

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieses Dokuments ist 2018-06-01.

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	8
Nationaler Anhang NA (informativ) Zusammenhang mit europäischen und internationalen Dokumenten	8
Nationaler Anhang NB (informativ) Literaturhinweise.....	10
Einleitung	11
1 Anwendungsbereich.....	12
2 Normative Verweisungen	12
3 Begriffe und Abkürzungen.....	12
3.1 Begriffe	12
3.2 Abkürzungsverzeichnis.....	14
4 Verantwortlichkeiten beim Entwurf von Stromwandlern.....	16
4.1 Rückblick	16
4.2 Untergliederung des Entwurfsprozesses von Stromwandlern	17
5 Grundlegende theoretische Gleichungen für den Entwurf des transienten Verhaltens.....	18
5.1 Elektrischer Stromkreis.....	18
5.1.1 Allgemeines.....	18
5.1.2 Stromwandler	21
5.2 Transientes Verhalten	23
5.2.1 Allgemeines.....	23
5.2.2 Fehlereinsatzwinkel.....	25
5.2.3 Differenzialgleichung	26
6 Schließfolgen.....	28
6.1 Schließfolge C–O	28
6.1.1 Allgemeines.....	28
6.1.2 Fehlereinsatzwinkel.....	30
6.1.3 Transientenfaktor K_{tr} und transienter Dimensionierungsfaktor K_{td}	31
6.1.4 Verringerung der Unsymmetrie durch Definition des kleinsten Stromeinsatzwinkels.....	55
6.2 Schließfolge C–O–C–O	57
6.2.1 Allgemeines.....	57
6.2.2 Fall A: Keine Sättigung bis t'	58
6.2.3 Fall B: Sättigung zwischen t'_{al} und t'	60
6.3 Zusammenfassung.....	62
7 Bestimmung des transienten Dimensionierungsfaktors K_{td} durch numerische Berechnung.....	65
7.1 Allgemeines.....	65
7.2 Grundschtung	65

	Seite
7.3	Algorithmus 67
7.4	Berechnungsverfahren 67
7.5	Bezugsbeispiele 68
8	Kernsättigung und Remanenz 74
8.1	Definition der Sättigung für die gängige Praxis 74
8.1.1	Allgemeines 74
8.1.2	Definition des Sättigungsflusses in der vorhergehenden Norm IEC 60044-1 74
8.1.3	Definition des Sättigungsflusses in IEC 61869-2 76
8.1.4	Ansatz „5 % – Faktor 5“ 77
8.2	Kerne mit Luftspalt und Kerne ohne Luftspalt 78
8.3	Mögliche Ursachen der Remanenz 81
9	Praktische Empfehlungen 85
9.1	Gefährdung der Genauigkeit bei verschiedenen Definitionen der PR-Klasse für denselben Kern 85
9.2	Eingrenzung des Fehlwinkels $\Delta\varphi$ und der sekundären Zeitkonstante T_s durch den transienten Dimensionierungsfaktor K_{td} für TPY-Kerne 85
10	Beziehungen zwischen verschiedenen Typen von Klassen 86
10.1	Übersicht 86
10.2	Berechnung der EMK bei Grenzbedingungen 86
10.3	Berechnung des Erregerstroms (oder Magnetisierungsstroms) bei Grenzbedingungen 87
10.4	Beispiele 87
10.5	Mindestanforderungen an die Klassenspezifikation 88
10.6	Ersetzen eines Kerns ohne Luftspalt durch einen Kern mit Luftspalt 89
11	Schutzfunktionen und richtige Spezifikation des Stromwandlers 89
11.1	Allgemeines 89
11.2	Allgemeine Anwendungsempfehlungen 90
11.2.1	Schutzfunktionen und geeignete Klassen 90
11.2.2	Richtiger Entwurf der Stromwandler in der Vergangenheit und heute 91
11.3	Überstromschutz: ANSI-Code: (50/51/50N/51N/67/67N); IEC-Symbol: I> 93
11.3.1	Erläuterung 93
11.3.2	Empfehlung 95
11.3.3	Beispiel 95
11.4	Überstromschutz: ANSI-Codes: 21/21N, IEC-Code: Z< 95
11.4.1	Erläuterung 95
11.4.2	Empfehlungen 97
11.4.3	Beispiele 98
11.5	Differenzialschutz 104
11.5.1	Erläuterung 104
11.5.2	Allgemeine Empfehlungen 105

