

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
1 Anwendungsbereich	10
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe	11
3.1 Messsysteme.....	11
3.2 Bestandteile eines Messsystems	11
3.3 Maßstabsfaktoren.....	12
3.4 Bemessungswerte	13
3.5 Begriffe zum dynamischen Verhalten.....	14
3.6 Begriffe zur Unsicherheit	14
3.7 Begriffe zur Prüfung von Messsystemen.....	16
4 Verfahren zur Qualifizierung und Anwendung eines Messsystems	17
4.1 Allgemeine Prinzipien	17
4.2 Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Eignungsprüfungen	17
4.3 Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Kontrollmessungen.....	18
4.4 Anforderungen an die Identifikationsakte	18
4.4.1 Inhalt der Identifikationsakte.....	18
4.4.2 Ausnahmen	18
4.5 Betriebsbedingungen.....	18
4.6 Unsicherheit.....	19
5 Prüfungen und Anforderungen an ein anerkanntes Messsystem	20
5.1 Allgemeine Anforderungen	20
5.2 Kalibrierung – Bestimmung des Maßstabsfaktors.....	21
5.2.1 Kalibrierung eines Messsystems durch Vergleich mit einem Referenzmesssystem (bevorzugtes Verfahren).....	21
5.2.1.1 Vergleichsmessung	21
5.2.2 Bestimmung des Maßstabsfaktors eines Messsystems über die Maßstabsfaktoren der Komponenten	24
5.3 Linearitätsprüfung.....	25
5.3.1 Anwendung.....	25
5.3.2 Alternative Verfahren in der Reihenfolge ihrer Eignung.....	26
5.4 Dynamisches Verhalten.....	27
5.5 Kurzzeitstabilität	27
5.5.1 Verfahren	27
5.5.2 Dauerstrom.....	28
5.5.3 Stoßströme und Kurzzeitströme.....	28
5.5.4 Periodische Stoßströme und periodische Kurzzeitwechselströme	29
5.6 Langzeitstabilität.....	30
5.7 Einfluss der Umgebungstemperatur.....	30

	Seite
5.8	Effekte durch benachbarte Strombahnen 31
5.9	Softwareeffekt 33
5.10	Unsicherheitsberechnung 34
5.10.1	Allgemeines 34
5.10.2	Unsicherheit der Kalibrierung 34
5.10.3	Messunsicherheit bei Verwendung eines anerkannten Messsystems 35
5.11	Berechnung der Unsicherheit von gemessenen Zeitparametern (nur für Stoßströme) 36
5.11.1	Allgemeines 36
5.11.2	Unsicherheit der Kalibrierung von Zeitparametern 36
5.11.3	Unsicherheit der Messung eines Zeitparameters mit einem anerkannten Messsystem 37
5.12	Störfestigkeitsprüfung 38
5.12.1	Anwendung 38
5.12.2	Strommesswiderstände und Stromwandler mit Eisen 39
5.12.3	Induktive Messsysteme ohne Eisen (Rogowskispulen) 41
5.13	Festigkeitsprüfungen 41
5.13.1	Stehspannungsprüfung 41
5.13.2	Stromfestigkeitsprüfung 42
6	Dauergleichstrom 42
6.1	Anwendung 42
6.2	Begriffe 42
6.3	Prüfstrom 43
6.3.1	Anforderungen 43
6.3.2	Toleranzen 43
6.4	Messung des Prüfstromes 43
6.4.1	Anforderungen an ein anerkanntes Messsystem 43
6.4.2	Beiträge zur Unsicherheit 43
6.4.3	Dynamisches Verhalten 43
6.4.4	Kalibrierungen und Prüfungen an einem anerkannten Messsystem 44
6.4.5	Kontrollmessungen 44
6.5	Messungen der Welligkeitsamplitude 45
6.5.1	Anforderungen an ein anerkanntes Messsystem 45
6.5.2	Beiträge zur Unsicherheit 45
6.5.3	Dynamisches Verhalten für die Welligkeit 45
