siehe Abschnitt 8)	100
Anhang E (informativ) Zusätzliche Informationen zur Anwendung von Überspannung-Schutzeinrichtungen (ÜSE)	106
Anhang F (informativ) Vermeiden von Überspannungen durch gute EMV-Praktiken bei Erdung und Verkabelung	128
Literaturhinweise	131
Bild 1 – Beispiele für Kopplungsmechanismen bei Blitzeinschlägen	14
Bild 2 – Beispiele für Blitzeinschläge in einem komplexen elektrischen System	15
Bild 3 – Mögliche Wellenformen von Blitzströmen bei einem Einschlag in Objekte, die sich am Erdboden befinden	16
Bild 4 – Frequenzverteilung der Spitzenströme für drei Arten von Blitzereignissen	17
Bild 5 – Karte der jährlichen Gewittertage [7]	19
Bild 6 – Direkter Blitzeinschlag in eine Freileitung	19
Bild 7 – Beispiel für die ohmsche Kopplung von einer Blitzschutzanlage	22
Bild 8 – Typische Erdkopplungs-Mechanismen	23
Bild 9 – Typische Überspannungen auf einer NS-Leitung – Induziert auf Grund eines Naheinschlags	25
Bild 10 – Beispiel für eine abgeschätzte Häufigkeit von unbeeinflussten (prospektiven), induzierten Blitzüberspannungen auf NS-Freileitungen	26
Bild 11 – Modell des für die Computersimulation verwendeten Verteilungssystems	27
Bild 12 – Modell zur Berechnung der Blitzstromverteilung unter parallelen Gebäuden am Beispiel eines TN-C-Systems	29
Bild 13 – Erzeugung einer Überspannung durch Schalten eines RLC-Kreises	33
Bild 14 – Typische Verläufe von Schaltüberspannungen	34
Bild 15 – Beispiel für eine hochfrequente Schaltüberspannung	34
Bild 16 – Verteilung der Anstiegssteilheiten von Schaltüberspannungen an unterschiedlichen Standorten	35
Bild 17 – Verteilung der Anstiegssteilheiten von Schaltüberspannungen	35
Bild 18 – Anstiegssteilheit von Schaltüberspannungen und deren Scheitelwerte	35

	Seite
Bild 19 – Verteilung der Dauer (Rückenhalfwertszeiten) von Schaltüberspannungen.....	36
Bild 20 – Beispiel für die Amplitudenverteilung von Schaltüberspannungen – gemessen in einem industriellen 230/400-V-Verteilungssystem	37
Bild 21 – Schaltüberspannung bei Kurzschlussstromunterbrechung durch eine Feinsicherung [48]	38
Bild 22 – Verteilung der relativen Wahrscheinlichkeit von Schaltüberspannungsereignissen in verschiedenen Anlagen	39
Bild 23 – PC/Modem-Verbindungen zum Stromversorgungssystem und zum Fernmelde- und informationstechnischen System.....	47
Bild 24 – Beispiel für die Blitzstromaufteilung auf externe Leitungen (TT-System)	63
Bild 25 – Notwendige Auswahlkriterien für eine Überspannung-Schutzeinrichtung (ÜSE).....	65
Bild 26 – Auswirkung einer zusätzlichen Anschlussleitung auf die Begrenzungsspannung eines Varistors.....	67
Bild 27 – Grundmodell für die energetische Koordination von zwei Überspannung-Schutzeinrichtungen (ÜSE)	68
Bild A.1 – Häufigkeitsverteilung der Blitz-Spitzenströme I_{\max}	71
Bild A.2 – Häufigkeitsverteilung der Gesamt-Blitzladung Q_{gesamt}	72
Bild A.3 – Häufigkeitsverteilung der transienten Blitzladung Q_{trans}	72
Bild A.4 – Häufigkeitsverteilung der spezifischen Blitzenergie W/R	73
Bild A.5 – Häufigkeitsverteilung des maximalen Anstiegs des transienten Stroms $(di/dt)_{\max}$	73
Bild A.6 – Häufigkeitsverteilung des Stroms $(di/dt)_{30/90\%}$ von negativen Folgestoßströmen	74
Bild A.7 – Vereinfachtes Beispiel für einen Blitzeinschlag in eine Niederspannungsfreileitung.....	74
Bild A.8 – Unbeeinflusste (prospektive) Spannungen zwischen der Netzleitung und der „echten“ Erde am Einschlagpunkt (Knoten 1), am Transformator (Knoten 2) und am Neutralleiter in der Kundenanlage (Knoten 3)	75
Bild A.9 – Unbeeinflusste (prospektive) Spannungen am Knoten 3 und am Knoten 4 bezogen auf die „echte“ Erde	75
Bild A.10 – Strom gegen Erde am Einschlagpunkt (Knoten 1), am Transformator (Knoten 2) und in der Verbraucheranlage (Knoten 3).....	75
Bild A.11 – Verteilung der Scheitelwerte von Überspannungen, aufgezeichnet auf der Primärseite eines Mittelspannungs-/Niederspannungstransformators.....	76
