

DIN EN 50598-2

ICS 13.020.20; 29.160.30

Einsprüche bis 2014-01-22

Entwurf**Ökodesign für Antriebssysteme, Motorstarter, Leistungselektronik und deren angetriebene Einrichtungen –****Teil 2: Indikatoren für die Energieeffizienz von Antriebssystemen und Motorstartern;****Deutsche Fassung prEN 50598-2:2013**

Ecodesign for power drive systems, motor starters, power electronics & their driven applications –

Part 2: Energy efficiency indicators for power drive systems and motor starters;

German version prEN 50598-2:2013

Ecoconception des entraînements électriques de puissance, des démarreurs de moteur, de l'électronique de puissance et de leurs applications entraînées –

Partie 2: Indicateurs d'efficacité énergétique pour les entraînements électriques de puissance et les démarreurs de moteur;

Version allemande prEN 50598-2:2013

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2013-11-22 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (Hausanschrift: Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 280 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments prEN 50598-2:2013 „Ökodesign für Antriebssysteme, Motorstarter, Leistungselektronik und deren angetriebene Einrichtungen – Teil 2: Indikatoren für die Energieeffizienz von Antriebssystemen und Motorstartern“ (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und der Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung der prEN 50598-2:2013 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Das europäische Dokument prEN 50598-2:2013 „Ecodesign for power drive systems, motor starters, power electronics & their driven applications – Part 2: Energy efficiency indicators for power drive systems and motor starters“ wurde vom TC 22X „Power electronics“ des Europäischen Komitees für Elektrotechnische Normung (CENELEC) erarbeitet und von CENELEC den Nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen späteren „Schluss-Entwurf“ prEN nur 2 Monate beträgt und zum „Schluss-Entwurf“ prEN keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der „Entwurf“ prEN als Deutscher Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit noch vor der formellen Abstimmung berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 226 „Ausrüstung von Starkstromgeräten und -anlagen mit elektronischen Betriebsmitteln“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnichtsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Ökodesign für Antriebssysteme, Motorstarter, Leistungselektronik und deren angetriebene Einrichtungen –

Teil 2: Indikatoren für die Energieeffizienz von Antriebssystemen und Motorstartern

Ecodesign for power drive systems, motor starters, power electronics & their driven applications –
Part 2: Energy efficiency indicators for power drive systems and motor starters

Ecoconception des entraînements électriques de puissance, des démarreurs de moteur, de l'électronique de puissance et de leurs applications entraînées –
Partie 2: Indicateurs d'efficacité énergétique pour les entraînements électriques de puissance et les démarreurs de moteur

Dieser Europäische Norm-Entwurf wird den CENELEC-Mitgliedern zur CENELEC-Umfrage vorgelegt.
CENELEC Termin: 2014-02-21

Er wurde von CLC/TC 22X erstellt.

Wenn aus diesem Norm-Entwurf eine Europäische Norm wird, sind die CENELEC-Mitglieder gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Dieser Europäische Norm-Entwurf wurde von CENELEC in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch) erstellt. Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Warnvermerk: Dieses Schriftstück hat noch nicht den Status einer Europäischen Norm. Es wird zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt. Es kann sich noch ohne Ankündigung ändern und darf nicht als Europäische Norm in Bezug genommen werden.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	10
Einleitung	11
1 Anwendungsbereich	13
2 Normative Verweisungen	13
3 Begriffe	14
4 Definition von Referenz-PDS (RPDS), Referenz-CDM (RCDM) und Referenzmotor (RM)	24
4.1 Allgemeines	24
4.2 Festlegung der Verlustpunkte in Abhängigkeit von Drehzahl und Drehmoment eines RPDS, eines RCDM, eines RM und zugehörige Verlustleistungen	25
4.3 Verknüpfung der PDS-Verluste mit der angetriebenen Einrichtung.....	27
4.3.1 Arbeitsablauf für das so genannte semi-analytische Modell (SAM).....	27
4.3.2 Geforderte Arbeitspunkte für die Bestimmung der Verluste eines Pumpenaggregats	29
4.4 Definition der IES-Klassen unter Verwendung des RPDS	30
4.5 IE-Klassen eines netzgespeisten Motors (IE1 bis IE9)	30
4.6 IE-Klassen eines stromrichter gespeisten Motors (IE1 bis IE9)	30
4.7 IE-Klassen eines Stromrichters (vollständiges Antriebsmodul, CDM) (IE0 bis IE9)	31
4.8 IES-Klassen eines PDS (IES0 bis IES9)	31
4.9 Folgerichtigkeit der IE- und IES-Klassen.....	31
4.10 Bestimmung der IES-Klasse eines sich ergebenden PDS durch Anwendung von „Referenz-“ und „Prüf-“Geräten und Leitfaden für die Hersteller	32
5 Mathematisches Modell von CDM, Motor und PDS	33
5.1 Allgemeines	33
5.2 CDM.....	34
5.2.1 Allgemeines Verfahren und Bestimmung von CDM und Prüflast	34
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 Referenzmotor (RM).....	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)	46
5.4 Referenz-PDS (RPDS).....	48

	Seite
5.4.1 Verluste des Referenz-PDS	48
5.4.2 PDS-Verluste bei unterschiedlichen Schaltfrequenzen	50
5.5 PDS-Verluste bei Rückspeisebetrieb	51
6 Verlustleistungen von Motorstartern	51
7 Grenzwerte für IE- und IES-Klassen	52
7.1 Allgemeines	52
7.2 CDM	52
7.3 Motor	54
7.4 PDS	54
8 Anforderungen an die Dokumentation für den Anwender	56
8.1 Allgemeines	56
8.2 Angaben für die Auswahl	57
8.3 Angaben für die Bestimmung der Energieeffizienzklassen	57
8.4 Angaben für die Bestimmung von zusätzlichen Energieverlusten und Teillastbedingungen	57
8.4.1 Allgemeines	57
8.4.2 Verluste unter Teillastbedingungen	57
8.4.3 Verluste von Hilfseinrichtungen und Optionen	58
8.4.4 Verluste im Standby-Betrieb	58
8.4.5 Verluste im Rückspeisebetrieb	58
9 Typprüfung	58
9.1 Allgemeines	58
9.2 Typprüfung von CDM für die IE-Klassifikation	59
9.3 Typprüfung von PDS für die IES-Klassifikation	60
9.4 Verfahren zur Bestimmung der CDM- und PDS-Verluste unter Teillastbedingungen	60
9.5 Berechnungen der Verlustleistung für CDM	60
9.6 Berechnungen der Verlustleistung für PDS	61
9.7 Eingang/Ausgang-Messverfahren	61
9.7.1 Eingang/Ausgang-Messung der CDM-Verluste	61
9.7.2 Eingang/Ausgang-Messung von PDS-Verlusten	61
9.7.3 Anforderungen an das Verfahren der Eingang/Ausgang-Messung	62
9.8 Kalorimetrische Messung der CDM-Verluste	64
9.9 Prüfbedingungen für die Prüfung von CDM	65
9.10 Prüfbedingungen für die Prüfung von PDS	66
Anhang A (informativ) Verluste von RCDM, RM und RPDS	67
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
B.3 Eingangsfilter	71

	Seite
B.3.1 Filter gegen hochfrequente elektromagnetische Störungen (HF-EMI-Filter)	71
B.3.2 Niederfrequenz-Netzoberschwingungsfilter	72
B.4 Eingangsstromrichter	72
B.4.1 Diodengleichrichter	72
B.4.2 Stromrichter mit netzseitig aktiv gesteuertem Eingang	73
B.4.3 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.7.4 HF-EMI-Motorfilter	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 5.1.2 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) Drehmoment/Leistung in Abhängigkeit von Drehzahlprofilen/Belastungsprofilen	84
D.1 Drehmoment/Leistung in Abhängigkeit vom Drehzahlprofil	84
D.2 Belastungsprofil	85
D.3 Definition des Belastungsprofils	85
D.3.1 Berechnung der Energieaufnahme unter Zugrundelegung des Belastungsprofils	86
D.3.2 Beispiel für die Verlustberechnung bei verschiedenen Belastungsprofilen	86
Anhang E Beispiele für Anwendungen mit fester und veränderbarer Drehzahl	89
E.1 Die feste Drehzahlregelung	89
E.1.1 Elektrischer Energiebedarf einer Kreiselpumpe mit fester Drehzahl und Einstellung des Volumenstroms mit einem Drossel-/Steuerventil	90
E.1.2 Vollständig geöffnetes Steuerventil bei $G_{Dose} = 1$	90
E.2 Die Antriebsanwendung mit veränderbarer Drehzahl	92
E.2.1 Elektrischer Energiebedarf eines Pumpenaggregates mit veränderbarer Drehzahl	92

	Seite
E.3 Verhältnis des Energiebedarfs zwischen Pumpen mit konstanter Drehzahl und Pumpen mit veränderbarer Drehzahl im Dauerbetrieb	93
E.4 Elektrischer Energiebedarf eines Maschinentyps mit Reibungsregelung.....	95
E.4.1 Allgemeines	95
E.4.2 Differenz des Energiebedarfs zwischen Maschinen mit konstanter Drehzahl und Maschinen mit drehzahlveränderbarem Antrieb im Dauerbetrieb	95
Anhang F (informativ) Typische standardisierte Anwendungen.....	97
F.1 Wirkungsgrade verschiedener angetriebener Lasten in Abhängigkeit vom Dosierwert der Prozessanforderung	97
F.2 Typische genormte Servo-Anwendung	98
F.2.1 Allgemeines	98
F.2.2 Zyklus	99
F.2.3 Berechnung der Motorverluste	102
F.2.4 Verluste des Servo-CDM	104
F.2.5 Verluste des Servo-PDS	104
Anhang G (informativ) Ergänzende Angaben zu 5.3	105
Anhang H (informativ) Anwendungsbeispiel für die Berechnung der Verluste eines CDM und eines PDS	125
H.1 Allgemeines	125
H.2 Bestimmung der Verluste des CDM.....	125
H.2.1 Allgemeines	125
H.2.2 Bestimmung des Verlustes durch maximale Verluste von angrenzenden Verlustpunkten	126
H.2.3 Bestimmung des Verlustes durch zweidimensionale Interpolation der Verluste von angrenzenden Verlustpunkten	126
H.2.4 Bestimmung der Verluste mit dem in 5.1 beschriebenen mathematischen Modell	129
H.3 Bestimmung der Motorverluste	131
H.4 Bestimmung der Verluste des PDS	131
Anhang I (informativ) Unsicherheit des Verfahrens zur Bestimmung der Verluste	132
I.1 Allgemeines	132
I.2 Berechnung der Unsicherheit bei zufällig auftretenden Fehlern.....	132
I.3 Typische Unsicherheiten der Verfahren zur Bestimmung der Verluste	132
Anhang J (informativ) Kalorimetermessung der CDM-Verluste	134
J.1 Allgemeines	134
J.2 Kalorimeter mit zwei Kammern und mit Luft als Kühlmedium	134
J.3 Kalorimeter mit einer Kammer und mit Luft als Kühlmedium.....	135
J.4 Kalorimeter mit Flüssigkeit als Kühlmedium	136
Anhang K (informativ) Ablaufdiagramm für die Bestimmung der IE-/IES-Klassifikation für CDM/PDS und Bestimmung der Verluste bei Teillast-Arbeitspunkten	137

