

## Inhalt

	Seite
Vorwort.....	8
Einleitung .....	9
1 Anwendungsbereich .....	11
2 Normative Verweisungen .....	11
3 Begriffe, Abkürzungen und Symbole.....	12
3.1 Begriffe .....	12
3.2 Symbole.....	15
4 Definition von Referenz-PDS (RPDS), Referenz-CDM (RCDM) und Referenzmotor (RM) .....	21
4.1 Allgemeines .....	21
4.2 Festlegung der Verlustpunkte in Abhängigkeit von Drehzahl und Drehmoment eines RPDS, eines RCDM, eines RM und die zugehörigen Verlustleistungen .....	22
4.3 Verknüpfung der PDS-Verluste mit der angetriebenen Einrichtung.....	24
4.4 IE-Klassen eines netzgespeisten Motors (IE1 bis IE9) .....	26
4.5 IE-Klassen eines stromrichter gespeisten Motors (IE1 bis IE9).....	26
4.6 IE-Klassen eines Stromrichters (vollständiges Antriebsmodul, CDM) (IE0 bis IE9) .....	26
4.7 IES-Klassen eines PDS (IES0 bis IES9).....	27
4.8 Durchgängigkeit der IE- und IES-Klassen.....	27
4.9 Bestimmung der IES-Klasse eines sich ergebenden PDS durch Anwendung von „Referenz“- und „Prüf“-Geräten und Leitfaden für die Hersteller.....	28
5 Mathematisches Modell von CDM, Motor und PDS.....	29
5.1 Allgemeines .....	29
5.2 CDM.....	30
5.3 Referenzmotor (RM).....	39
5.4 Referenz-PDS (RPDS).....	45
5.5 PDS-Verluste bei Rückspeisebetrieb .....	47
6 Verlustleistungen von Motorstartern.....	47
7 Grenzwerte für IE- und IES-Klassen .....	48
7.1 Allgemeines .....	48
7.2 CDM.....	48
7.3 Motor.....	50
7.4 PDS .....	50
8 Anforderungen an die Dokumentation für den Anwender .....	52
8.1 Allgemeines .....	52
8.2 Angaben für die Auswahl.....	53
8.3 Angaben für die Bestimmung der Energieeffizienzklassen.....	54
8.4 Angaben für die Bestimmung von zusätzlichen Energieverlusten und Teillastbedingungen.....	54
9 Typprüfung .....	55
9.1 Allgemeines .....	55

	Seite
9.2	Typprüfung von CDM für die IE-Klassifizierung ..... 55
9.3	Typprüfung von PDS für die IES-Klassifikation..... 56
9.4	Verfahren zur Bestimmung der CDM- und PDS-Verluste unter Teillastbedingungen ..... 57
9.5	Berechnungen der Verlustleistung für CDM ..... 57
9.6	Berechnungen der Verlustleistung für PDS ..... 57
9.7	Eingang/Ausgang-Messverfahren..... 57
9.8	Kalorimetrische Messung der CDM-Verluste..... 61
9.9	Prüfbedingungen für die Prüfung von CDM ..... 62
9.10	Prüfbedingungen für die Prüfung von PDS ..... 63
Anhang A (informativ) Verluste von RCDM, RM und RPDS ..... 64	
Anhang B (informativ) Beschreibung der Elemente eines erweiterten Produktes mit PDS hinsichtlich ihres Einflusses auf die Verluste ..... 67	
B.1	Allgemeines ..... 67
B.2	Verluste in der Netzverkabelung und dem Einspeisungsabschnitt..... 67
B.3	EingangsfILTER..... 69
B.4	Eingangsstromrichter ..... 70
B.5	Gleichspannungszwischenkreis ..... 73
B.6	Ausgangswechselrichter ..... 74
B.7	AusgangsfILTER und Motorkabel..... 75
B.8	Motor ..... 77
B.9	Mechanische Last ..... 77
B.10	Regelungs- und Standby-Verluste ..... 77
B.11	Kühlverluste..... 78
Anhang C (informativ) Topologie von Stromrichtern ..... 79	
C.1	Allgemeines ..... 79
C.2	Topologien von Spannungszwischenkreis-Ausgangswechselrichtern, die sich von den in 5.2.2 mathematisch beschriebenen unterscheiden ..... 79
C.3	Topologien von Spannungszwischenkreis-Eingangsstromrichtern, die sich von den in 5.2.3 mathematisch beschriebenen unterscheiden ..... 79
C.4	CDM-Topologien, die sich vom Spannungszwischenkreistyp unterscheiden ..... 79
Anhang D (informativ) Grundlegende Profile von Drehmoment und Leistung in Abhängigkeit der Drehzahl, Arbeitspunkte über der Zeit ..... 81	
D.1	Allgemeines ..... 81
D.2	Grundlegendes Profil von Drehmoment und Leistung in Abhängigkeit von der Drehzahl..... 81
D.3	Zeitabhängige Arbeitspunkte ..... 82
D.4	Definition zeitabhängiger Arbeitspunkte ..... 82
Anhang E (informativ) Typische genormte Servo-Anwendung ..... 86	
E.1	Allgemeines ..... 86
E.2	Zyklus ..... 87
E.3	Berechnung der Motorverluste..... 90