6.5.4	Kalibrierungen und Prüfungen an einem anerkannten Messsystem zur Messung der Stromwelligkeit 46
6.5.5	Messungen des Maßstabsfaktors bei der Frequenz der Welligkeit 46
6.5.6	Kontrollmessung an einem Messsystem zur Messung der Stromwelligkeit 46
6.6	Prüfverfahren 47
7	Dauerwechselstrom 47

	Seite
7.1 Anwendung.....	47
7.2 Begriffe	47
7.3 Prüfstrom	48
7.3.1 Anforderungen.....	48
7.3.2 Toleranzen.....	48
7.4 Messung des Prüfstromes.....	48
7.4.1 Anforderungen an ein anerkanntes Messsystem.....	48
7.4.2 Beiträge zur Unsicherheit	48
7.4.3 Dynamisches Verhalten	49
7.4.4 Kalibrierungen und Prüfungen für ein anerkanntes Messsystem	51
7.4.5 Kontrollmessungen.....	51
7.5 Prüfverfahren.....	52
8 Kurzzeitgleichstrom	52
8.1 Anwendung.....	52
8.2 Begriffe	54
8.3 Prüfstrom	54
8.3.1 Anforderungen an den Prüfstrom.....	54
8.3.2 Toleranzen.....	54
8.4 Messung des Prüfstromes.....	55
8.4.1 Anforderungen an ein anerkanntes Messsystem.....	55
8.4.2 Beiträge zur Unsicherheit	55
8.4.3 Dynamisches Verhalten	55
8.4.4 Kalibrierungen und Prüfungen an einem anerkannten Messsystem	56
8.4.5 Kontrollmessungen.....	57
8.4.6 Linearitätsprüfung.....	57
8.5 Prüfverfahren.....	57
9 Kurzzeitwechselstrom.....	57
9.1 Allgemeines	57
9.2 Begriffe	58
9.3 Prüfstrom	59
9.3.1 Anforderungen an den Prüfstrom.....	59
9.3.2 Toleranzen.....	59
9.4 Messung des Prüfstromes.....	60
9.4.1 Anforderungen an ein anerkanntes Messsystem.....	60
9.4.2 Beiträge zur Messunsicherheit	60
9.4.3 Dynamisches Verhalten	60
9.4.4 Kalibrierungen und Prüfungen an einem anerkannten Messsystem	62
9.4.5 Kontrollmessungen.....	63
9.4.6 Linearitätsprüfung.....	63

	Seite
9.4.7 Störfestigkeitsprüfung	63
9.5 Prüfverfahren.....	64
10 Stoßströme	64
10.1 Anwendung	64
10.2 Begriffe	64
10.3 Prüfströme	68
10.3.1 Allgemeines.....	68
10.3.2 Toleranzen	68
10.4 Messung des Prüfstromes	69
10.4.1 Anforderungen an ein anerkanntes Messsystem	69
10.4.2 Beiträge zur Unsicherheit.....	69
10.4.3 Dynamisches Verhalten	69
10.4.4 Kalibrierungen und Prüfungen an einem anerkannten Messsystem	71
10.4.5 Kontrollmessungen	72
10.5 Prüfverfahren.....	72
11 Strommessung in Hochspannungs-Isolationsprüfungen	73
11.1 Anwendung	73
11.2 Begriffe	73
11.3 Messung des Prüfstromes	73
11.3.1 Anforderungen an ein anerkanntes Messsystem	73
11.3.2 Beiträge zur Unsicherheit.....	73
11.3.3 Dynamisches Verhalten	73
11.3.4 Kalibrierungen und Prüfungen an einem anerkannten Messsystem	74
11.3.5 Kontrollmessungen	74
11.3.6 Linearitätsprüfung	75
11.3.7 Störfestigkeitsprüfung	75
11.4 Prüfverfahren.....	75
12 Referenzmesssysteme.....	75
12.1 Allgemeines.....	75
12.2 Kalibrierintervalle von Referenzmesssystemen	75
Anhang A (informativ) Messunsicherheit.....	76
Anhang B (informativ) Beispiele zur Berechnung der Unsicherheiten bei Hochstrommessungen	84
Anhang C (informativ) Messung der Sprungantwort	90
Anhang D (informativ) Faltungsverfahren zur Abschätzung des dynamischen Verhaltens durch die Messung der Sprungantwort.....	92