Bilder

Bild 1 – Darstellung gegensätzlicher Anforderungen bei der Normung energieverbrauchsrelevanter Produkte (ErP).....	11
Bild 2 – Darstellung der Arbeitspunkte für die Drehzahl in Abhängigkeit vom Drehmoment zur Bestimmung der relativen Verlustleistungen des Antriebssystems (RPDS).....	25
Bild 3 – Darstellung der Arbeitspunkte für die Drehzahl in Abhängigkeit vom Drehmoment zur Bestimmung der relativen Verlustleistung des Referenzmotors (RM)	26
Bild 4 – Darstellung der bezogenen Verlustleistungs-Arbeitspunkte des RCDM, die vom relativen drehmomentbildenden Strom und der relativen Ständerfrequenz (*) des Motors abhängen, für die Bestimmung der RCDM-Verluste	26
Bild 5 – Darstellung der Verantwortlichkeiten und Arbeitsablauf für die Bestimmung des Energieeffizienzindex eines erweiterten Produktes	28
Bild 6 – Darstellung, wie die unterschiedlichen Datenquellen zur Bestimmung des Energieeffizienzindex für ein erweitertes Produkt zusammenzuführen sind.....	28
Bild 7 – Drei Punkte der relativen Verluste und die schraffierte und von den Pumpenherstellern bei der Festlegung des Energieeffizienzindex zu untersuchende Fläche.....	29
Bild 8 – Qualitativ vereinfachte Darstellung der relativen Verlustleistungen als Funktion der Drehzahl in einem RPDS.....	30
Bild 9 – Metrischer Zusammenhang von IE- und IES-Klassen	32
Bild 10 – Leitfaden für CDM- und Motorenhersteller zur Anwendung der „Prüf-“ und „Referenz-“ Einrichtungen zur Bestimmung der IE-/IES-Klassen.....	33
Bild 11 – Darstellung von CDM und Prüflast	34
Bild 12 – Relative Verluste $p_{L,CDM}$ eines 9,95-kVA-RCDM	42
Bild 13 – Beispiel für die relativen Verlustleistungen des PDS als Funktion der Drehzahl und des Drehmoments	50
Bild 14 – Beispiel der relativen Verlustleistungen in Abhängigkeit von der Schaltfrequenz.....	51
Bild 15 – Beispiel eines CDM mit Widerstand zur Abführung der erzeugten Leistung	51
Bild 16 – IE-Klassen für ein CDM	54
Bild 17 – Die Verlustleistung des CDM ist eine Summe aus dem ermittelten Verlustwert und einer Unsicherheit des angewendeten Bestimmungsverfahrens	59
Bild 18 – Aufbau für die Eingang/Ausgang-Messung für CDM-Verluste	61
Bild 19 – Aufbau für die Eingang/Ausgang-Messung für PDS-Verluste.....	62
Bild 20 – Reihenfolge, in der die Messungen für CDM durchzuführen sind: (1) bis (8)	63
Bild 21 – Reihenfolge, in der die Messungen für PDS durchzuführen sind: (1) bis (8)	64
Bild 22 – Aufbau für die kalorimetrische Messung zur Bestimmung der CDM-Verluste	65
Bild 23 – Übersicht über das erweiterte Produkt und Energiefluss	70
Bild 24 – Ersatzschaltung des Netzes und der Netzverkabelung.....	71
Bild 25 – Oberschwingungsfilter für ein Einphasennetz	72
Bild 26 – PDS mit Diodengleichrichter-Eingangstromrichter	73
Bild 27 – PDS mit Standard-AIC-Eingangstromrichter	74
Bild 28 – PDS mit einem F3E-AIC ohne Netzdrossel.....	75
Bild 29 – Typische Wellenform eines Netzstrom bei einem Eingang mit Diodengleichrichter	75

	Seite
Bild 30 – Gleichspannungszwischenkreis	76
Bild 31 – Gleichspannungszwischenkreis mit zusätzlichen Gleichstromdrosseln	77
Bild 32 – Ausgangswechselrichter des PDS	78
Bild 33 – Motorkabel und optionales Ausgangsfilter des PDS	78
Bild 34 – Typische Wellenform der Ausgangsspannung des Wechselrichters und der Motorspannung bei Verwendung eines Sinusfilters	79
Bild 35 – Drehmoment/Leistung in Abhängigkeit vom Drehzahlprofil	85
Bild 36 – Beispiel eines Belastungsprofils	86
Bild 37 – Übersicht über die Antriebsanwendung mit konstanter Drehzahl	89
Bild 38 – Typische Veränderung des Wirkungsgrades (η_{CDM}) eines CDM in Abhängigkeit von der Veränderung der Teillast $P_{\text{mech}}/P_{\text{max}}$ des Stromrichters	93
Bild 39 – Verhältnis des Energiebedarfs einer gedrosselten Pumpe zu einer Pumpe mit drehzahlveränderbarem Antrieb in Abhängigkeit vom Dosierwert G_{Dose}	94
Bild 40 – Verhältnis des Energiebedarfs einer reibungsgeregelten angetriebenen Maschine zu einer Maschine mit drehzahlveränderbarem Antrieb in Abhängigkeit vom Dosierungswert G_{Dose}	96
Bild 41 – Darstellung möglicher Abweichungen von unterschiedlichen Maschinenwirkungsgraden (z. B. beim Friktionskuppeln), die bei kleinen Werten von G_{Dose} hohe Verluste haben können	97
Bild 42 – Darstellung von möglichen unterschiedlichen Pumpenwirkungsgraden bei einem System mit geschlossenem Flüssigkeitskreislauf (z. B. geregelt mit Drosselventil)	98
Bild 43 – Beispiel einer typischen Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie	98
Bild 44 – Drehzahl und Drehmoment für einen Anwendungszyklus mit mittlerer Dynamik (Beispiel)	100
Bild 45 – Drehzahl und Drehmoment für einen Anwendungszyklus mit hoher Dynamik (Beispiel)	101
Bild 46 – Grafische Darstellung von Leistung und Verlusten bei einer Anwendung mit mittlerer Dynamik	103
Bild 47 – Bezogene Verluste als Funktion des bezogenen Drehmoments, Stromrichterbetrieb	106
Bild 48 – Bezogene Verluste als Funktion der bezogenen Drehzahl, Stromrichterbetrieb	106
Bild 49 – Bestimmung der Verluste an einem Arbeitspunkt	107
Bild 50 – Segmente der Arbeitspunkte	125
Bild 51 – Zweidimensionale Interpolation	127
Bild 52 – Typische Standardunsicherheiten mit Normalverteilung bei den unterschiedlichen Verfahren zur Bestimmung der CDM-Verlustleistungen	133
Bild 53 – Aufbau für die einstufige Kalorimetermessung für die vergleichende Verlustmessung (CDM und Heizwiderstand werden gleichzeitig beansprucht)	135
Bild 54 – Aufbau für die zweistufige Kalorimetermessung für die vergleichende Verlustmessung (CDM und Heizwiderstand werden nicht gleichzeitig beansprucht)	136
Bild 55 – Aufbau für die Kalorimetermessung mit Flüssigkeitskühlung für die Messung der CDM- Verluste	136
Bild 56 – Bestimmung der IE-Klassifikation für CDM und Bestimmung der Verluste bei Teillast- Arbeitspunkten	137
Bild 57 – Bestimmung der IES-Klassifikation für PDS und Bestimmung der Verluste in Teillast- Arbeitspunkten	138

Tabellen

Tabelle 1 – Mandate der Europäischen Kommission, die an CEN, CENELEC und ETSI gegeben wurden und wie sie in den einzelnen Teilen in der Normungsarbeit des CLC TC22X WG6 umgesetzt werden	12
Tabelle 2 – Ströme der Prüflast an unterschiedlichen Arbeitspunkten.....	34
Tabelle 3 – Leistungsfaktor der Prüflast zwischen Grundswingungsausgangsstrom und Grundswingungsausgangsspannung an unterschiedlichen Arbeitspunkten.....	35
Tabelle 4 – Referenzparameter für Gleichung (6)	36
Tabelle 5 – Variablen für Gleichung (6)	36
Tabelle 6 – Referenzparameter für Gleichung (7)	36
Tabelle 7 – Referenzparameter für Gleichung (8)	37
Tabelle 8 – Referenzparameter für Gleichung (9)	38
Tabelle 9 – Referenzparameter für Gleichung (11)	39
Tabelle 10 – Variablen für Gleichung (11).....	39
Tabelle 11 – Referenzparameter für Gleichung	39
Tabelle 12 – Referenzparameter für Gleichung (13)	40
Tabelle 13 – Referenzparameter für Gleichung (14)	40
Tabelle 14 – Referenzparameter für Gleichung (17)	41
Tabelle 15 – Referenzparameter für Gleichung (15)	41
Tabelle 16 – Relative Verluste des 400-V/9,9-kVA-Referenz-CDM bei den in Bild 4 definierten Arbeitspunkten.....	42
Tabelle 16	45
Tabelle 17 – Verluste des Referenzmotors	47
Tabelle 17	48
Tabelle 18 – Relative Verluste des 400 V/7,5-kW-RPDS (RCDM und vierpoliger RM).....	49
Tabelle 19 – Verluste des Referenz-CDM für die Festlegung der IE-Klasse 1	52
Tabelle 20 – Definition von IES0 bis IES3 für PDS	54
Tabelle 21 – Verluste des Referenz-PDS für die Festlegung der IES1-Klasse	55
Tabelle 22 – Anforderungen an die Angaben.....	56
Tabelle 23 – Relative Verluste von 400-V-Referenz-CDM mit unterschiedlichen Bemessungsleistungen an den in Bild 4 beschriebenen Arbeitspunkten	67
Tabelle 24 – Relative Verluste (%) des vierpoligen 50-Hz-Referenzmotors (IE2) mit unterschiedlichen Bemessungsleistungen an den in Bild 3 beschriebenen Arbeitspunkten	68
Tabelle 25 – Relative Verluste (%) für ein Referenz-PDS, beruhend auf einem 400-V-RCDM und vierpoligen Referenzmotoren (IE2) mit unterschiedlichen Bemessungsleistungen an den in Bild 2 beschriebenen Arbeitspunkten.....	69
Tabelle 26 – Typische Werte für λ bei unterschiedlichen Topologien der Eingangsstromrichter	76
Tabelle 27 – Betriebsspiele der untersuchten Beispiele	87
Tabelle 28 – Verluste bei den festgelegten Arbeitspunkten der Konfiguration 1	87
Tabelle 29 – Verluste bei den festgelegten Arbeitspunkten der Konfiguration 2	87
Tabelle 30 – Parameter für einen Servomotor (Beispiel)	99

	Seite
Tabelle 31 – Koeffizienten für vierpolige (IE2-)Motoren als Funktion des relativen Drehmoments	108
Tabelle 32 – Koeffizienten für vierpolige (IE2-)Motoren-als Funktion der relativen Drehzahl	112
Tabelle 33 – Koeffizienten für zweipolige (IE2-)Motoren als Funktion des relativen Drehmoments.....	116
Tabelle 34 – Koeffizienten für zweipolige (IE2-)Motoren-als Funktion der relativen Drehzahl	121
Tabelle 35 – Relative Verluste eines 400 V/9,9 kVA-Beispiel-CDM an den festgelegten Arbeitspunkten	126
Tabelle 36 – Parameter des Beispiel-CDM	129
Tabelle 37 – Ergebnisse der CDM-Berechnung nach dem mathematischen Modell	130
Tabelle 38 – Vergleich der verschiedenen Verfahren zur Bewertung des Verlustes.....	130
Tabelle 39 – Verlustdaten des 7,5-kW-Referenzmotors	131

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee CENELEC/TC 22X „Power Electronics“ erarbeitet.

Dieses Dokument ist derzeit zur Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das CENELEC von der Europäischen Kommission und der Europäischen Freihandelszone erteilt wurde, und unterstützt grundlegende Anforderungen von EU-Richtlinien.

Die Working Group 6 des TC 22X ist die Arbeitsgruppe, die sich mit dem Mandat M/476 der Europäischen Kommission hinsichtlich der Normung für das Sachgebiet der drehzahlveränderbaren Antriebe und/oder Produkte für Antriebssysteme befasst und eng mit weiteren Technischen Komitees (d. h. CLC/TC 2, CLC/TC 17B, CEN TC 197) mit dem Ziel zusammenarbeitet, eine umfassende Norm für die Energieeffizienz und für Anforderungen an das Ökodesign zu erstellen.