	Seite
E.4	Verluste des Servo-CDM..... 92
E.5	Verluste des Servo-PDS..... 92
Anhang F (informativ)	Ergänzende Angaben zu 5.3 ..... 93
Anhang G (informativ)	Anwendungsbeispiel für die Berechnung der Verluste eines CDM und eines PDS..... 113
G.1	Allgemeines ..... 113
G.2	Bestimmung der Verluste des CDM ..... 113
G.3	Bestimmung der Motorverluste ..... 119
G.4	Bestimmung der Verluste des PDS..... 119
Anhang H (informativ)	Unsicherheit des Verfahrens zur Bestimmung der Verluste ..... 120
H.1	Allgemeines ..... 120
H.2	Berechnung der Unsicherheit bei zufällig auftretenden Fehlern ..... 120
H.3	Typische Unsicherheiten der Verfahren zur Bestimmung der Verluste ..... 120
Anhang I (informativ)	Kalorimetrische Messung der CDM-Verluste..... 122
I.1	Allgemeines ..... 122
I.2	Kalorimetrische Messung mit zwei Kammern und mit Luft als Kühlmedium..... 122
I.3	Kalorimeter mit einer Kammer und mit Luft als Kühlmedium ..... 123
I.4	Kalorimeter mit Flüssigkeit als Kühlmedium..... 124
Anhang J (informativ)	Ablaufdiagramm für die Bestimmung der IE-/IES-Klassifikation für CDM/PDS und Bestimmung der Verluste in Teillast-Arbeitspunkten ..... 126
<b>Bilder</b>	
Bild 1 – Darstellung gegensätzlicher Anforderungen bei der Normung energieverbrauchsrelevanter Produkte (ErP).....	9
Bild 2 – Darstellung des erweiterten Produktes mit enthaltenem Motorsystem .....	13
Bild 3 – Darstellung der Arbeitspunkte für die Drehzahl in Abhängigkeit vom Drehmoment zur Bestimmung der relativen Verlustleistungen des Antriebssystems (RPDS).....	22
Bild 4 – Darstellung der Arbeitspunkte für die Drehzahl in Abhängigkeit vom Drehmoment zur Bestimmung der relativen Verlustleistung des Referenzmotors (RM) .....	23
Bild 5 – Darstellung der Arbeitspunkte des RCDM, die vom relativen drehmomentbildenden Strom und der relativen Ständerfrequenz des Motors abhängen, für die Bestimmung der relativen Verlustleistung des vollständigen Antriebsmoduls (RCDM).....	23
Bild 6 – Darstellung des Arbeitsablaufes für die Bestimmung des Energieeffizienzindex eines erweiterten Produktes.....	24
Bild 7 – Darstellung, wie die unterschiedlichen Datenquellen zur Bestimmung des Energieeffizienzindex für ein erweitertes Produkt zusammenzuführen sind.....	25
Bild 8 – Drei Punkte der relativen Verluste sowie die schraffierte und von den Pumpenherstellern bei der Festlegung des Energieeffizienzindex (EEI) einer Pumpeneinheit zu untersuchende Fläche .....	25
Bild 9 – Metrischer Zusammenhang von IE- und IES-Klassen .....	28
Bild 10 – Leitfaden für CDM- und Motorenhersteller zur Anwendung der „Prüf“- und „Referenz“-Einrichtungen zur Bestimmung der IE-/IES-Klassen.....	29
Bild 11 – Darstellung von CDM und Testlast.....	30
Bild 12 – Relative Verluste $p_{L,CDM}$ eines 9,95-kVA-RCDM .....	38

