

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	2
Einleitung	10
1 Anwendungsbereich	12
2 Normative Verweisungen	13
3 Begriffe, Symbole und abgekürzte Begriffe	13
3.1 Begriffe	13
3.2 Symbole und abgekürzte Begriffe	17
4 Referenz-PDS (RPDS), Referenz-CDM (RCDM) und Referenzmotor (RM)	24
4.1 Allgemeines	24
4.2 Referenzarbeitspunkte des RPDS, RCDM, RM und zugehörige Verlustleistungen	25
4.3 Verknüpfung von PDS-Verluste mit der angetriebenen Einrichtung – Arbeitsablauf für das semi-analytische Modell (SAM)	27
4.4 IE-Klassen eines netzgespeisten Motors	29
4.5 IE-Klassen stromrichter gespeister Motoren	29
4.6 IE-Klassen von Frequenzumrichtern (vollständige Antriebsmodule, CDM)	29
4.7 IES-Klassen eines PDS	30
4.8 Folgerichtigkeit der IE- und IES-Klassen	30
4.9 Bestimmung der IES-Klasse eines PDS durch Anwendung von „Referenz-“ und „Prüf-“ Geräten und Leitfaden für die Hersteller	31
5 Mathematisches Modell von CDM, Motor und PDS	32
5.1 Allgemeines	32
5.2 CDM	33
5.2.1 Allgemeines Verfahren und Bestimmung von CDM und Prüflast	33
5.2.2 Verluste des Ausgangswechselrichters	35
5.2.3 Verluste des Eingangsstromrichters	38
5.2.4 Verluste der Eingangsdrossel	39
5.2.5 Verluste des Gleichspannungszwischenkreises	40
5.2.6 Verluste an Stromschienen	40
5.2.7 Verluste in den Baugruppen für Steuerung und im Standby-Betrieb	40
5.2.8 Verlustfaktor der Kühlung	41
5.2.9 Weitere CDM-Verluste	41
5.2.10 CDM-Gesamtverluste	41
5.3 Motorverluste	42
5.3.1 Allgemeines	42
5.3.2 Verlustbestimmung für Drehstrom-Asynchronmotoren, die von einem CDM gespeist werden	43
5.3.3 Daten des Referenzmotors (RM)	43
5.4 Referenz-PDS (RPDS)	44
5.4.1 Verluste des Referenz-PDS	44

	Seite
5.4.2 PDS-Verluste bei unterschiedlichen Schaltfrequenzen.....	45
5.5 PDS-Verluste bei Rückspeisebetrieb	46
5.6 Verlustleistungen von Motorstartern.....	47
6 Grenzwerte für IE- und IES-Klassen	47
6.1 Allgemeines	47
6.2 CDM.....	47
6.3 Motor.....	49
6.4 PDS	50
7 Verlustbestimmung.....	51
7.1 Allgemeines	51
7.2 Typprüfung von CDM für die IE-Klassifizierung	52
7.3 Typprüfung von PDS für die IES-Klassifikation	53
7.4 Verfahren zur Bestimmung der CDM- und PDS-Verluste unter Teillastbedingungen	53
7.5 Verlustberechnung für das CDM	54
7.6 Verlustleistungsberechnung für das PDS.....	54
7.7 Eingang/Ausgang-Messverfahren	54
7.7.1 Eingang/Ausgang-Messung der CDM-Verluste	54
7.7.2 Eingang/Ausgang-Messung von PDS-Verlusten	55
7.7.3 Anforderungen an das Verfahren der Eingang/Ausgang-Messung	55
7.8 Kalorimetrische Messung der CDM-Verluste	58
7.9 Prüfbedingungen für die Prüfung von CDM	59
7.10 Prüfbedingungen für die Prüfung von PDS	60
7.11 Flussdiagramm für Prüfverfahren.....	60
8 Anforderungen an die Dokumentation für den Anwender.....	63
8.1 Allgemeines	63
8.2 Angaben für die Auswahl.....	64
8.3 Angaben für die Bestimmung der Energieeffizienzklassen.....	64
8.4 Angaben für die Bestimmung von zusätzlichen Energieverlusten und Teillastbedingungen.....	64
8.4.1 Allgemeines	64
8.4.2 Verluste unter Teillastbedingungen.....	64
8.4.3 Verluste von Hilfseinrichtungen und Optionen	65
8.4.4 Verluste im Standby-Betrieb.....	65
8.4.5 Verluste im Rückspeisebetrieb.....	65
Anhang A (normativ) Verluste von RCDM, RM und RPDS	66
A.1 Tabellen der relativen Verluste.....	66
Anhang B (informativ) Beschreibung der Elemente eines erweiterten Produktes mit PDS hinsichtlich ihres Einflusses auf die Verluste.....	70
B.1 Allgemeines	70
B.2 Verluste in der Netzverkabelung und dem Einspeisungsabschnitt	70