Eckpunkte:

- Klare Anforderungen, wie eine energieeffizient angetriebene Einrichtung erreicht werden kann, indem ein Antriebssystem verwendet wird
- Anforderungen und Grenzwerte für IE-Klassen für leistungselektronische Umrichter
- Anforderungen und Grenzwerte für IES-Klassen für Antriebssysteme (PDS)
- Bestimmung der Verluste des Antriebssystems und Anforderungen an die Verbindung zur angetriebenen Einrichtung, um die Energieeffizienz-Klassifikation/Bewertung des erweiterten Produktes zu bestimmen
- Anforderungen, wie das umweltbewusste Design und die Umweltdeklaration des Antriebssystems erzielt werden kann

Die Working Group verfolgt mit diesem Schriftstück die Absicht, sobald es als Europäische Norm finalisiert ist, dieses im internationalen Konsens mit der IEC nach der UAP-Verfahrensübereinkunft zwischen CENELEC und IEC weiter zu bearbeiten.

Einleitung

Das Technische Komitee CENELEC/TC22X hatte ab 2010-03-31 für eine kurze Dauer das Schriftstück CLC/TC22X/Sec0100/DC einschließlich des Mandats M/476 der Europäischen Kommission hinsichtlich der Normung auf dem Sachgebiet der drehzahlsteuerbaren Antriebe und/oder Produkte für Antriebssysteme in Umlauf gegeben.

Da das Antriebssystem (en: Power Drive System – PDS) stromrichter gespeiste Motoren enthält, werden zusätzliche Anforderungen an die Messung der Energieeffizienz (energetischer Wirkungsgrad) dieser Motoren mit nichtsinusförmiger Versorgung und die Kennzeichnung für das gesamte PDS eingeschlossen. Damit werden die Anforderungen aus dem Mandat M/470 abgedeckt.

Dieses Schriftstück basiert auf einem Schriftstück der CENELEC Technical Board mit dem Kennzeichen BT137/DG8058/INF, in dem auch das Mandat der Europäischen Kommission enthalten ist.

Die Working Group 6 des TC 22X ist die Arbeitsgruppe für die Normung, die sich mit diesem Mandat befasst, und hat erwartet, dass eine enge Zusammenarbeit mit einigen anderen Technischen Komitees (d. h. CLC/TC2, CLC/TC 17B beschlossen werden sollte.

Deshalb hat CLC/TC 22X die Verantwortung für dieses Sachgebiet übernommen und die Normungsarbeiten begonnen, um alle Aspekte hinsichtlich der Energieeffizienz und der Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Leistungselektronik, Schaltanlagen und Antriebssystemen und deren industrielle Anwendungen abzuklären.

Die teilweise gegensätzlichen Anforderungen in diesem Aufgabenfeld sind in Bild 1 dargestellt. Die Arbeiten wurden abgestimmt, um auf diesem Gebiet ein angemessenes Ziel als besten Kompromiss zu erreichen.

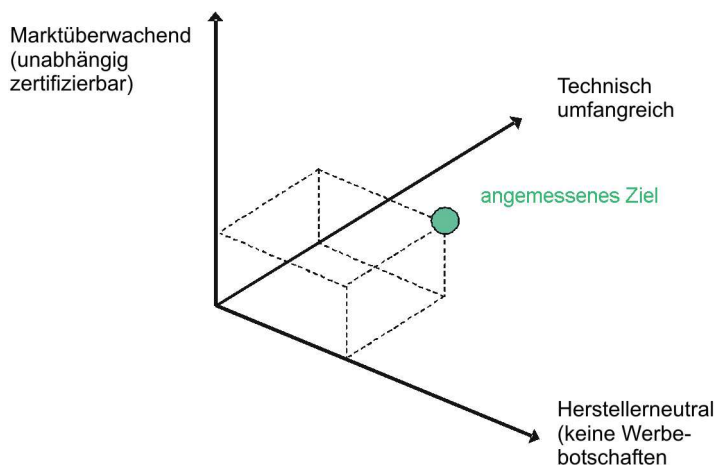


Bild 1 – Darstellung gegensätzlicher Anforderungen bei der Normung energieverbrauchsrelevanter Produkte (ErP)

EN 50598 wird unter den CENELEC-Projektnummern 24602 bis 24604 für die Übereinstimmung mit den Anforderungen aus dem horizontalen Mandat M/495 erarbeitet. EN 50598 wird mit dem Titel „Ökodesign für Antriebssysteme, Motorstarter, Leistungselektronik und deren Antriebsanwendungen“ mit den folgenden drei Teilen veröffentlicht:

Teil 1: Allgemeine Anforderungen an die Erstellung von Normen zur Energieeffizienz von Einrichtungen mit Elektroantrieb nach dem erweiterten Produktansatz (EPA) und semi-analytischen Modellen (SAM);

Teil 2: Indikatoren für die Energieeffizienz für Antriebssysteme und Motorstarter;

Teil 3: Quantitativer Ökodesign-Ansatz anhand der Ökobilanz einschließlich Produktkategorieregeln und des Inhalts von Umweltdeklarationen.

Diese Teile sehen gemeinsam die entsprechende Reihe von Normen vor, die auch die Mandate M/470, M/476, M/498 und M/500 bereits in Bezug auf das Mandat M/495 und die bevorstehenden Mandate für Normung von weiteren Antriebsanwendungen erfassen.

Tabelle 1 – Mandate der Europäischen Kommission, die an CEN, CENELEC und ETSI gegeben wurden und wie sie in den einzelnen Teilen in der Normungsarbeit des CLC TC22X WG6 umgesetzt werden

Mandate	Teil 1	Teil 2	Teil 3
M/470 Motoren		✓	✓
M/476 PDS		✓	✓
M/495 Horizontales Mandat für alle zukünftigen Anwendungen	✓	✓	✓
M/488 Klimageräte und Innenraumventilatoren	✓	✓	(✓)
M/498 Pumpen	✓	✓	(✓)
M/500 Kompressoren	✓	✓	(✓)

ANMERKUNG Getriebemotoren (Motor plus Getriebe) werden für die Effizienzklassen wie ein Antriebssystem (Stromrichter plus Motor) behandelt. Zur Bestimmung der Verluste von Getriebemotoren siehe IEC 60034-30-1. Die Effizienzklasse eines Getriebes ist in Beratung.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von EN 50598 legt die Anforderungen an Indikatoren für die Energieeffizienz von Antriebssystemen, Motorstartern, Leistungselektronik (z. B. vollständige Antriebsmodule, CDM) für Motorantriebsanwendungen im Leistungsbereich von 0,12 kW bis 1 000 kW fest.

Dieser Teil von EN 50598 legt die Methodik zur Bestimmung der Verluste des vollständigen Motorsystems, des Antriebssystems (PDS) und des CDM fest. Es werden IE- und IES-Klassen definiert sowie Grenzwerte und Prüfverfahren für die Klassifizierung oder die Gesamtverluste des Motorsystems angegeben.

In diesem Teil von EN 50598 wird außerdem eine Methodik zur Charakterisierung der zu realisierenden energieeffizientesten Lösung vorgeschlagen, welche sich nach der Architektur des Motorantriebssystems, dem Drehzahl/Last-Profil und den Belastungsprofilen der Anwendung richtet.

Die Struktur von EN 50598 umfasst:

- Angabe der Verluste eines genormten Referenz-PDS (RPDS) und des mathematischen Modells für dessen Berechnung;
- Angabe der Anforderungen an die Bestimmung der Verluste eines realen PDS und die Klassifizierung im Vergleich zum RPDS;
- Anforderungen an die Typprüfung und den Inhalt der Dokumentation für den Anwender;
- einige Darstellungen der Verluste in einem Gesamtsystem, die beispielhaft in den Anhängen angegeben werden;
- Angaben zum System und den Antriebstopologien, die in den Anhängen vorgestellt werden.

Die spezifischen Daten zu Verlusten und IE/IES-Klassen werden für einachsige Wechselstrom/Wechselstrom-Antriebssysteme für Niederspannung (100 V bis 1 000 V) mit Drehstrommotoren angegeben. Getriebemotoren müssen wie Standardmotoren behandelt werden.

In diesem Teil von EN 50598 wird keine Methodik für das Ökodesign für Umwelteinwirkungen festgelegt. Dies wird im Teil 3 dieser Normenreihe festgelegt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ANMERKUNG Da es von der Working Group vorgesehen ist, dieses Dokument nach seiner Fertigstellung als IEC-Norm weiter zu bearbeiten, werden einige normative Verweisungen auch für den Fall angegeben, dass keine harmonisierten europäischen Dokumente existieren.

IEC EN 60038^{N1)}, *IEC standard voltages*

IEC 60050, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*

IEC EN 60034-1, *Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance*

IEC EN 60034-2-1, *Rotating electrical machines – Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles)*

^{N1)} Nationale Fußnote: Die Notation IEC EN 6xxxx wird in diesem Dokument verwendet, um darauf hinzuweisen, dass die jeweilige Europäische Norm der IEC-Fassung entspricht. Eine Fassung mit der Bezeichnung „IEC EN“ existiert nicht.

IEC/TS 60034-2-3, *Rotating electrical machines – Part 2-3: Specific test methods for determining losses and efficiency of converter-fed AC motors*

IEC EN 60034-30-1, *Rotating electrical machines – Part 30-1: Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors (IE Code)*

IEC/TS 60034-31, *Rotating electrical machines – Part 31: Guide for the selection and application of energy-efficient motors including variable speed applications*

IEC EN 60072-1, *Dimensions and output series for rotating electrical machines – Part 1: Frame numbers 56 to 400 and flange numbers 55 to 1080*

IEC EN 60146-1-1, *Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters – Part 1-1: Specification of basic requirements*

IEC EN 60947-4-1, *Low voltage switchgear and Controlgear – Part 4-1: Contactors and motor starters*

IEC EN 60947-4-2, *Low voltage switchgear and Controlgear – Part 4-2: Contactors and motor starters – AC semiconductor motor controllers and starters*

IEC EN 61800-2, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 2: Rating specifications for low voltage adjustable frequency a.c. power drive systems*

IEC EN 61800-3, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 3: EMC requirements and specific test methods*

IEC/TS 62578, *Power electronics systems and equipment – Operations and characteristics of active infeed converter applications*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050(161) und die folgenden Begriffe.

3.1

Stromrichter mit netzseitig aktiv gesteuertem Eingang

AIC

(en: active infeed converter)

selbstkommutierende elektronische Stromrichter aller Technologien, Topologien, Spannungen und Größen, die zwischen dem Wechselstrom-Versorgungsnetz (Leitungen) und einer Quelle mit Gleichstrom- oder Gleichspannungseinprägung angeschlossen sind und die elektrische Leistung in beide Richtungen konvertieren (einspeisend oder rückspeisend) und die die Blindleistung oder den Leistungsfaktor regeln können (siehe IEC/TS 62578)

Anmerkung 1 zum Begriff Im IEV werden diese Begriffe (VSC und CSC) als Wechselstrom-Gleichstromumrichter mit Spannungseinprägung [551-12-03] und Wechselstrom-Gleichstromumrichter mit Stromeinprägung [551-12-04] definiert. Die meisten AICs sind bidirektionale Umrichter und haben Quellen auf der Gleichstromseite. Sie sind bekannt als Spannungszwischenkreisumrichter und Stromzwischenkreisumrichter.

3.2

c_{liquid}

spezifische Wärmekapazität einer Flüssigkeit

3.3

CDM

vollständiges Antriebsmodul nach IEC 61800-2. Bezeichnet den Wechselstrom-Wechselstromumrichter, der den Motor speist. Einige Länder benutzen auch den Begriff „Drive“ anstatt von CDM.

Manchmal wird auch der Begriff „Drive Controller“ dafür benutzt.