Bild A.12 – Schaltkreis, verwendet für die statistische Berechnung.....	77
Bild A.13 – Vergleich von gemessenen Überspannungen [51] und errechneten Überspannungen (ANASTASIA)	77
Bild A.14 – Modell zur Berechnung der Blitzstromverteilung unter parallelen Gebäuden am Beispiel eines TN-C-Systems [24]	78
Bild A.15 – Blitzstromverteilung der Blitzteilströme unter den einzelnen, in Bild A.14 definierten, Pfaden	79
Bild A.16 – Modell zur Berechnung der Blitzstromverteilung unter parallelen Gebäuden (TN-C-System, Gebäude 2 ohne äußere Blitzschutzanlage und ohne Überspannung-Schutzeinrichtungen (ÜSE) am Gebäudeeintritt der Niederspannungsversorgung) [24]	79
Bild A.17 – Strom- und Spannungsverläufe für das Beispiel in Bild A.16	80
Bild B.1 – Beispiel zur Darstellung transienter Resonanzen, verursacht durch Schalthandlungen	82
Bild B.2 – Berechnete Überspannungen für die Netzknoten von Beispiel B.1	82
Bild B.3 – Typische Überspannung, die beim Einschalten einer Kondensatorbatterie auftritt	83
Bild B.4a – Erhöhungsbedingung	84
Bild B.4b – Spannungserhöhungseffekt	84
Bild B.4 – Erhöhung einer Kondensator-Schaltüberspannung an einer räumlich entfernten Kondensatorbatterie (IEEE 1036)	84
Bild B.5 – Entstehungsprinzip von Überspannungen – erzeugt durch eine Kurzschlussstromabschaltung.....	85

	Seite
Bild B.6 – Beispiel für die Untersuchung von Schaltüberspannungen in drei Anlagenarten	87
Bild B.7 – Beispiel für Schaltüberspannungen – gemessen in einer Industrieanlage nahe der Sammelschiene	88
Bild B.8 – Häufigkeit von Überspannungseignissen an ausgewählten Orten und Gesamtergebnis	91
Bild B.9 – Testschaltkreis und Überspannung während des Auslösens eines Leitungsschutzschalters auf Grund einer Einschaltstromüberlast	93
Bild B.10 – Beispiel für eine Überspannung auf der sekundären Sammelschiene eines 230-/440-V-Transformators, beim Auslösen von 100-A-Schmelzsicherungen in einem Abgangsschaltkreis	94
Bild B.11 – Überspannungsfaktor aufgetragen über der Zeitdauer von Schaltüberspannungen in einem Verteilungssystem – bei einem Kurzschluss in der Nähe einer Abgangssicherung	95
Bild B.12 – Überspannung in einem Verteilungssystem abhängig von der Kabellänge bei unterschiedlichen Bemessungsstromstärken der Sicherung – bei Kurzschluss an einem Kabelende	95
Bild C.1 – Zeitweilige Überspannung als Ergebnis eines Fehlers auf der Primärseite des Verteilungstransformators in einem TN-System entsprechend nordamerikanischer Ausführung	98
Bild D.1 – PC/Modem-Verbindungen zum Stromversorgungssystem und zum Nachrichtensystem	101
Bild D.2 – Spannungsunterschied, der während des Stoßstroms zwischen PC/Modem auftritt	101
Bild D.3 – Spannung, aufgezeichnet während eines Stoßstroms über den Referenzpunkten für einen PC/ein Modem	103
Bild D.4 – Einfügen eines „Überspannung-Referenz-Ausgleichsableiter“ (Surge reference equalizer) an den Eingängen eines PC/Modems	104
Bild D.5 – Verringerung der Spannung zwischen den Eingängen durch einen „Überspannung-Referenz-Ausgleichsableiter“ (Surge reference equalizer)	104
Bild E.1 – Beispiel für Überspannung-Schutzeinrichtungen (ÜSE) (MOV1 und MOV2)	107
Bild E.2 – Vergleich der U/I -Kennlinien von zwei MOV	107
Bild E.3 – Strom- und Spannungsverläufe aufgetragen über die Zeit für zwei spannungsbegrenzende Überspannung-Schutzeinrichtungen (ÜSE)	107
Bild E.4 – Energieaufteilung zwischen zwei spannungsbegrenzenden Überspannung-Schutzeinrichtungen (ÜSE) aufgetragen über dem eingebrachten Stoßstrom	108
Bild E.5 – Idealisertes Beispiel zur Darstellung von Aspekten bei der Koordination von Überspannung-Schutzeinrichtungen (ÜSE)	108
Bild E.6 – Berechnete Überspannung-Schutzeinrichtung-Spannungen und -Ströme für einen 2/20- μ s-Impuls – eingekoppelt im Knotenpunkt 1	109
Bild E.7 – Berechnete Überspannung-Schutzeinrichtung-Spannungen und -Ströme für einen 10/350- μ s-Impuls – eingekoppelt im Knotenpunkt 2	110