Anhang E (informativ) Einschränkungen für bestimmte Kurvenformen	95
Anhang F (informativ) Temperaturerhöhung von Messwiderständen.....	97
Anhang G (informativ) Bestimmung von Effektivwerten.....	98
Anhang H (informativ) Beispiele von IEC-Normen mit Hochstromprüfungen	105

	Seite
Literaturhinweise.....	108
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	111
Bilder	
Bild 1 – Beispiele von Amplituden-Frequenz-Antworten für Grenzfrequenzen ($f_1; f_2$)	14
Bild 2 – Kalibrierung durch Vergleich über den gesamten festgesetzten Messbereich	22
Bild 3 – Unsicherheitsbeiträge der Kalibrierung (Beispiel mit einem Minimum von 5 Stromwerten)	23
Bild 4 – Kalibrierung durch Vergleich über einen begrenzten Strombereich mit einer Linearitätsprüfung (siehe 5.3), welche eine Erweiterung bis zum höchsten Wert des Messbereichs ermöglicht.....	23
Bild 5 – Linearitätsprüfung eines Messsystems mit einem linearen Gerät im erweiterten Spannungsbereich.....	26
Bild 6 – Kurzzeitstabilitätsprüfung für Dauerstrom	28
Bild 7 – Kurzzeitstabilitätsprüfung für Stoßströme und Kurzzeitströme	29
Bild 8 – Kurzzeitstabilitätsprüfung für periodische Stoßströme und periodische Kurzzeitströme	29
Bild 9 – Prüfkreis für Effekte durch nahe gelegene Strompfade für Strommesswiderstände und Stromwandler mit Eisen.....	32
Bild 10 – Prüfkreis für Effekte durch nahe gelegene Strompfade für induktive Messsysteme ohne Eisen (Rogowskispulen).....	33
Bild 11 – Prinzip eines Prüfkreises für Interferenz.....	39
Bild 12 – Störfestigkeitsprüfung an einem Messsystem $i_1(t)$ basierend auf Strommesswiderstand oder Stromwandler mit Eisen in einer typischen 3-phasigen Kurzschlussanordnung (Beispiel).....	40
Bild 13 – Prüfkreis für Störfestigkeitsprüfungen für induktive Systeme ohne Eisen.....	41
Bild 14 – Zulässige normierte Amplituden-Frequenz-Antwort eines Wechselstrommesssystems, vorgesehen für eine einzelne Grundfrequenz f_{nom}	49
Bild 15 – Zulässige normierte Amplituden-Frequenz-Antwort eines Wechselstrommesssystems, vorgesehen für einen Bereich von Grundfrequenzen f_{nom1} bis f_{nom2}	50
Bild 16 – Beispiel eines Kurzzeitgleichstromes	53
Bild 17 – Beispiel eines Kurzzeitwechselstromes.....	58
Bild 18 – Exponentieller Stoßstrom	64
Bild 19 – Exponentieller Stoßstrom – Oszillierender Rücken.....	65
Bild 20 – Stoßstrom – Rechteckig, glatt	65
Bild 21 – Stoßstrom – Rechteckig mit Schwingungen.....	66
Bild A.1 – Normale Wahrscheinlichkeitsverteilung $p(x)$ einer stetigen Zufallsvariablen x	83
Bild A.2 – Rechteckförmige symmetrische Wahrscheinlichkeitsverteilung $p(x)$ der Schätzung x einer Eingangsgröße X	83
Bild B.1 – Vergleich zwischen dem zu kalibrierenden System X und dem Referenzsystem N.....	89
Bild C.1 – Schaltung zur Erzeugung einer rechteckförmigen Stromwelle mit einem Koaxialkabel.....	90
Bild C.2 – Schaltung zur Erzeugung einer rechteckförmigen Stromwelle mit einem Kondensator.....	90