3.4

angetriebene Einrichtung

mechanisch mit der Motorwelle verbundenes Gerät

3.5

EEI

(en: **Energy Efficiency Index**)

Energieeffizienzindex (EEI) eines erweiterten Produktes (z. B. eines Pumpenaggregats). Je größer der EEI-Wert desto größer ist der Abstand zum „effizientesten Pumpenaggregat“. Je kleiner der EEI-Wert umso geringer sind die Verluste eines bestimmten Pumpenaggregats

3.6

E_D

Schaltverlustenergie einer Leistungsdiode je Volt und je Ampere

3.7

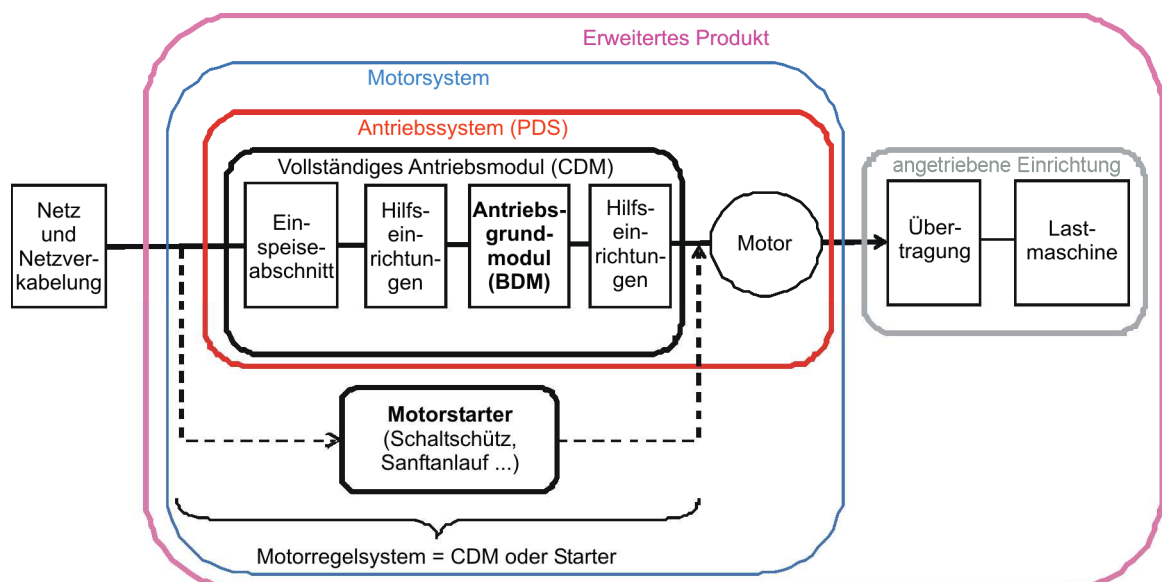
E_T

Schaltverlustenergie eines Leistungstransistors je Volt und je Ampere

3.8

erweitertes Produkt

EP



ein erweitertes Produkt ist die Kombination aus einem Motorsystem und einer angetriebenen Ausrüstung

3.9

f_{sw}

die Schaltfrequenz ist die Anzahl der Schaltereignisse eines Halbleiterbauelements innerhalb einer Sekunde. Sie bestimmt gemeinsam mit dem ausgewählten Pulsmuster und der Stromrichtertopologie die niedrigste Frequenz der nichtsteuerbaren Oberschwingungen oder Oberschwingungen mit nicht ganzzahliger Ordnung am IPC (en: in-plant point of coupling – de: anlageninterner Anschlusspunkt) oder am Motor

3.10

G_{dose}

Belastungsgrad (oder Betriebsgrad) einer Antriebsanwendung, dessen Wertebereich zwischen null und eins liegt (Überlastungen sind nicht berücksichtigt). Null entspricht einem vollständig gesperrtem Volumenstrom (Drosselventil ist geschlossen, Reibungsbremse ist voll angezogen) und eins entspricht einer Situation, bei der die Arbeitsmaschine mit Bemessungslast arbeitet (Volumenstrom oder vollständig geöffnetes Drosselventil, vollständig gelöste Reibungsbremse).

G_{dose} ist das Verhältnis zwischen dem Bemessungs-Arbeitspunkt einer Maschine und dem Ist-Arbeitspunkt in einem Prozess.

3.11

H

Förderhöhe der Pumpe ist die Höhe/der Druck, auf die eine Pumpe eine Flüssigkeit bei einem bestimmten Durchfluss fördern kann

3.12

H_{BEP}

Förderhöhe der Pumpe am Punkt des besten Pumpenwirkungsgrades

3.13

IE-Klasse

IE ist eine Abkürzung für „International Efficiency“, die für die Effizienzklassifizierung von Komponenten eines Motorsystems steht. Sie darf nicht mit dem so genannten Energieeffizienzindex (EEI) verwechselt werden, siehe 3.5

3.14

IES-Klasse

IES ist eine Abkürzung für „International Efficiency of Systems“, die für die Effizienzklassifizierung eines Motorsystems steht (z. B. ein PDS oder Getriebemotor). Sie darf nicht mit der so genannten IE-Klasse, siehe 3.13, oder mit der EEI-Klasse, siehe 3.5, verwechselt werden

3.15

$I_{\text{motor cable}}$

Strom im Motorkabel an einem Leistungsanschluss des PDS (siehe IEC EN 61800-2), der für die Berechnung der Schaltverluste verwendet wird. $I_{\text{motor cable}}$ repräsentiert einen kapazitiven Ableitstrom, der bei geschirmten Motorkabeln üblicherweise auftritt

3.16

$I_{1,r \text{ CDM}}$

Grundschwingung des Bemessungseingangsstroms des CDM oder des PDS

3.17

I_r

Bemessungseingangsstrom des CDM oder des PDS

3.18

I_{out}

Ausgangsstrom

3.19

$I_{r,\text{out}}$

Bemessungsausgangsstrom des CDM

3.20

I_{rM}

Bemessungsstrom des Motors

3.21

$k_{\text{DC_link}}^1$

lastunabhängige Verluste des Gleichspannungszwischenkreises des CDM je Bemessungs-Ampere und Volt zum Quadrat

3.22

$Z_{1\text{choke}}$

auf die Bemessungsimpedanz des Wechselrichters bezogene Impedanz der Drosselspule

3.23

$P_{\text{DC_link}}$

lastabhängige Verluste des Gleichspannungszwischenkreises des Wechselrichters je Ampere des Bemessungsstroms

3.24

$R_{2\text{choke}}$

auf die Impedanz der Drosselspule bezogener Längswiderstand der Drosselspule

3.25

$P_{\text{L,cooling}}$

von der Kühleinrichtung eines CDM (z. B. Lüfterverluste) erzeugte Leistungsverluste, die auf die Verluste des Antriebsgrundmoduls (siehe IEC EN 61800-2) bezogen werden, wenn das CDM gesondert zu kühlen ist

3.26

m

Modulationsindex, Verhältnis der CDM-Ausgangsfrequenz zum Nennwert der Ständerfrequenz des Motors

3.27

Motorsystem

ein Motorsystem ist entweder ein PDS oder ein Motor, der mit einem Motorstarter nach IEC 60947-4-1 an das Netz angeschlossen ist

3.28

n_i

Drehzahl (U/min) im Arbeitspunkt i

3.29

n_r

Bemessungsdrehzahl (U/min)

3.30

PDS

Antriebssystem nach IEC 61800-2

3.31

Pulsmuster

Muster der geschalteten Spannungen oder Ströme, das an den Anschlussklemmen des Stromrichters messbar ist, und welches sich aus der Pulsfrequenz und dem angewendeten Modulationsverfahren ergibt

3.32

$P_{\text{Application}}$

zeitlich gewichtete mittlere Leistungsaufnahme (in kW) einer Anwendung

3.33

$P_{\text{Application Max}}$

Leistungsaufnahme (in kW) bei 100 % der Drehzahl und 100 % der Last

3.34

P_i

Leistungsaufnahme (in kW) im Arbeitspunkt i

3.35

$P_{\text{in,CDM}}$

Eingangsleistung des CDM, die bei der Messung der Verlustleistung erhalten wird

3.36

$P_{\text{in,PDS}}$

Eingangsleistung des PDS, die bei der Messung der Verlustleistung erhalten wird

3.37

$P_{\text{L,control}}$

Verlustleistung der Steuerung

3.38

P_{Lfe}

Eisenverluste eines Motors (siehe EN 60034-2-1)

3.39

P_{Lfw}

Reibungs- und Ventilationsverluste eines Motors (siehe EN 60034-2-1)

3.40

P_{LHL}

zusätzliche Oberschwingungsverluste eines Motors, die von nichtsinusförmiger Stromversorgung hervorgerufen werden (siehe EN/TS 60034-2-3)

3.41

P_{LL}

lastabhängige Zusatzverluste eines Motors (siehe EN 60034-2-1)

3.42

P_{LR}

Läuferverluste eines Motors (siehe EN 60034-2-1)

3.43

P_{LS}

Ständerwicklungsverluste eines Motors (siehe EN 60034-2-1)

3.44

P_{LTsin}

Gesamtverluste eines Motors nach EN 60034-2-1 (2. Ausgabe), Verfahren 2-1-1B bei sinusförmiger Stromversorgung

3.45

$P_{\text{LT,Mot}}$

Gesamtverluste eines Motors nach EN 60034-2-1 (2. Ausgabe), Verfahren 2-1-1B bei Versorgung durch einen Stromrichter (nichtsinsusförmige Stromversorgung)

3.46

P_{n}

Nennleistung der Einrichtung, die für deren Gesamtheit mit der gleichen Bemessung verwendet wird (zu Motoren siehe IEC 60034-30)

3.47

P_{N}

Bemessungsausgangsleistung eines Motors (siehe EN 60034-30)

3.48

$P_{\text{out,CDM}}$

Ausgangsleistung des CDM, die bei der Messung der Verlustleistung erhalten wird

3.49

$P_{\text{out,PDS}}$

Ausgangsleistung des PDS, die bei der Messung der Verlustleistung erhalten wird

3.50

P_r

vom Hersteller zugeordnete Bemessungsleistung der Einrichtung

3.51

P_{proc}

Leistungsbedarf der mechanischen oder fluidmechanischen Prozesse

3.52

P_L

elektrische Verlustleistung mit dem Index CDM gelten für das vollständige Antriebsmodul, Mot gelten für den Motor, Aux gelten für die Hilfseinrichtungen, wie Kabel, Transformatoren oder Filter

3.53

p_L

die bezogenen (relativen) Verlustleistungen sind die Verluste bezogen auf die Nennleistung des Geräts

3.54

$P_{L,\text{CDM}}$

Verlustleistung eines CDM

3.55

$P_{L,\text{CDM,determined}}$

Verlustleistung eines CDM nach dem Verfahren der Verlustleistungsbestimmung

3.56

$p_{L,\text{CDM}}$

relative Verlustleistung des CDM, bezogen auf seine Bemessungsscheinleistung

3.57

$P_{L,\text{choke}}$

Verlustleistung in der Drossel eines CDM

3.58

$P_{L,\text{control}}$

Verlustleistung in der Steuereinheit eines CDM

3.59

$P_{L,\text{DC_link}}$

Verlustleistung im Abschnitt des Gleichspannungszwischenkreises des CDM

3.60

$P_{L,\text{inverter}}$

Verlustleistung im Wechselrichter eines CDM

3.61

$P_{L,\text{PDS,determined}}$

Verlustleistung eines PDS nach dem Verfahren der Verlustleistungsbestimmung

3.62

$P_{L,rectifier}$

Verlustleistung im Gleichrichter eines CDM

3.63

$P_{L,resistor}$

nach dem vergleichenden kalorimetrischen Verfahren gemessene Verlustleistung des Widerstandes

3.64

$P_{L,on,D}$

Durchlassverlustleistung einer Leistungsdiode

3.65

$P_{L,on,D,rectifier}$

Durchlassverlustleistung einer Gleichrichterdiode

3.66

$P_{L,on,T}$

Durchlassverlustleistung eines Leistungstransistors

3.67

$P_{L,sw,D}$

Schaltverlustleistung einer Leistungsdiode

3.68

$P_{L,sw,T}$

Schaltverlustleistung eines Leistungstransistors

3.69

$P_{r,M}$

Bemessungsleistung eines Motors

3.70

P_{Lstby}

Standby-Verluste werden erzeugt, wenn das PDS eingeschaltet ist, jedoch keinen Strom für die Last bereitstellt. Diese Verluste liegen im Regelfall zwei bis drei Größenordnungen unter den Verlusten während des Betriebes. Ihr Einfluss auf die Gesamtverluste hängt stark vom Belastungsprofil des erweiterten Produktes ab. Darüber hinaus sind sie auch von den Anforderungen an die Anwendung in Bezug auf Aufwachzeit und Kommunikation abhängig