Bild E.8 – Berechnete Überspannung-Schutzeinrichtung-Spannungen und -Ströme für einen 10/350- μ s-Impuls – eingekoppelt im Knotenpunkt 1	111
Bild E.9 – Beispiel für die Koordination zwischen einer spannungsschaltenden Überspannung-Schutzeinrichtung (ÜSE) und einer spannungsbegrenzenden Überspannung-Schutzeinrichtung (ÜSE)	111
Bild E.10 – Strom- und Spannungsverläufe für das Beispiel von Bild E.9 – Kein Ansprechen der Funkenstrecke	112
Bild E.11 – Strom- und Spannungsverläufe für das Beispiel von Bild E.9 – Ansprechen der Funkenstrecke	113
Bild E.12 – Spannung über Funkenstrecke U_{FS} – abhängig von unterschiedlichen Lasten	113
Bild E.13 – Koordination zweier Überspannung-Schutzeinrichtungen (ÜSE) (spannungsschaltende Bauart)	114
Bild E.14 – Zwei ZnO-Varistoren mit dem gleichen Nennableitstoßstrom	115
Bild E.15 – Zwei ZnO-Varistoren mit unterschiedlichem Nennableitstoßstrom	117
Bild E.16 – Koordinationsprinzip nach Variante I	119

	Seite
Bild E.17 – Koordinationsprinzip nach Variante II	120
Bild E.18 – Koordinationsprinzip nach Variante III.....	120
Bild E.19 – Koordinationsprinzip nach Variante IV.....	120
Bild E.20 – Durchlassenergie-Methode (Let-through-energy method) mit Standardimpulsparametern	121
Bild E.21 – Steilheitsfaktor für Stoßstromimpulse	124
Bild F.1 – EMV-gerechtes Gehäuse schützt elektronische Betriebsmittel gegen Gleichtaktströme übertragen durch Leitungen	129
Bild F.2 – Einkopplung von Gleichtakt-Überspannung verursacht durch Schaltüberspannungen.....	129
Bild F.3 – Im Kontrollraum gemessene Spannungen über dem Kabel, das am anderen Ende kurzgeschlossen wurde, an der Oberseite des Transformators. Die Gleichtaktströme werden für die unterschiedlichen parallelen Erdschutzleiter (PEC) zwischen A und C gekennzeichnet	130
Tabelle 1 – Eigenschaften und Einwirkungen von Blitzeinschlägen	15
Tabelle 2 – Statistik der signifikanten Parameter eines Blitzereignisses	18
Tabelle 3 – Unbeeinflusste Leiter-Erde-Überspannungspegel in Niederspannungsanlagen, Ereignisse pro Jahr.....	26
Tabelle 4 – Stromverteilung zwischen den verfügbaren Strompfaden für das Beispiel in Bild 12 (10/350 μ s, 100 kA Blitzteilstrom).....	30
Tabelle 5 – Rückenhalbwertszeit von Schaltüberspannungen bei unterschiedlichen Bemessungsstromstärken von Feinsicherungen	38
Tabelle 6 – Zulässige Höchstwerte von Überspannungen, die während Erdfehler auf der Mittelspannungsebene auftreten	42
Tabelle 7 – Mögliche Arten des Schutzes	66
Tabelle B.1 – Minimalwert, Maximalwert und Mittelwert von Amplitude und Anstiegssteilheit der aufgezeichneten Schaltüberspannungen an unterschiedlichen Standorten [48].....	87
Tabelle B.2 – Verteilung der aufgezeichneten Transienten.....	89
Tabelle B.3. – Messorte und Ergebnisse der Langzeitmessungen (zweiter Teil) [1]	90
Tabelle B.4 – Amplitude und Anstiegssteilheit von Schaltüberspannungen bei unterschiedlichen Bemessungsstromstärken von Leitungsschutzschaltern [47]	92
Tabelle C.1 – Zulässige Höchstwerte von Überspannungen in Niederspannungsanlagen, die während Erdfehler auf der Mittelspannungsebene auftreten	96
Tabelle C.2 – Maximal mögliche TOV-Werte in Niederspannungsanlagen auf Grund von Fehlern im Niederspannungssystem	97
Tabelle E.1 – Notwendige Induktivitäten, um ein Ansprechen der Funkenstrecke sicherzustellen	114
Tabelle E.2 – Normierte Werte	122
Tabelle E.3 – Referenztabelle	122
Tabelle E.4 – Äquivalente Werte	122
Tabelle E.5 – Koordinationsbeispiel zwischen zwei Überspannung-Schutzeinrichtungen (ÜSE), getestet nach der Klasse II.....	126
Tabelle E.6 – Koordinationsbeispiel zwischen einer Überspannung-Schutzeinrichtung (ÜSE), geprüft nach den Klasse-I-Kriterien, und einer Überspannung-Schutzeinrichtung (ÜSE), geprüft nach den Klasse-II-Kriterien	127
Tabelle E.7 – Parameter für Klasse-I-Prüfung nach IEC 61643-1	127