Bild C.3 – Definition der Antwortparameter in Bezug auf die Sprungantwort.....	91
Bild E.1 – Erreichbare Kombinationen von Zeitparametern (schattierter Bereich) für den 8/20-Impuls	

	Seite
bei maximalem Unterschwingen von 20 % und 20 % Grenzabweichung für die Zeitparameter	95
Bild E.2 – Ortskurven zur Bestimmung erreichbarer Zeitparameter als Funktion des erlaubten Unterschwingens für einen 8/20-Impuls.....	96
Bild E.3 – Ortskurven zur Bestimmung erreichbarer Zeitparameter als Funktion des erlaubten Unterschwingens für einen 30/80-Impuls.....	96
Bild G.1 – Ersatzschaltbild für eine Kurzschlussprüfung.....	98
Bild G.2 – Symmetrische Wechselstromkomponente eines Wechselstromkurzschlussstromes.....	99
Bild G.3 – Numerische Berechnung des Effektivwertes. Dargestellt sind der Augenblickswert und das Quadrat des Augenblickswertes.	100
Bild G.4 – Drei-Scheitelwerte-Verfahren	101
Bild G.5 – Berechnung des konventionellen Effektivwertes eines Lichtbogenstromes durch Verwendung des Drei-Scheitelwerte-Verfahrens.....	102
Bild G.6 – Berechnung des äquivalenten Effektivwertes eines Kurzschlussstromes während eines Kurzschlussversuchs	103
Bild G.7 – Verhältnis zwischen Scheitelfaktor, k , und Leistungsfaktor $\cos(\varphi)$	104
 Tabellen	
Tabelle 1 – Erforderliche Prüfungen für Dauergleichstrom	44
Tabelle 2 – Erforderliche Prüfungen für die Welligkeit des Stromes.....	46
Tabelle 3 – Erforderliche Prüfungen für Dauerwechselstrom	51
Tabelle 4 – Anforderung an die Toleranz von Parametern des Prüfstromes für Kurzzeitgleichstrom	55
Tabelle 5 – Erforderliche Prüfungen für Kurzzeitgleichströme.....	56
Tabelle 6 – Anforderungen an die Toleranz der Parameter des Prüfstromes für Kurzzeitwechselstromprüfungen.....	60
Tabelle 7 – Verzeichnis typischer Prüfungen eines Hochleistungsprüflabors und geforderter minimaler Frequenzbereich des Messsystems.....	61
Tabelle 8 – Anforderungen an die Toleranz des Maßstabsfaktors	61
Tabelle 9 – Erforderliche Prüfungen für Kurzzeitwechselströme	62
Tabelle 10 – Beispiele von exponentiellen Stoßströmen	68
Tabelle 11 – Erforderliche Prüfungen für Stoßströme.....	71
Tabelle 12 – Erforderliche Prüfungen für Stoßströme in Hochspannungs-Isolationsprüfungen.....	74
Tabelle A.1 – Erweiterungsfaktor k für effektive Freiheitsgrade ν_{eff} ($p = 95,45\%$)	82
Tabelle A.2 – Schema für ein Unsicherheitsbudget	82
Tabelle B.1 – Ergebnis der Vergleichsmessung	86
Tabelle B.2 – Ergebnis der Vergleichsmessung	86
Tabelle B.3 – Unsicherheitsbudget für die Kalibrierung des Maßstabsfaktors F_X	87
Tabelle B.4 – Ergebnis der Linearitätsprüfung	88
Tabelle B.5 – Unsicherheitsbudget des Maßstabsfaktors $F_{X,\text{mes}}$	89
Tabelle H.1 – Verzeichnis typischer Prüfungen mit Kurzzeitwechselstrom	105
Tabelle H.2 – Verzeichnis typischer Prüfungen mit exponentiellem Stoßstrom	106
Tabelle H.3 – Verzeichnis typischer Prüfungen mit Rechteckstoßstrom	107