3.71

Q

Förderstrom einer Pumpeneinheit

3.72

Q_{BEP}

Förderstrom der Pumpe am Punkt des besten Pumpenwirkungsgrades

3.73

Q_{cooler}

volumetrischer Förderstrom des Kühlers im Kalorimeter

3.74

Referenz-CDM

RCDM

die Verluste eines einzelnen CDM werden im Vergleich zu den Verlusten des RCDM bewertet

3.75

Referenzmotor

RM

die Verluste eines einzelnen Motors werden im Vergleich zu den Verlusten des RM bewertet

3.76

r_{HL}

Verhältnis der zusätzlichen Oberschwingungsverluste zu den Verlusten bei sinusförmiger Versorgung eines Motors

3.77

Referenz-PDS

RPDS

die Verluste eines einzelnen PDS werden im Vergleich zu den Verlusten des RPDS bewertet

3.78

Einachsen-AC/AC-CDM

meint ein CDM, das nur einen Motor speist. Achse bezieht sich in diesem Fall auf die mechanische Abtriebswelle des Motors

3.79

s_i

Standardabweichung eines einzelnen Faktors einer Funktion

3.80

$S_{r, equ}$

Bemessungsscheinleistung eines Gerätes

3.81

s_y

Standardabweichung der Funktion y

3.82

T

Drehmoment eines Motors

3.83

Prüflast

künstliche Schaltung, die den Ausgangsstrom I_{out} und Grundswingungs-Leistungsfaktor $\cos\Phi$ eines CDM für Prüf- oder Berechnungszwecke regelt

3.84

t_w

Betriebszeit eines Gerätes

3.85

T_i

Drehmoment (in Nm) im Arbeitspunkt i

3.86

Zeitabschnitt_i

prozentualer Anteil der Zeit, in dem eine Anwendung in einem bestimmten Arbeitspunkt i betrieben wird

3.87

$U_{1,r,out}$

Grundswingungsbemessungswert der verketteten Ausgangsspannung eines CDM. Für das Referenz-CDM wird dieser Wert mit 400 V angenommen, sofern nicht anders angegeben

3.88

U_{DC}

Zwischenkreisspannung eines CDM

3.89

$U_{D,r}$

Durchlassspannung einer Leistungsdiode bei Bemessungsstrom des CDM

3.90

$U_{D,r,rectifier}$

Durchlassspannung einer Gleichrichterdiode bei Bemessungsstrom des CDM

3.91

$U_{D,th}$

Schwellenspannung einer Leistungsdiode

3.92

$U_{D,th,rectifier}$

Schwellenspannung einer Gleichrichterdiode

3.93

U_{mL1}

Strangspannung eines Stromversorgungssystems in der Phase L1

3.94

$U_{T,r}$

Durchlassspannung eines Leistungstransistors bei Bemessungsstrom des CDM

3.95

$U_{T,th}$

Schwellenspannung eines Leistungstransistors

3.96

W_W

elektrischer Energiebedarf eines erweiterten Produktes während dessen Betriebszeit

3.97

x_i

Faktor der Funktion

3.98

λ

Leistungsfaktor von Geräteeingangsstrom und -spannung: $\lambda = P_{equ}/S_{r,equ}$

3.99

η_{Appl}

Wirkungsgrad einer Anwendung, d. h. des erweiterten Produktes wie beispielsweise einer Pumpe

3.100

η_{Aux}

Produkt der Wirkungsgrade der zusammengefassten Hilfseinrichtungen eines Motorsystems

3.101

$\eta_{Machine}$

Wirkungsgrad eines erweiterten Produktes in einem bestimmten Arbeitspunkt

3.102

η_{Mat}

Wirkungsgrad eines Prozesses der Materialhandhabung, z. B. das von einer Pumpeneinheit bewegte hydraulische Volumen

3.103

η_{nMotor}

nominaler Wirkungsgrad einer drehenden elektrischen Maschine (siehe IEC 60034-30-1)

Zusammen mit einem Sternchen * wird in dem Beispiel im Anhang angegeben, dass der Wirkungsgrad dieses Wertes aufgrund der Stromrichterspeisungsart abweichen kann

3.104

η_{cable}

Wirkungsgrad eines Kabels

3.105

η_{CDM}

Wirkungsgrad eines vollständigen Antriebsmoduls

3.106

η_{ACI}

Wirkungsgrad einer Kühleinrichtung. Angenommener typischer Wert $\eta_{\text{ACI}} = 0,75$

3.107

η_{mains}

Wirkungsgrad eines Stromversorgungssystems

3.108

η_{PDS}

Wirkungsgrad eines Antriebssystems (siehe IEC 61800-2)

3.109

η_{Pump}

Wirkungsgrad einer Pumpe (z. B. in Abhängigkeit vom Belastungsgrad $Q/Q_{\text{BEP}} = G_{\text{Dose}}$)

3.110

η_{Switch}

Wirkungsgrad eines Schalt- oder Steuergeräts

3.111

η_{Transf}

Wirkungsgrad eines Transformators einschließlich Schalt- und/oder Steuergerät

3.112

$\Delta p_{\text{L,CDM}}$

Unsicherheit (in %) des Verfahrens zur Bestimmung der Verlustleistung von CDM

3.113

$\Delta P_{\text{L,CDM}}$

Unsicherheit (in W) des Verfahrens zur Bestimmung der Verlustleistung von CDM

3.114

$\Delta p_{\text{L,PDS}}$

Unsicherheit (in %) des Verfahrens zur Bestimmung der Verlustleistung von PDS

3.115

$\Delta P_{L,PDS}$

Unsicherheit (in W) des Verfahrens zur Bestimmung der Verlustleistung von PDS

3.116

ρ_{liquid}

Dichte der Kühlflüssigkeit

3.117

θ_{in}

Eingangstemperatur des Kühlmediums (Luft, Flüssigkeit) bei der kalorimetrischen Messung

3.118

θ_{inside}

Temperatur der Kühlluft zwischen zwei Kammern bei der kalorimetrischen Messung

3.119

θ_{out}

Ausgangstemperatur des Kühlmediums (Luft, Flüssigkeit) bei der kalorimetrischen Messung

3.120

φ

Phasenwinkel zwischen der Grundschiwingung der Eingangsspannung des CDM und der Grundschiwingung des Eingangsstroms des CDM

3.121

Φ

Phasenwinkel zwischen der Grundschiwingung der Ausgangsspannung des CDM und der Grundschiwingung des Ausgangsstroms des CDM

3.122

Φ_r

Phasenwinkel zwischen der Grundschiwingung der Ausgangsspannung des CDM und der Grundschiwingung des Ausgangsstroms des CDM bei Bemessungsdrehmoment und -drehzahl

4 Definition von Referenz-PDS (RPDS), Referenz-CDM (RCDM) und Referenzmotor (RM)

4.1 Allgemeines

Für eine Klassifizierung unterschiedlicher Antriebstechnologien einer Maschine wird ein erweiterter Ansatz für die Beschreibung der verlustleistungsrelevanten Parameter der angetriebenen Einrichtung oder des so genannten „erweiterten Produktes“ eingeführt, um die effizienteste Lösung für diesen Zweck zu rechtfertigen.

Um dies in einer geeigneten und genormten Weise auszuführen, wird das Konzept des so genannten „Referenz-PDS (RPDS)“ eingeführt. Das genormte RPDS, welches aus einem Referenz-CDM (RCDM) und einem stromrichter gespeisten Referenzmotor (RM) besteht, lässt den Vergleich der Energieaufnahme eines PDS durchschnittlicher Technologie zu.

Diese Definition ist damit unabhängig von einem spezifischen Produkt eines spezifischen Herstellers und gestattet:

- die Klassifizierung realisierter PDS im Vergleich zum RPDS;
- die Klassifizierung des CDM oder des stromrichter gespeisten Motors als Produkte unabhängig voneinander;
- die Festlegung von Grenzwerten für diese Klassifizierungen;

- die Bestimmung nur einiger geeigneter Messpunkte oder Berechnungsergebnisse, um den Energieverbrauch unterschiedlicher Antriebsanwendungen zu entwickeln;
- die Festlegung der energierelevanten Eingangswerte für die Klassifizierung der unterschiedlichen Antriebsanwendungen.

Die Verluste des Referenzantriebssystems sind sowohl für die Bewertung von Geräten mit einer von 400 V abweichenden Bemessungsspannung und anderen als 4-poligen Motoren anzuwenden.

4.2 Festlegung der Verlustpunkte in Abhängigkeit von Drehzahl und Drehmoment eines RPDS, eines RCDM, eines RM und zugehörige Verlustleistungen

Alle angetriebenen Einrichtungen können durch ihre Antriebsleistung beschrieben werden, die aufgrund des physikalischen Verhaltens der Maschine/Anwendung erforderlich ist. Die Leistungsanforderungen sind das Produkt aus Drehmoment und Drehzahl in allen beliebigen Arbeitspunkten. In jedem Arbeitspunkt gibt es eine zugehörige Verlustleistung im Motorsystem.

Das gesamte Diagramm (siehe Bild 2) enthält eine unendliche Anzahl von Arbeitspunkten. Die festgelegte Anzahl der Arbeitspunkte ist auf die in Bild 2 dargestellten acht Punkte begrenzt, um den Umfang der Beschreibung einzuschränken.

Bei Arbeitspunkten mit Drehzahlen größer als null werden die Verluste als prozentuale Anteile der mechanischen Ausgangsleistung angegeben. In anderen Beschreibungen werden die Bemessungswirkungsgrade (η) als prozentualer Anteil des Bemessungswertes der mechanischen Ausgangsleistung zur erforderlichen elektrischen Eingangsleistung (einschließlich der Verluste) angegeben.

In dieser Norm werden die auf die Nennleistung des Antriebssystems (p in %) bezogenen Verlustleistungen anstelle des Wirkungsgrades betrachtet. Diese Vorgehensweise ist notwendig, um die Allgemeinheit des erweiterten Produktansatzes zu sichern.

Es gibt angetriebene Einrichtungen, bei denen ein bestimmtes Drehmoment bei Stillstand gefordert wird und der Wirkungsgrad zur weiteren Verwendung im erweiterten Produktansatz nicht geeignet wäre.