	Seite
11.5.3 Transformator-Differenzialschutz (87T)	105
11.5.4 Sammelschienenschutz: ANSI-Codes (87B)	110
11.5.5 Längsdifferenzialschutz: ANSI-Codes (87L) (niederohmig).....	113
11.5.6 Hochohmiger Differenzialschutz.....	117
Anhang A (informativ) Softwarecode der Schließfolge C–O	135
Anhang B (informativ) Softwarecode für die numerische Berechnung von K_{td}	137
Literaturhinweise.....	142
Bilder	
Bild 1 – Definition des Fehlereinsatzwinkels γ	14
Bild 2 – Bestandteile des Schutzkreises.....	18
Bild 3 – Gesamter elektrischer Stromkreis	20
Bild 4 – Primärer Kurzschlussstrom.....	21
Bild 5 – Nichtlinearer Fluss von L_{ct}	22
Bild 6 – Linearisierte magnetisierende Induktivität eines Stromwandlers	23
Bild 7 – Simuliertes Kurzschlussverhalten mit dem nichtlinearen Modell.....	24
Bild 8 – Verhalten bei dreiphasigem Kurzschluss	26
Bild 9 – Zusammensetzung des Flusses.....	27
Bild 10 – Kurzschlussstrom für zwei unterschiedliche Fehlereinsatzwinkel.....	29
Bild 11 – ψ_{max} als Kurve der maximalen Flusswerte.....	29
Bild 12 – Kurvenverläufe des Primärstroms für die 4 Fälle bei 50 Hz und $\varphi = 70^\circ$	30
Bild 13 – Vier maßgebliche Fälle der Kurzschlussströme mit den Auswirkungen auf die magnetische Sättigung des Stromwandlers	31
Bild 14 – Maßgebliche Zeitbereiche für die Berechnung des Transientenfaktors.....	34
Bild 15 – Auftreten des ersten Scheitelwertes des Flusses in Abhängigkeit von T_p bei 50 Hz.....	35
Bild 16 – Ungünstigster Winkel $\theta_{tf,\psi_{max}}$ als Funktion von T_p und t'_{al}	36
Bild 17 – Ungünstigster Fehlereinsatzwinkel $\gamma_{tf,\psi_{max}}$ als Funktion von T_p und t'_{al}	37
Bild 18 – $K_{tf,\psi_{max}}$ berechnet mit dem ungünstigsten Fehlereinsatzwinkel $\theta_{\psi_{max}}$	38
Bild 19 – Polardiagramm mit $K_{tf,\psi_{max}}$ und $\gamma_{tf,\psi_{max}}$	39
Bild 20 – Bestimmung von K_{tf} im Zeitbereich 1	44
Bild 21 – Kurvenverläufe des Primärstroms für 50 Hz, $T_p = 1$ ms, $\gamma_{\psi_{max}} = 166^\circ$ für $t'_{al} = 2$ ms	45
Bild 22 – Ungünstigster Fehlereinsatzwinkel für 50 Hz, $T_p = 50$ ms und $T_s = 61$ ms	46
Bild 23 – Transientenfaktor für unterschiedliche Zeitbereiche	47
Bild 24 – K_{tf} in allen Zeitbereichen für $T_s = 61$ ms bei 50 Hz mit t'_{al} als Parameter.....	48
Bild 25 – Zeitlich gedehnter Ausschnitt aus Bild 24.....	48
Bild 26 – Primärstrom für eine kleine primäre Zeitkonstante.....	49
Bild 27 – K_{tf} -Werte für eine kleine primäre Zeitkonstante	50
Bild 28 – Kurzschlussströme für unterschiedliche Fehlereinsatzwinkel	51