	Seite
B.3	EingangsfILTER..... 71
B.3.1	Filter gegen hochfrequente elektromagnetische Störungen (HF-EMI-Filter)..... 71
B.3.2	Niederfrequenz-NetzbereichsfILTER 72
B.4	Eingangsstromrichter 72
B.4.1	Allgemeines..... 72
B.4.2	Diodengleichrichter 73
B.4.3	Stromrichter mit netzseitig aktiv gesteuertem Eingang..... 73
B.4.4	Leistungsfaktor des Eingangsstromrichters 75
B.5	Gleichspannungszwischenkreis 76
B.6	Ausgangswechselrichter 77
B.7	AusgangsfILTER und Motorkabel..... 78
B.7.1	Allgemeines..... 78
B.7.2	Sinusfilter..... 79
B.7.3	dI/dt -Filter und Motordrosseln 80
B.7.4	HF-EMI-Motorfilter..... 80
B.7.5	Motorleitungen..... 80
B.8	Motor 80
B.9	Mechanische Last 80
B.10	Regelungs- und Standby-Verluste 80
B.11	Kühlverluste..... 81
B.11.1	Primäre Kühlverluste 81
B.11.2	Sekundäre Kühlverluste 81
Anhang C (informativ) Topologie von Stromrichtern 82	
C.1	Allgemeines..... 82
C.2	Topologien von Spannungszwischenkreis-Ausgangswechselrichtern, die sich von den in 5.2.2 mathematisch beschriebenen unterscheiden 82
C.3	Topologien von Spannungszwischenkreis-Eingangsstromrichtern, die sich von den in 5.2.3 mathematisch beschriebenen unterscheiden 82
C.4	CDM-Topologien, die sich vom Spannungszwischenkreistyp unterscheiden 82
Anhang D (informativ) Motormodell und Verlustinterpolation..... 84	
D.1	Übersicht 84
D.2	Verluste von AC Motoren 84
D.2.1	Allgemeines..... 84
D.2.2	Verluste Ständerwicklung und Läuferwicklungsverluste I^2R Verluste ($P_{LS} + P_{LR}$ (für Induktionsmotoren und Motoren mit gewickelten Läufern))..... 84
D.2.3	Zusatzverluste (P_{LL}) 84
D.2.4	Eisenverluste (P_{Lfe}) 85
D.2.5	Reibungs- und Ventilationsverluste (P_{Lfw}) 85
D.2.6	Zusätzliche Oberschwingungsverluste (P_{LHL})..... 86

	Seite
D.3	Interpolationsgleichung..... 86
D.4	Analytische Bestimmung der Interpolationskoeffizienten..... 87
D.4.1	Allgemeines 87
D.4.2	Zusatzverluste durch den Spannungsabfall des Frequenzumrichters 88
D.4.3	Alternative Arbeitspunkte zur Bestimmung der Interpolationskoeffizienten 89
D.4.4	Motoren für Anwendungen mit quadratischer Drehmomentkennlinie 90
D.5	Bestimmung des Interpolationsfehlers 90
D.6	Numerische Bestimmung der Interpolationskoeffizienten 90
D.7	Effizienz typischer IE2 Induktionsmotoren 91
Anhang E (informativ) Anwendungsbeispiel für die Berechnung der Verluste eines CDM und eines PDS..... 94	
E.1	Allgemeines 94
E.2	Bestimmung der Verluste des CDM 94
E.2.1	Allgemeines 94
E.2.2	Bestimmung des Verlustes durch maximale Verluste von angrenzenden Verlustpunkten..... 95
E.2.3	Bestimmung des Verlustes durch zweidimensionale Interpolation der Verluste von angrenzenden Verlustpunkten 95
E.2.4	Bestimmung der Verluste mit dem in 5.2 beschriebenen mathematischen Modell 98
E.3	Bestimmung der Motorverluste 100
E.4	Bestimmung der Verluste des PDS..... 100
Anhang F (informativ) Unsicherheit des Verfahrens zur Bestimmung der Verluste..... 101	
F.1	Allgemeines 101
F.2	Berechnung der Unsicherheit bei zufällig auftretenden Fehlern 101
F.3	Vergleich der Unsicherheiten verschiedener Verlustbestimmungsmethoden..... 101
Anhang G (informativ) Kalorimetermessung der CDM-Verluste 102	
G.1	Allgemeines 102
G.2	Kalorimeter mit zwei Kammern und mit Luft als Kühlmedium..... 102
G.3	Kalorimeter mit einer Kammer und mit Luft als Kühlmedium 103
G.4	Kalorimeter mit Flüssigkeit als Kühlmedium..... 104
Literaturhinweise..... 105	
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen 107	
Anhang ZZ (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung nach der abzudeckenden Verordnung (EG) Nr. 640/2009 der Kommission vom 22. Juli 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Elektromotoren..... 108	
Bilder	
Bild 1 – Darstellung grundsätzlicher Anforderungen zur Normung von Energieeffizienz..... 10	
Bild 2 – Darstellung des erweiterten Produktes mit dem enthaltenen Motorsystem 15	
Bild 3 – Drehmoment-Drehzahl-Charakteristik eines Servo-PDS 16	