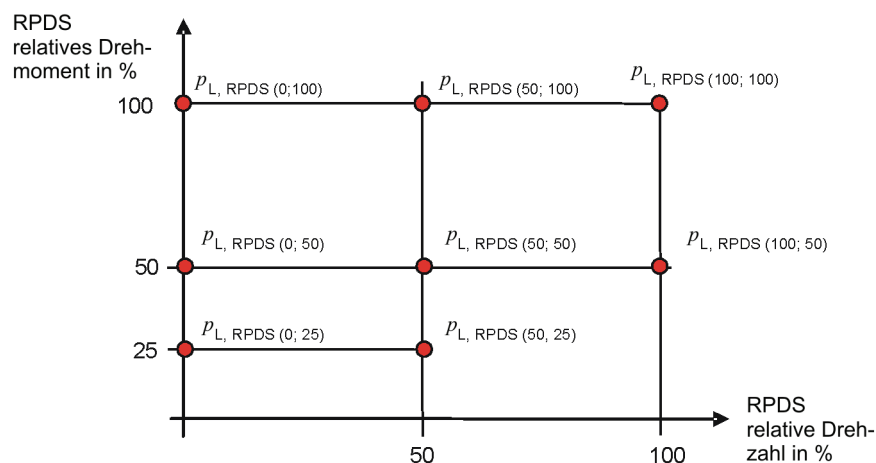


Bild 2 – Darstellung der Arbeitspunkte für die Drehzahl in Abhängigkeit vom Drehmoment zur Bestimmung der relativen Verlustleistungen des Antriebssystems (RPDS)

Wie definiert müssen die absoluten Verluste des RPDS die Summe aus den RCDM-Verlusten plus den RM-Verlusten sein. Deshalb müssen diese Verluste Punkt für Punkt aus den Verlustpunkten aus Bild 3 und Bild 4 mit der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$P_{L,RPDS} = P_{L,RM} + P_{L,RCDM} \quad (1)$$

Die relativen Verluste des RPDS werden aus den relativen Verlusten des RCDM und des RM wie folgt berechnet:

$$p_{L,RPDS} = \frac{p_{L,RM} \cdot P_{r,RM} + p_{L,RCDM} \cdot S_{r,RCDM}}{P_{r,RM}} \quad (2)$$

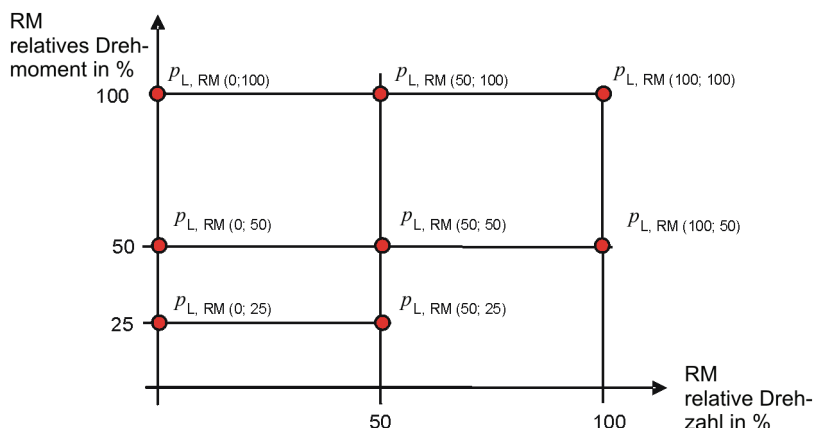


Bild 3 – Darstellung der Arbeitspunkte für die Drehzahl in Abhängigkeit vom Drehmoment zur Bestimmung der relativen Verlustleistung des Referenzmotors (RM)

Die Verlustpunkte des Referenz-CDM (RCDM) können nicht als prozentualer Wert von Drehzahl, Drehmoment der entsprechenden Bemessungswerte angegeben werden, weil das CDM nur Ströme und Spannungen am Ausgang erzeugt. Außerdem muss die Ausgangsspannung auf 90 % begrenzt werden, um Übermodulationstechniken für einen aussagekräftigen Vergleich zu vermeiden.

ANMERKUNG 1 Die RCDM-Verluste bei 90 % der Ausgangsspannung ähneln sehr stark den RCDM-Verlusten bei 100 % der Ausgangsspannung (Wechselrichterverluste sind geringfügig höher, während die Gleichrichterverluste etwas geringer sind) und können demzufolge zur Berechnung der RCDM-Verluste bei einer Drehzahl von 100 % verwendet werden.

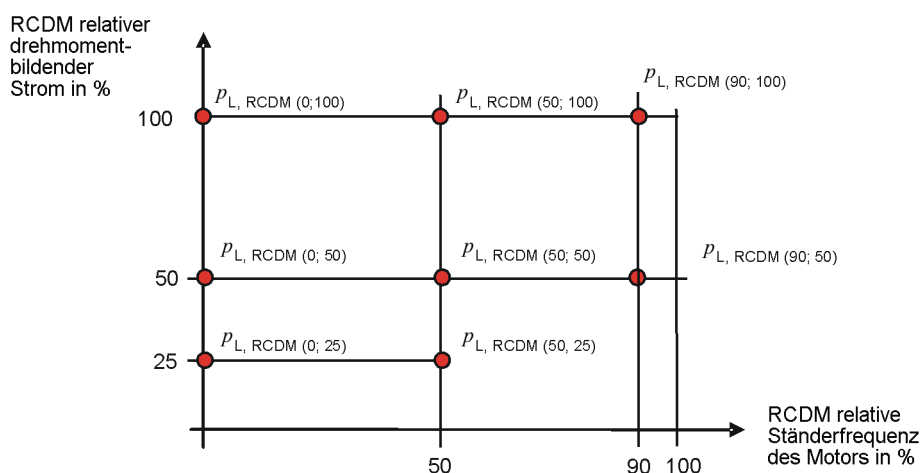


Bild 4 – Darstellung der bezogenen Verlustleistungs-Arbeitspunkte des RCDM, die vom relativen drehmomentbildenden Strom und der relativen Ständerfrequenz (*) des Motors abhängen, für die Bestimmung der RCDM-Verluste

Bei einem Asynchronmotor ist der drehmomentbildende Strom der Läuferstrom.

ANMERKUNG 2 Aus physikalischen Gründen erfordern die dargestellten Arbeitspunkte auf der y-Achse in Bild 4 $p_{L,RCDM}(0,n)$ einen Anteil der Ausgangsspannung größer als null, damit es zu einem Stromfluss durch die widerstandsbefahenen Wicklungen des Motors kommt.

Die Verluste für die dazwischen liegenden Arbeitspunkte können gegebenenfalls nach einem der Berechnungsmodelle bestimmt werden, die in Anhang H, H.2.1, vorgestellt werden.

Für die Bestimmung der relativen Verluste eines CDM in einem beliebigen Arbeitspunkt ist eines der folgenden Berechnungsmodelle anzuwenden:

- a) maximale Verluste in angrenzenden festgelegten Verlustpunkten;
- b) zweidimensionale lineare Interpolation zwischen angrenzenden Verlustpunkten;
- c) Berechnung der Verluste nach dem in 5.1 beschriebenen mathematischen Modell.

Eine Abweichung der Ständerfrequenz bis zum Bemessungsschlupf ist zulässig.

4.3 Verknüpfung der PDS-Verluste mit der angetriebenen Einrichtung

4.3.1 Arbeitsablauf für das so genannte semi-analytische Modell (SAM)

Das Modell für die Bestimmung der Verluste oder des Energieeffizienzindex eines Motorsystems oder einer angetriebenen Einrichtung wird als „semi-analytisches Modell (SAM)“ bezeichnet, welches physikalische und mathematische Parameter und Berechnungsalgorithmen von Teilen eines EP enthält.

Der Arbeitsablauf und die Verantwortlichkeiten für die Bestimmung der Effizienzklassifizierung eines erweiterten Produktes werden in Bild 5 dargestellt.

Darin wird auch gezeigt, wie das SAM des PDS (linke Seite) mit dem SAM der angetriebenen Einrichtung (rechte Seite) zu verbinden ist. Die Verbindung zwischen den beiden semi-analytischen Modellen müssen die Lastverlustpunkte des PDS und deren zugehörige Toleranzen sein. Die tatsächlich geforderten Arbeitspunkte müssen vom semi-analytischen Modell der angetriebenen Ausrüstung gefordert werden.

Beispielsweise sind bei einigen Pumpenaggregaten oder weiteren so genannten „Anwendungen mit quadratisch abhängigem Drehmoment“ die relativen Verluste oder die Eingangsleistungen P_1 der Punkte $p_{L,PDS(50;25)}$, $p_{L,PDS(100;50)}$ und $p_{L,PDS(100;100)}$ erforderlich, um die Verluste des eingebauten Motorsystems zu berechnen und die zulässigen Toleranzen der Verluste betragen $\pm 10\%$ der Verluste in jedem Arbeitspunkt.

Bei Hebeeinrichtungen und weiteren so genannten „Anwendungen mit konstantem Drehmoment“ sind zusätzlich die Punkte $p_{L,PDS(0;25)}$, $p_{L,PDS(0;50)}$ und $p_{L,PDS(0;100)}$ erforderlich, damit die Verluste des eingebauten Motorsystems bestimmt werden können.

Die PDS-Daten mit den PDS-Verlusten nach Bild 2 (linke Seite von Bild 5) werden in dieser Norm festgelegt, während die semi-analytischen Modelle für den Energieverbrauch der PDS-Antriebsanwendungen (rechte Seite von Bild 5) von den entsprechenden Produktkomitees nach dem gleichen Ansatz erarbeitet werden müssen. In 4.3.2 wird ein Beispiel für Pumpenaggregate mit PDS-Antrieb vorgestellt. In Bild 6 ist dargestellt, wie die unterschiedlichen Datenquellen zusammenzuführen sind.

Es liegt im Verantwortungsbereich der technischen Komitees, die öffentlich zugänglichen SAMs für deren Anwendung bei spezifischen Anwendungen zu normen.



Anmerkung: Motor- und CDM-Hersteller können dem Hersteller des Motorsystems die Daten direkt bereitstellen

Anmerkung: Wenn das Motorsystem auf einem Starter beruht, dann sind für den EPA als Eingangsgröße nur die Motorverluste erforderlich

Hersteller des Motors

Verluste bei genormten Arbeitspunkten

Hersteller des erweiterten Produkts

Kennwerte des Motorsystems
Kennwerte der Lastmaschine

CDM-Hersteller

Normungskomitee für das erweiterte Produkt

Norm für das erweiterte Produkt
legt genormte Anwendungen und EEI-Bewertungsverfahren fest

EEI des physikalisch erweiterten Produkts
in den genormten Anwendungen

Standards:

- EN 5xxxx-1 standard: Allgemeines Verfahren für SAM und EPA
- EN 5xxxx-2 standard: Für die Verbindung einzelner Motor- und Regelsysteme
- EN 5xxxx-2 standard: Zur Bestimmung der Verluste bei Speisung durch CDM; Verwendung von Prüf-CDM und/oder vorgesehene Annäherung (5.2.2)

Prozessschritte:

- Hersteller des Motors liefert Daten an Hersteller des erweiterten Produkts.
- Hersteller des erweiterten Produkts liefert Daten an Normungskomitee.
- Normungskomitee entwickelt Norm für das erweiterte Produkt.
- Hersteller des Motors und CDM-Hersteller liefern Daten an Hersteller des erweiterten Produkts.
- Hersteller des erweiterten Produkts verwendet Norm für das erweiterte Produkt zur Bestimmung der EEI.

28

4.3.2 Geforderte Arbeitspunkte für die Bestimmung der Verluste eines Pumpenaggregats

Im Falle von Pumpenaggregaten und anderen Maschinen mit Förderstrom folgt die Kennlinie (Steuerkurve) des geforderten Drehmoments in Abhängigkeit von der Drehzahl der Maschine im Normalfall einer Parabelform.

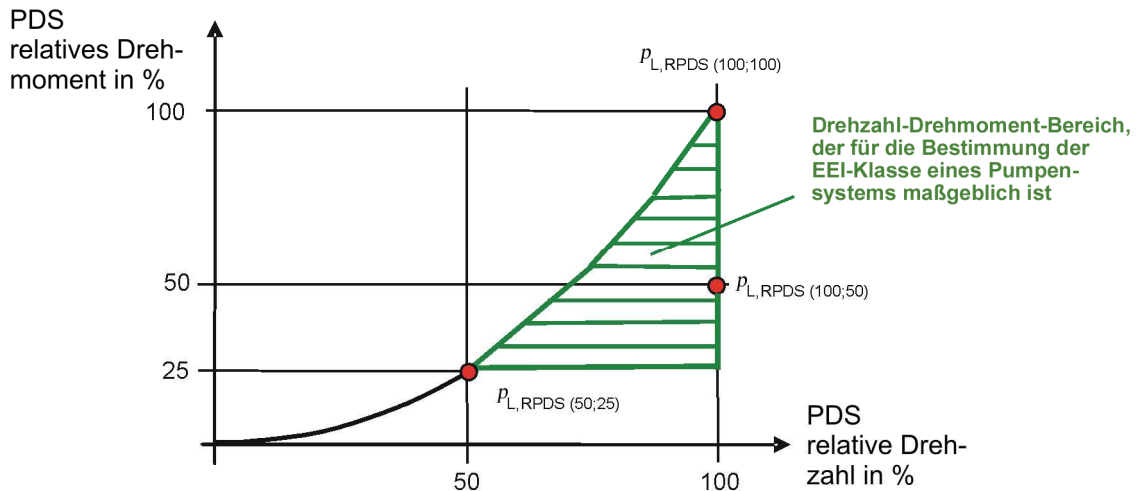


Bild 7 – Drei Punkte der relativen Verluste und die schraffierte und von den Pumpenherstellern bei der Festlegung des Energieeffizienzindex zu untersuchende Fläche

Mit den elektrischen Verlustleistungen der drei Punkte $P_{L,PDS}(50;25)$, $P_{L,PDS}(100;50)$ und $P_{L,PDS}(100;100)$ sowie mit den elektrischen Verlustleistungen der dazwischenliegenden schraffierten Fläche muss es den Pumpenherstellern möglich sein, die Gesamtverluste oder den Gesamtwirkungsgrad eines beliebigen Pumpenaggregats zu bestimmen.