	Seite
Bild 29 – Transientenfaktoren für verschiedene Fehlereinsatzwinkel (Beispiel).....	52
Bild 30 – Ungünstigste Fehlereinsatzwinkel für jeden Zeitschritt (Beispiel für 50 Hz).....	52
Bild 31 – Primärstrom für zwei unterschiedliche Fehlereinsatzwinkel (Beispiel für 16,67 Hz).....	53
Bild 32 – Transientenfaktoren für unterschiedliche Fehlereinsatzwinkel (Beispiel für 16,67 Hz).....	54
Bild 33 – Ungünstigste Fehlereinsatzwinkel für jeden Zeitschritt (Beispiel für 16,67 Hz).....	54
Bild 34 – Auftreten von Fehlern nach Warrington.....	55
Bild 35 – Geschätzte Verteilung von Fehlern über mehrere Jahre.....	56
Bild 36 – Mit verschiedenen Fehlereinsatzwinkeln γ berechneter Transientenfaktor K_{ff}	57
Bild 37 – Verlauf des Flusses bei einer C–O–C–O-Folge eines Kerns ohne Luftspalt.....	58
Bild 38 – Typischer Kurvenverlauf des Flusses bei einer C–O–C–O-Folge für einen Kern mit Luftspalt mit einem höheren Fluss bei der zweiten Erregung.....	59
Bild 39 – Kurvenverlauf des Flusses eines Kerns mit Luftspalt in einer C–O–C–O-Folge mit höherem Fluss in der ersten Erregung.....	60
Bild 40 – Kurvenverlauf des Flusses in einer C–O–C–O-Folge mit zulässiger Sättigung.....	61
Bild 41 – Zur Verringerung des Fluss-Scheitelwertes genutzte Sättigung des Kerns.....	62
Bild 42 – Übersicht über Kurvenverläufe für den Entwurf des transienten Übertragungsverhaltens.....	63
Bild 43 – Grundschtaltung für die numerische Berechnung von K_{td}	66
Bild 44 – Berechnung von K_{td} für eine C–O-Folge.....	69
Bild 45 – Berechnung von K_{td} für eine C–O–C–O-Folge ohne Kernsättigung im ersten Zyklus.....	70
Bild 46 – Berechnung von K_{td} für eine C–O–C–O-Folge unter Berücksichtigung der Kernsättigung im ersten Zyklus.....	71
Bild 47 – Berechnung von K_{td} für eine C–O–C–O-Folge mit verringerter Unsymmetrie.....	72
Bild 48 – Berechnung von K_{td} für eine C–O–C–O-Folge mit kurzer t'_{al} und t''_{al}	73
Bild 49 – Berechnung von K_{td} für eine C–O–C–O-Folge eines Kerns ohne Luftspalt.....	74
Bild 50 – Vergleich der Definitionen der Sättigung nach IEC 60044-1 und IEC 61869-2.....	75
Bild 51 – Remanenzfaktor K_r nach der vorherigen Definition in IEC 60044-1.....	76
Bild 52 – Bestimmung von Sättigung und Remanenzfluss nach dem Gleichstromverfahren für einen Kern mit Luftspalt.....	77
Bild 53 – Bestimmung von Sättigung und Remanenzfluss nach dem Gleichstromverfahren für einen Kern ohne Luftspalt.....	77
Bild 54 – Sekundärströme des Stromwandlers als Störschrieb eines Lichtbogenofentransformators.....	82
Bild 55 – Vierdrahtverbindung.....	83
Bild 56 – Sekundärströme des Stromwandlers als Störschrieb im zweiten Stromfluss bei automatischer Wiedereinschaltung.....	84
Bild 57 – Anwendung eines unverzögerten/verzögerten Überstromrelais (ANSI-Codes 50/51) mit unabhängiger Zeitkennlinie.....	94
Bild 58 – Zeitverzögertes Überstromrelais, Zeitkennlinien.....	94
Bild 59 – Beispiel für die Spezifikation eines Stromwandlers, Überstromzeit.....	95
Bild 60 – Distanzschutz, Prinzip (Zeit-Distanz-Diagramm).....	96
Bild 61 – Distanzschutz, Prinzip (R/X -Diagramm).....	97