	Seite
Bild 4 – Darstellung der Arbeitspunkte (Drehzahl der Motorwelle, Drehmoment) zur Bestimmung der relativen Verluste des Referenz-Antriebssystems (RPDS).....	26
Bild 5 – Darstellung der Arbeitspunkte (Drehzahl der Motorwelle, Drehmoment) zur Bestimmung der relativen Verlustleistung des Referenzmotors (RM)	26
Bild 6 – Darstellung der Arbeitspunkte (relative Ständerfrequenz des Motors, relativer drehmomentbildenden Strom) für die Bestimmung Verluste des vollständigen Referenz-Antriebsmoduls (RCDM)	27
Bild 7 – Darstellung des Arbeitsablaufs für die Bestimmung des Energieeffizienzindex eines erweiterten Produktes	28
Bild 8 – Darstellung, wie die unterschiedlichen Datenquellen zur Bestimmung des Energieeffizienzindex für ein erweitertes Produkt zusammenzuführen sind	29
Bild 9 – Metrischer Zusammenhang von IE- und IES-Klassen	31
Bild 10 – Leitfaden für CDM- und Motorenhersteller zur Anwendung der „Prüf-“ und „Referenz-“ Einrichtungen zur Bestimmung der IE/IES-Klassen.....	32
Bild 11 – Darstellung von CDM und Prüflast	33
Bild 12 – Relative Verluste $p_{L,CDM}$ des 9,95-kVA RCDM	42
Bild 13 – Beispiel für die relativen Verlustleistungen des PDS als Funktion der Drehzahl und des Drehmoments	45
Bild 14 – Beispiel der relativen Verlustleistungen in Abhängigkeit von der Schaltfrequenz	46
Bild 15 – Beispiel eines CDM mit Widerstand zur Abführung der erzeugten Leistung	46
Bild 16 – Darstellung der IE-Klassen für ein CDM	49
Bild 17 – Darstellung der IES-Klassen für ein PDS.....	50
Bild 18 – Die Verlustleistung des CDM ist die Summe aus dem ermittelten Verlustwert und der Unsicherheit des angewendeten Bestimmungsverfahrens.....	53
Bild 19 – Messaufbau für die Eingangs/Ausgangs-Messung zur Bestimmung der CDM-Verluste.....	55
Bild 20 – Aufbau für die Eingang/Ausgang-Messung für PDS-Verluste	55
Bild 21 – Reihenfolge der CDM-Messungen von [1] bis [8]	57
Bild 22 – Reihenfolge, der für PDS- Messungen von [1] bis [8]	58
Bild 23 – Aufbau für die kalorimetrische Messung zur Bestimmung der CDM-Verluste.....	59
Bild 24 – Bestimmung der IE-Klassifikation für CDM und Bestimmung der Verluste in Teillast-Arbeitspunkten	61
Bild 25 – Bestimmung der IES-Klassifikation für PDS und Bestimmung der Verluste in Teillast-Arbeitspunkten	62
Bild B.1 – Übersicht über das erweiterte Produkt und Energiefluss	70
Bild B.2 – Ersatzschaltung des Netzes und der Netzverkabelung	71
Bild B.3 – OberschwingungsfILTER für ein Einphasennetz	72
Bild B.4 – PDS mit Diodengleichrichter-Eingangstromrichter.....	73
Bild B.5 – PDS mit Standard-AIC-Eingangstromrichter.....	74
Bild B.6 – PDS mit einem F3E-AIC ohne Netzdrossel	75
Bild B.7 – Typische Wellenform eines Netzstroms bei einem Eingang mit Diodengleichrichter.....	75
Bild B.8 – Gleichspannungszwischenkreis.....	76
Bild B.9 – Gleichspannungszwischenkreis mit zusätzlichen Gleichstromdrosseln	77