Eine begrenzte Anzahl von Arbeitspunkten ist in diesem Fall ausreichend, da andere Arbeitspunkte durch Interpolation zu berechnen sind.

ANMERKUNG 1 Die Beschreibung des Verlustwertes innerhalb der schraffierten Fläche ist in geeigneter Weise mit einer zulässigen Toleranz von $\pm 10\%$ anzugeben, weil diese Toleranz den EEI-Wert des Pumpenaggregates nicht wesentlich beeinflusst. Andererseits lässt diese Toleranz die Normung und Klassifizierung des RPDS für diesen Zweck zu.

Die elektrischen Verlustleistungen des PDS am Punkt Drehzahl = 50 % und Drehmoment = 25 % ist die berechnete Summe der Verlustleistungen aller seiner Komponenten, einschließlich des Einspeisetransformators, wenn er nur zur Versorgung dieses PDS und aller seiner Hilfskomponenten, wie Filter oder Kabel, bestimmt ist.

$$P_{L,PDS}(50,25) = P_{L,CDM}(50,25) + P_{L,Aux}(50,25) + P_{L,Mot}(50,25) \quad (3)$$

$(P_{L,CDM} + P_{L,Aux})$ führen zu Verlustleistungen eines vollständigen Referenz-CDM gemeinsam mit den Hilfseinrichtungen, wie Filterung oder AIC (als ein alternativer Gleichrichtertyp), mit einer vereinbarten zulässigen Toleranz von $\pm 10\%$. Dazu sind die am meisten beeinflussenden Betriebsparameter für die Verluste erforderlich.

ANMERKUNG 2 Das „Referenz-CDM (RCDM)“ braucht kein auf dem Markt verfügbares Produkt zu sein oder kann ein allgemein verfügbares Produkt aller einschlägigen Herstellern sein.

$P_{L,Mot}$ beschreibt die Verluste eines stromrichter gespeisten „Referenzmotors“ nach den Bestimmungsverfahren in IEC 60034-2-3 einschließlich zusätzlicher Oberschwingungsverluste bei $f_{sw} = 4 \text{ kHz}$ (Bemessungsleistung bis 90 kW) oder $f_{sw} = 2 \text{ kHz}$ (Bemessungsleistungen über 90 kW).

$$P_{L,Mot} = P_{\text{Fundamental}}(T, f_{sw}) + P_{\text{Harmonic}}(n, T, f_{sw}).$$

ANMERKUNG 3 Der „Referenzmotor (RM)“ braucht kein auf dem Markt verfügbares Produkt zu sein oder kann ein allgemein verfügbares Produkt aller einschlägigen Herstellern sein.

4.4 Definition der IES-Klassen unter Verwendung des RPDS

Die absoluten Verlustleistungen eines RPDS sind die Summe der Verlustleistungen von RCDM und dem RM. Eine qualitative Skizze für die relativen Verluste ist in Bild 8 dargestellt. Der Bezug ist stets die Nennausgangsleistung des PDS.

Die Oberschwingungsverluste im stromrichter gespeisten Motor können die relativen Verluste von 50 Hz Netzspeisung bis zu 20 % ansteigen lassen und das CDM trägt etwa nur zu einem Viertel der relativen Verluste des PDS bei.

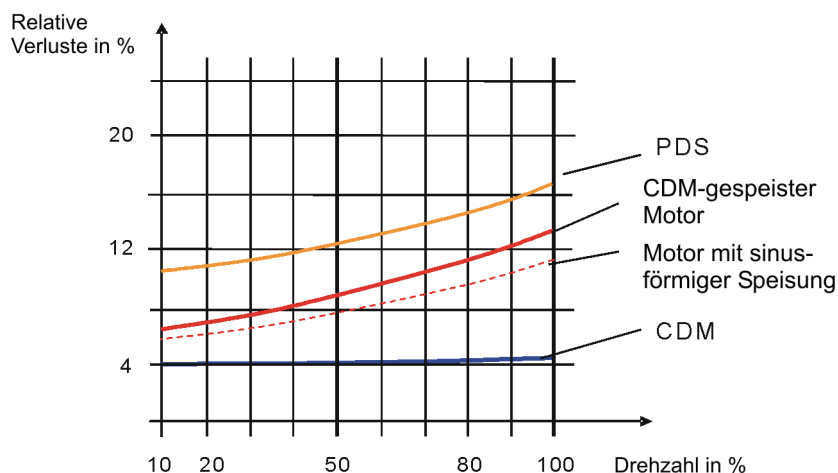


Bild 8 – Qualitativ vereinfachte Darstellung der relativen Verlustleistungen als Funktion der Drehzahl in einem RPDS

4.5 IE-Klassen eines netzgespeisten Motors (IE1 bis IE9)

Die IE-Klassen für das Gerät „netzgespeister Motor“ sind als IE1 bis IE4 (oder bzw. IE5) nach IEC 60034-30-1 definiert. Der Bereich IE5 bis IE9 wird gegenwärtig nicht genutzt und ist in Beratung.

Es wird angenommen, dass die neuen Klassen IE1 bis IE9 ausreichend sind, die zukünftigen Effizienzklassen von netzgespeisten Motoren zu erfassen.

4.6 IE-Klassen eines stromrichter gespeisten Motors (IE1 bis IE9)

Nach IEC TS 60034-2-3 werden die Oberschwingungsverluste zu einem höheren Wert der relativen Verluste (etwa 15 % bis 25 %) im Motor beitragen.

Die IE-Klassen für Motoren, die von Stromrichtern angetrieben werden, sind in Beratung, müssen allerdings auch in derselben Zählweise mit IE und nur einer nachfolgenden Ziffer definiert werden.

Für die Prüfung der IE-Klasse eines stromrichter angetriebenen Motors ist der Prüf-Stromrichter (Prüf-CDM) zu verwenden.

Die Schaltfrequenzen des Prüf-Stromrichters sowie weitere genormte Parameter werden in Abschnitt 5 angegeben.

Wenn der Motor nicht für die Versorgung aus dem Netz ausgelegt ist, müssen dessen Gesamtverluste bei Nennleistung als eine IE-Klasse angegeben werden.

4.7 IE-Klassen eines Stromrichters (vollständiges Antriebsmodul, CDM) (IE0 bis IE9)

Das Referenz-CDM muss mit der Effizienzklasse „IE1“ festgelegt werden.

Um die Effizienzklasse des CDM ohne Berücksichtigung des gesamten hierdurch entstehenden PDS festzulegen und um den technologischen Einfluss der wesentlichsten Parameter darzustellen, muss die sogenannte „Prüflast“ als eine definierte Einheit verwendet werden.

Aufgrund der Erläuterungen in 4.2 ist es notwendig, auf die relativen Verluste $p_{LCDM(x;y)} = P_{L,CDM(x;y)} / S_{r,CDMP(90;100)}$ anstelle des Nennwirkungsgrades η zu wechseln. Die relativen Verluste des CDM können sich als Funktion von Drehzahl und Drehmoment der Antriebsanwendung ändern.

Der Arbeitspunkt für die Bestimmung der IE-Klasse ist nach Abschnitt 7 zu verwenden.

AIC nach IEC/TS 62578, welche CDM mit der Fähigkeit zur Rückspeisung von Bremsenergie aus dem Trägheitsmoment der Last in das elektrische Versorgungssystem sind, dürfen von der IE-Klassifikation ausgeschlossen werden. Die bezogenen Verluste derartiger AIC betragen üblicherweise das Zweifache der Verluste eines CDM ohne Rückspeisungsfähigkeit. Deshalb kann der sehr große Effizienzbeitrag eines AIC nicht einfach durch Angabe seiner IE-Klasse dargestellt werden und kann eine Möglichkeit für das erweiterte Produkt mit eingebautem AIC sein.

4.8 IES-Klassen eines PDS (IES0 bis IES9)

Die Klassifikation des PDS muss im Bereich von IES0 bis IES2 angegeben werden. Für diese erste Ausgabe des Dokuments bleiben die IES-Klassen auf IES0, 1 und 2 beschränkt.

Die Grenzwerte für die Klassen IES3 bis IES9 sind Gegenstand zukünftiger Ausgaben.

Die relativen Verluste eines PDS sind durch Berechnung oder Messung zu bestimmen. Die Berechnung muss durch Aufsummieren der relativen Verluste von stromrichtergespeistem Motor, Stromrichter und der Hilfsausrüstungen erfolgen.

Das so genannte „Referenz-PDS (RPDS)“, siehe Bild 2, muss der Klasse IES1 zugeordnet werden.

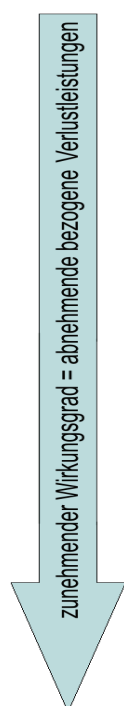
Nach der Erläuterung in 4.2 ist es notwendig, auf die relativen Verluste $p_{L,PDS(x;y)} = P_{L,PDS(x;y)} / P_{r,PDS(100;100)}$ anstelle des Nennwirkungsgrades η zu wechseln.

4.9 Folgerichtigkeit der IE- und IES-Klassen

Folgerichtigkeit der IE-Klassen sollte in diesem Zusammenhang nicht grundsätzlich bedeuten, dass man zu einem IE1-Motor ein IE2-CDM dazuzählen kann, um ein PDS der Klasse IES3 zu erhalten.

Die einzelnen IE-Klassen sind notwendig, um einen stromrichtergespeisten Motor oder nur ein CDM oder nur einen Motor unabhängig zu klassifizieren, ohne das endgültige Motorsystem zu kennen.

Im Allgemeinen zeigen die IE-Klassen bei ansteigender Zahl einen ansteigenden Wirkungsgrad oder abnehmende relative Verlustleistungen.