	Seite
Bild 13 – Beispiel für die relativen Verlustleistungen des PDS als Funktion der Drehzahl und des Drehmoments.....	46
Bild 14 – Beispiel der relativen Verlustleistungen in Abhängigkeit von der Schaltfrequenz .....	47
Bild 15 – Beispiel eines CDM mit Widerstand zur Abführung der erzeugten Leistung .....	47
Bild 16 – Darstellung der IE-Klassen für ein CDM .....	50
Bild 17 – Darstellung der IES-Klassen für ein PDS.....	51
Bild 18 – Die Verlustleistung des CDM ist eine Summe aus dem ermittelten Verlustwert und einer Unsicherheit des angewendeten Bestimmungsverfahrens.....	56
Bild 19 – Aufbau für die Eingang/Ausgang-Messung für CDM-Verluste.....	58
Bild 20 – Aufbau für die Eingang/Ausgang-Messung für PDS-Verluste .....	58
Bild 21 – Reihenfolge, in der die Messungen für CDM durchzuführen sind: (1) bis (8).....	60
Bild 22 – Reihenfolge, in der die Messungen für PDS durchzuführen sind: (1) bis (8).....	61
Bild 23 – Aufbau für die kalorimetrische Messung zur Bestimmung der CDM-Verluste.....	62
Bild B.1 – Übersicht über das erweiterte Produkt und Energiefluss .....	67
Bild B.2 – Ersatzschaltung des Netzes und der Netzverkabelung.....	68
Bild B.3 – Darstellung eines Oberschwingungsfilters für ein Einphasennetz.....	69
Bild B.4 – PDS mit Diodengleichrichter-Eingangstromrichter.....	70
Bild B.5 – PDS mit Standard-AIC-Eingangstromrichter.....	71
Bild B.6 – PDS mit einem F3E-AIC ohne Netzdrossel .....	72
Bild B.7 – Typische Kurvenform eines Netzstrom bei einem Eingang mit Diodengleichrichter .....	72
Bild B.8 – Gleichspannungszwischenkreis.....	73
Bild B.9 – Gleichspannungszwischenkreis mit zusätzlichen Gleichstromdrosseln .....	74
Bild B.10 – Ausgangswechselrichter des PDS.....	75
Bild B.11 – Motorkabel und optionales Ausgangsfilter des PDS.....	75
Bild B.12 – Typische Wellenform der Ausgangsspannung des Wechselrichters und der Motorspannung bei Verwendung eines Sinusfilters.....	76
Bild D.1 –Typische grundlegende Profile von Drehmoment und Leistung über der Drehzahl.....	82
Bild D.2 – Beispiel zeitabhängiger Arbeitspunkte .....	83
Bild E.1 – Beispiel einer typischen Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie .....	86
Bild E.2 – Drehzahl und Drehmoment für einen Anwendungszyklus mit mittlerer Dynamik (Beispiel).....	88
Bild E.3 – Drehzahl und Drehmoment für einen Anwendungszyklus mit hoher Dynamik (Beispiel) .....	89
Bild E.4 – Grafische Darstellung von Leistung und Verlusten bei einer Anwendung mit mittlerer Dynamik .....	91
Bild F.1 – Bezogene Verluste als Funktion des bezogenen Drehmoments, Stromrichterbetrieb (mit der Drehzahl als Parameter).....	94
Bild F.2 – Bezogene Verluste als Funktion der bezogenen Drehzahl, Stromrichterbetrieb (mit dem Drehmoment als Parameter).....	94
Bild F.3 – Bestimmung der Verluste an einem Arbeitspunkt.....	95
Bild G.1 – Segmente der Arbeitspunkte .....	113
Bild G.2 – Zweidimensionale Interpolation.....	115