	Seite
Bild B.10 – Ausgangswechselrichter des PDS	78
Bild B.11 – Motorkabel und optionales Ausgangsfilter des PDS	78
Bild B.12 – Typische Wellenform der Ausgangsspannung des Wechselrichters und der Motorspannung bei Verwendung eines Sinusausgangsfilters	79
Bild E.1 – Segmente und Arbeitspunkte	94
Bild E.2 – Zweidimensionale Interpolation	96
Bild G.1 – Aufbau für die einstufige kalorimetrische Messung für die vergleichende Verlustmessung (CDM und Heizwiderstand werden gleichzeitig beansprucht)	103
Bild G.2 – Aufbau für die zweistufige Kalorimetermessung für die vergleichende Verlustmessung (CDM und Heizwiderstand werden nicht gleichzeitig belastet)	104
Bild G.3 – Aufbau für die Kalorimetermessung mit Flüssigkeitskühlung für die Messung der CDM- Verluste	104
Tabellen	
Tabelle 1 – Minimale Ströme der Prüflast an unterschiedlichen Arbeitspunkten	34
Tabelle 2 – Leistungsfaktor der Prüflast zwischen Grundswingungsausgangsstrom und Grundswingungsausgangsspannung an unterschiedlichen Arbeitspunkten	34
Tabelle 3 – Referenzparameter für Gleichung (5)	36
Tabelle 4 – Variablen für Gleichung (5)	36
Tabelle 5 – Referenzparameter für Gleichung (6)	36
Tabelle 6 – Referenzparameter für Gleichung (7)	37
Tabelle 7 – Referenzparameter für Gleichung (8)	37
Tabelle 8 – Referenzparameter für Gleichung (10)	39
Tabelle 9 – Variablen für Gleichung (10)	39
Tabelle 10 – Referenzparameter für Gleichung (11)	39
Tabelle 11 – Referenzparameter für Gleichung (12)	40
Tabelle 12 – Referenzparameter für Gleichung (13)	40
Tabelle 13 – Referenzparameter für Gleichung (15)	41
Tabelle 14 – Referenzparameter für Gleichung (14)	41
Tabelle 15 – Relative Verluste des 400 V/9,95 kVA Referenz CDM bei den in Bild 6 definierten Arbeitspunkten	42
Tabelle 16 – Referenzparameter für Gleichung (19)	44
Tabelle 17 – Relative Verluste des 400 V/7,5 kW RPDS	45
Tabelle 18 – Verluste des Referenz-CDM für die Festlegung der Klasse IE1	48
Tabelle 19 – Verluste des Referenz-PDS für die Festlegung der IES1-Klasse	50
Tabelle 20 – Anforderungen an die Angaben	63
Tabelle A.1 – Relative Verluste (%) von Referenz-CDMs mit unterschiedlichen Bemessungsleistungen an den in Bild 6 beschriebenen Arbeitspunkten	66
Tabelle A.2 – Relative Verluste (%) von Referenzmotoren mit unterschiedlichen Bemessungsleistungen an den in Bild 5 beschriebenen Arbeitspunkten	67
Tabelle A.3 – Relative Verluste (%) für ein Referenz-PDS mit unterschiedlichen Bemessungsleistungen an den in Bild 4 beschriebenen Arbeitspunkten	68
Tabelle B.1 – Typische Werte für λ bei unterschiedlichen Topologien der Eingangsstromrichter	76

	Seite
Tabelle D.1 – Empfohlene Aufteilung von Reibungs- und Ventilationsverlusten für IC 411 selbstgekühlte Motoren	86
Tabelle D.2 – Normative Arbeitspunkte mit grafischer Darstellung.....	87
Tabelle D.3 – Nicht-normative alternative Arbeitspunkte	89
Tabelle D.4 – Interpolationskoeffizienten von typischen 4-poligen IE2 Referenz-Induktionsmaschinen	92
Tabelle D.5 – Interpolationskoeffizienten von typischen 2-poligen IE2 Referenz-Induktionsmaschinen	93
Tabelle E.1 – Relative Verluste eines 400 V/9,95 kVA-Beispiel-CDM an den festgelegten Arbeitspunkten	95
Tabelle E.2 – Parameter des Beispiel-CDM.....	98
Tabelle E.3 – Ergebnisse der CDM-Berechnung nach dem mathematischen Modell.....	99
Tabelle E.4 – Vergleich der verschiedenen Verfahren zur Bewertung des Verlustes	100
Tabelle E.5 – Verlustdaten des 7,5-kW-Referenzmotors.....	100
Tabelle ZZ – Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und der Verordnung (EG) Nr. 640/2009 der Kommission vom 22. Juli 2009, Artikel 2.2, 3.2 und 3.3 und Anhang I, zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Elektromotoren und dem Normungsauftrag M/476 an CEN, CENELEC und ETSI im Zusammenhang mit der Richtlinie 2009/125/EG zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (Neufassung)	108