	Seite
Bild 62 – Entwurfsbeispiel, Distanzschutz	98
Bild 63 – Primärstrom mit Schließfolge C–O–C–O.....	102
Bild 64 – Transientenfaktor K_{tf} mit seiner Hüllkurve K_{tfp}	102
Bild 65 – Transientenfaktor K_{tf} für die Stromwandlerklasse TPY mit Sättigung im ersten Fehler.....	103
Bild 66 – Transientenfaktor K_{tf} für Stromwandlerklasse TPZ mit Sättigung im ersten Fehler.....	103
Bild 67 – Transientenfaktor K_{tf} für die Stromwandlerklasse TPX	104
Bild 68 – Differenzialschutz, Prinzip	105
Bild 69 – Transformator-Differenzialschutz, Fehler	106
Bild 70 – Transformator-Differenzialschutz	107
Bild 71 – Sammelschienenschutz, äußerer Fehler.....	110
Bild 72 – Simulierte Ströme eines Stromwandlers für Sammelschienen-Differenzialschutz.....	113
Bild 73 – Entwurf eines Stromwandlers für eine einfache Leitung mit zwei Enden.....	114
Bild 74 – Mit einem einfachen elektromechanischen Relais realisierter Differenzialschutz.....	117
Bild 75 – Prinzip des hochohmigen Schutzes	118
Bild 76 – Zeigerdiagramm für äußere Fehler.....	119
Bild 77 – Zeigerdiagramm für innere Fehler	120
Bild 78 – Magnetisierungskurve des Stromwandlers.....	121
Bild 79 – Einstrich-Netzschema für Sammelschienen- und hochohmigen Differenzialschutz	125
Bild 80 – Ströme am Fehlerort (Primärwerte).....	127
Bild 81 – Primärströme durch die Stromwandler, skaliert auf die Sekundärseite der Stromwandler.....	127
Bild 82 – Sekundärströme der Stromwandler	128
Bild 83 – Differenzialspannung.....	128
Bild 84 – Differenzialstrom und Effektivwertfilter-Signal	129
Bild 85 – Ströme am Fehlerort (Primärwerte).....	129
Bild 86 – Primärströme durch die Stromwandler, skaliert auf die Sekundärseite der Stromwandler.....	130
Bild 87 – Sekundärströme der Stromwandler	130
Bild 88 – Differenzialspannung	131
Bild 89 – Differenzialstrom und Effektivwert-gefiltertes Signal	131
Bild 90 – Ströme am Fehlerort (Primärwerte).....	132
Bild 91 – Primärströme durch die Stromwandler, skaliert auf die Sekundärseite der Stromwandler.....	132
Bild 92 – Sekundärströme der Stromwandler	133
Bild 93 – Differenzialspannung.....	133
Bild 94 – Differenzialstrom und Effektivwert-gefiltertes Signal	134
Bild 95 – Differenzialspannung ohne Begrenzung durch den Varistor	134
Tabellen	
Tabelle 1 – Vier maßgebliche Fälle des Kurzschlussstrom-Einsetzwinkels.....	30
Tabelle 2 – Übersicht über Gleichungen für den Entwurf des transienten Übertragungsverhaltens	64
Tabelle 3 – Vergleich der Definitionen des Sättigungspunktes	78

	Seite
Tabelle 4 – Gemessene Remanenzfaktoren.....	79
Tabelle 5 – Verschiedene Definitionen der PR-Klasse für denselben Kern.....	85
Tabelle 6 – EMK-Definitionen.....	86
Tabelle 7 – Umrechnung der EMK-Werte	86
Tabelle 8 – Umrechnung der Dimensionierungsfaktoren.....	87
Tabelle 9 – Definitionen des Grenzstroms	87
Tabelle 10 – Mindestanforderungen an die Klassenspezifikation	88
Tabelle 11 – Auswirkungen von Kernen mit Luftspalt und ohne Luftspalt	89
Tabelle 12 – Anwendungsempfehlungen.....	90
Tabelle 13 – Ergebnisse der Berechnung der Überdimensionierung eines TPY-Kerns.....	109
Tabelle 14 – Ergebnisse der Berechnung der Überdimensionierung als PX-Kern.....	109
Tabelle 15 – Berechnungsschema für den Längsdifferenzialschutz.....	116
Tabelle 16 – Sammelschienenschutz mit zwei eingehenden Speiseleitungen.....	124