	Seite
Bild H.1 – Typische Standardunsicherheiten mit Normalverteilung bei den unterschiedlichen Verfahren zur Bestimmung der CDM- und PDS-Verlustleistungen .....	121
Bild I.1 – Aufbau für die einstufige Kalorimetermessung für die vergleichende Verlustmessung (CDM und Heizwiderstand werden gleichzeitig beansprucht).....	123
Bild I.2 – Aufbau für die zweistufige Kalorimetermessung für die vergleichende Verlustmessung (CDM und Heizwiderstand werden nicht gleichzeitig beansprucht).....	124
Bild I.3 – Aufbau für die kalorimetrische Messung mit Flüssigkeitskühlung für die Messung der CDM-Verluste .....	125
Bild J.1 – Bestimmung der IE-Klassifikation für CDM und Bestimmung der Verluste in Teillast-Arbeitspunkten.....	126
Bild J.2 – Bestimmung der IES-Klassifikation für PDS und Bestimmung der Verluste in Teillast-Arbeitspunkten.....	127
<b>Tabellen</b>	
Tabelle 1 – Mandate der Europäischen Kommission, die an CEN, CENELEC und ETSI gegeben wurden und wie sie von den einzelnen Teilen dieser Normenreihe unterstützt werden.....	10
Tabelle 2 – Minimale Ströme der Prüflast an unterschiedlichen Arbeitspunkten .....	31
Tabelle 3 – Leistungsfaktor der Prüflast zwischen Grundschrwingungsausgangsstrom und Grundschrwingungsausgangsspannung an unterschiedlichen Arbeitspunkten.....	31
Tabelle 4 – Referenzparameter für Gleichung (6).....	32
Tabelle 5 – Variablen für Gleichung (6).....	33
Tabelle 6 – Referenzparameter für Gleichung (7).....	33
Tabelle 7 – Referenzparameter für Gleichung (8).....	34
Tabelle 8 – Referenzparameter für Gleichung (9).....	34
Tabelle 9 – Referenzparameter für Gleichung (11).....	35
Tabelle 10 – Variablen für Gleichung (11).....	35
Tabelle 11 – Referenzparameter für Gleichung (12).....	36
Tabelle 12 – Referenzparameter für Gleichung (13).....	36
Tabelle 13 – Referenzparameter für Gleichung (14).....	37
Tabelle 14 – Referenzparameter für Gleichung (17).....	37
Tabelle 15 – Referenzparameter für Gleichung (15).....	37
Tabelle 16 – Relative Verluste des 400-V/9,9-kVA-Referenz-CDM bei den in Bild 5 definierten Arbeitspunkten.....	39
Tabelle 17 – Verluste des Referenzmotors .....	43
Tabelle 19 – Relative Verluste des 400 V/7,5-kW-RPDS.....	46
Tabelle 20 – Verluste des Referenz-CDM für die Festlegung der IE-Klasse 1 .....	48
Tabelle 21 – Verluste des Referenz-PDS für die Festlegung der IES1-Klasse .....	51
Tabelle 22 – Anforderungen an die Angaben.....	53
Tabelle A.1 – Relative Verluste von 400-V-Referenz-CDM mit unterschiedlichen Bemessungsleistungen in den in Bild 5 beschriebenen Arbeitspunkten.....	64
Tabelle A.2 – Relative Verluste (%) des vierpoligen 50-Hz-Referenzmotors (IE2) mit unterschiedlichen Bemessungsleistungen in den in Bild 4 beschriebenen Arbeitspunkten .....	65

	Seite
Tabelle A.3 – Relative Verluste (%) für ein Referenz-PDS, beruhend auf einem 400-V-RCDM und vierpoligen Referenzmotoren (IE2) mit unterschiedlichen Bemessungsleistungen in den in Bild 3 beschriebenen Arbeitspunkten .....	66
Tabelle B.1 – Typische Werte für $\lambda$ bei unterschiedlichen Topologien der Eingangsstromrichter.....	73
Tabelle D.1 – Betriebsspiele der untersuchten Beispiele.....	84
Tabelle D.2 – Verluste bei den festgelegten Arbeitspunkten der Konfiguration 1.....	84
Tabelle D.3 – Verluste bei den festgelegten Arbeitspunkten der Konfiguration 2.....	84
Tabelle E.1 – Parameter eines Servomotors (Beispiel) .....	87
Tabelle F.1 – Koeffizienten für vierpolige (IE2-)Motoren als Funktion des relativen Drehmoments.....	96
Tabelle F.2 – Koeffizienten für vierpolige (IE2-)Motoren-als Funktion der relativen Drehzahl.....	100
Tabelle F.3 – Koeffizienten für zweipolige (IE2-)Motoren als Funktion des relativen Drehmoments .....	104
Tabelle F.4 – Koeffizienten für zweipolige (IE2-)Motoren-als Funktion der relativen Drehzahl .....	109
Tabelle G.1 – Relative Verluste eines 400-V-/9,95-kVA-Beispiel-CDM an den festgelegten Arbeitspunkten .....	114
Tabelle G.2 – Parameter des Beispiel-CDM .....	117
Tabelle G.3 – Ergebnisse der CDM-Berechnung nach dem mathematischen Modell .....	118
Tabelle G.4 – Vergleich der verschiedenen Verfahren zur Bewertung des Verlustes.....	119
Tabelle G.5 – Verlustdaten des 7,5-kW-Referenzmotors .....	119