Netzgespeiste Motoren	Stromrichter- gespeiste Motoren	Stromrichter (CDM)	Antriebssysteme (PDS)
Wirkungsgrad	Wirkungsgrad	Verluste auf Bemessungs- leistung bezogen	Verluste auf Bemessungs- leistung bezogen
IE0 – nicht verwendet	IE0 – i. B.	IE0 – mehr als 25 % höher als der Referenzwert	IES0 – mehr als 25 % höher als der Referenzwert
IE1 – kann in den meisten Fällen technisch realisiert werden	IE1 – i. B.	IE1 – Referenzwert $\pm 25 \%$	IES1 – Referenzwert $\pm 25 \%$
IE2 – kann durch Verbesserung erreicht werden	IE2 – i. B.	IE2 – mehr als 25 % niedriger als der Referenzwert	IES2 – mehr als 25 % niedriger als der Referenzwert
IE3 – benötigt wesent- lichen technischen Aufwand	IE3 – i. B.	IE3 – i. B.	IES3 – i. B.
IE4 – wird neue Techniken erfordern	IE4 – i. B.	IE4 – i. B.	IES4 – i. B.
IE5 – experimentelle neue Technologien	IE5 – i. B.	IE5 – i. B.	IES5 – i. B.
IE6 – nicht verwendet	IE6 – i. B.	IE6 – i. B.	IES6 – i. B.
IE7 – nicht verwendet	IE7 – i. B.	IE7 – i. B.	IES7 – i. B.
IE8 – nicht verwendet	IE8 – i. B.	IE8 – i. B.	IES8 – i. B.
IE9 – nicht verwendet	IE9 – i. B.	IE9 – i. B.	IES9 – i. B.
i. B. = in Beratung			

Bild 9 – Metrischer Zusammenhang von IE- und IES-Klassen

4.10 Bestimmung der IES-Klasse eines sich ergebenden PDS durch Anwendung von „Referenz-“ und „Prüf-“Geräten und Leitfaden für die Hersteller

Ein Motorhersteller muss die Verluste seines Motors bestimmen und eine IE-Klasse nach Bild 9 festlegen. Er darf auch eine IES-Klasse für ein PDS festlegen, welches mit diesem Motor ausgerüstet ist. Dazu muss er die relativen Verluste für diesen Motor gemeinsam mit einem RCDM messen oder berechnen.

Ein CDM-Hersteller muss die Verluste eines bestimmten CDM und eine IE-Klasse nach Bild 8 angeben und darf auch eine IES-Klasse für ein PDS festlegen, das mit diesem CDM ausgerüstet ist. Dazu muss er die bezogenen Verluste für sein CDM messen oder berechnen und die Verluste des RM addieren.

Die CDM-Hersteller stellen in der Dokumentation Angaben nach den in Abschnitt 9 beschriebenen Bestimmungsverfahren über die erwarteten IES-Klassen für unterschiedliche Kombinationen eines CDM und ausgewählter spezifischer Motoren nach den Verfahren in dieser Norm bereit. Für diese erwartete IES-Klasse eines spezifischen CDM und eines spezifischen Motors darf der Wirkungsgrad durch Anwendung der Regelungsverfahren des CDM ansteigen.

Das Arbeitsblatt, wie die „Prüf-“ oder „Referenz-“Einrichtungen für die Bestimmung des IE-Leistungsverhaltens oder die Bestimmung der IES-Klasse eines sich ergebenden PDS zu verwenden sind, ist in Bild 10 dargestellt. Ebenso wird ein Leitfaden für Nur-CDM- oder Nur-Motoren-Hersteller angegeben, wie die IES-Klasse eines sich ergebenden PDS gemeinsam mit den „Prüf-“ oder „Referenz-“Einrichtungen zu bestimmen ist.

Für PDS-Hersteller gilt das obere linke Schnittfeld aus „Motor“ und „CDM“.

	CDM	Prüf-CDM	Referenz-CDM (RCDM)	
Motor	IES-Klasse des sich ergebenden PDS bestimmen	Bestimmung des IE-Verhaltens des vorliegenden Motors	Bestimmung der IES-Klasse des sich ergebenden PDS	Leitfaden für Motorenhersteller
Prüfmotor	Bestimmung des IE-Verhaltens des vorliegenden CDM	Nicht verwendete Kombination	Nicht verwendete Kombination	
Referenzmotor (RM)	Bestimmung der IES-Klasse des sich ergebenden PDS im Voraus	Nicht verwendete Kombination	Berechnungsmodell eines Referenz-PDS	
	Leitfaden für CDM-Hersteller			

Bild 10 – Leitfaden für CDM- und Motorenhersteller zur Anwendung der „Prüf-“ und „Referenz-“ Einrichtungen zur Bestimmung der IE-/IES-Klassen

Nach diesem Ansatz ist die IES-Effizienzklasse eines endgültigen PDS selbst dann im Voraus zu bestimmen, wenn nur eine Komponente (der Motor oder das CDM) zur Verfügung steht.

5 Mathematisches Modell von CDM, Motor und PDS

5.1 Allgemeines

Das mathematische Modell, welches in diesem Abschnitt angegeben wird, beschreibt das Verfahren zur Berechnung der Verluste des betroffenen CDM, Motor und PDS. Es erlaubt damit die Bestimmung der Verluste eines Produktes ohne Messungen. Das Modell besteht aus Gleichungen, Variablen und Parametern. Die Gleichungen beschreiben die dem Stand der Technik entsprechenden Verfahren zur Berechnung der Verluste, die gegenwärtig allgemein akzeptiert und in der Fachliteratur veröffentlicht sind. Die Variablen sind vom Arbeitspunkt des bewerteten CDM, Motors oder PDS abhängig. Die Parameter sind physikalische Werte, die die Realisierung des bewerteten Produktes beschreiben. Für die Bestimmung der Verluste eines Produktes sind diese Parameter entsprechend der spezifischen Realisierung des Produktes zu verwenden. Für das Referenz-CDM (RCDM), den Referenzmotor (RM) und das Referenz-PDS (RPDS) werden die Referenzparameter in jedem Abschnitt festgelegt.

Das Verfahren der Verlustbestimmung wird in Anhang K veranschaulicht.

5.2 CDM

5.2.1 Allgemeines Verfahren und Bestimmung von CDM und Prüflast

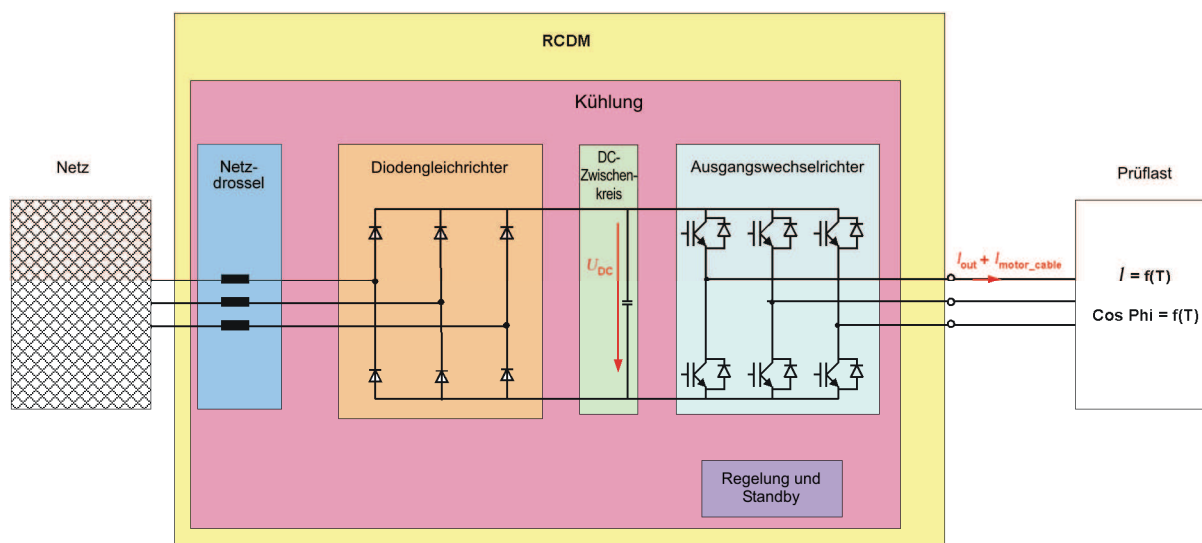


Bild 11 – Darstellung von CDM und Prüflast

Das grundsätzliche Ziel besteht darin, die CDM-Verluste als eine Funktion des Drehmoments und der Drehzahl des PDS zu beschreiben. Die CDM-Verluste hängen jedoch von der bezogenen Ausgangsfrequenz und dem Ausgangsstrom des Wechselrichters sowie vom Phasenwinkel zwischen der Grundschiwingung der Ausgangsspannung und der Grundschiwingung des Ausgangsstroms des Wechselrichters ab. Im ersten Schritt ist die Motordrehzahl in eine Wechselrichterausgangsfrequenz zu überführen und das Motordrehmoment ist in einen Stromrichterausgangsstrom und einen Phasenwinkel zwischen den Grundschiwingungen von Ausgangsstrom und Ausgangsspannung des CDM zu konvertieren.

In erster Näherung kann die relative Ausgangsdrehzahl des PDS als identisch mit der relativen Ausgangsfrequenz des Wechselrichters betrachtet werden. Dies ist zumindest im Arbeitsbereich bis zur Nenndrehzahl des Motors richtig. Im Bereich der Feldschwächung bleibt die relative Ausgangsspannung des Wechselrichters 1,00 bei allen Motordrehzahlen über der Nenndrehzahl des Motors.

Die Überföhrungsfunktion des Motordrehmoments in den Stromrichterausgangsstrom und einen Phasenwinkel zwischen den Grundschiwingungen von Ausgangsspannung und Ausgangsstrom des Wechselrichters ist vom Motor abhängig, der an die PDS angeschlossen ist. Um eine reproduzierbare Basis für die CDM-Bewertung anzugeben, werden Werte für eine Prüflast festgelegt. Diese Werte hängen von der Bemessungsleistung ab. Für 4-polige IE2-400-V-50-Hz- und -60-Hz-Standardasynchronmotoren aller Spannungs-klassen von 100 V bis 1 000 V Wechselspannung sind die folgenden Daten, die durch Messungen an realen Motoren gewonnen worden sind, als Prüflast zu verwenden:

Tabelle 2 – Ströme der Prüflast an unterschiedlichen Arbeitspunkten

Drehmomentbildender Strom in %	Prüflaststrom $\frac{I_{out}}{I_{r,out}}$ in % für einen Scheinleistungsbereich $S_{r,eqv}$ von				
	0,278 kVA bis < 1,29 kVA	1,29 kVA bis < 7,94 kVA	7,94 kVA bis < 56,9 kVA	56,9 kVA bis < 245 kVA	245 kVA bis 1 209 kVA
25	0,79	0,58	0,45	0,42	0,39
50	0,81	0,71	0,60	0,58	0,56
75	0,89	0,82	0,79	0,78	0,77
100	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabelle 3 – Leistungsfaktor der Prüflast zwischen Grundschwingungsausgangsstrom und Grundschwingungsausgangsspannung an unterschiedlichen Arbeitspunkten

Drehmomentbildender Strom in %	Leistungsfaktor der Prüflast $\cos \phi$ für einen Scheinleistungsbereich $S_{r, \text{equ}}$ von				
	0,278 kVA bis < 1,29 kVA	1,29 kVA bis < 7,94 kVA	7,94 kVA bis < 56,9 kVA	56,9 kVA bis < 245 kVA	245 kVA bis 1 209 kVA
25	0,34	0,38	0,49	0,54	0,57
50	0,51	0,60	0,71	0,75	0,78
75	0,64	0,72	0,80	0,83	0,85
100	0,73	0,79	0,85	0,86	0,87

Der Strom der Prüflast in Tabelle 2 und der Phasenwinkel der Prüflast in Tabelle 3 bei unterschiedlichen bezogenen Drehmomentwerten ist von der Bemessungsleistung abhängig. Um die Menge der erforderlichen Daten einzugrenzen, werden Motoren in einem bestimmten Leistungsbereich in einer Klasse zusammengefasst. Der dadurch eingeführte Betrag der Unsicherheit auf die resultierenden Leistungsverluste des CDM ist klein genug, um diese Vereinfachung zu rechtfertigen. Zulässige Toleranzen für die Prüfung werden in 9.9 festgelegt. Die Prüflastdaten in Tabelle 2 und Tabelle 3 können für alle bezogenen Ausgangsfrequenzen des CDM verwendet werden. Daten für Ströme zur Erzeugung des Drehmoments, die sich von den festgelegten Arbeitspunkten in Tabelle 2 und Tabelle 3 unterscheiden, sind durch lineare Inter- und Extrapolation aus den festgelegten Werten zu ermitteln.

Das mathematische Modell eines CDM ist mit seinem Bemessungsausgangsstrom zu berechnen. Wenn das CDM nicht mit einem Bemessungsausgangsstrom, sondern nur mit einer Bemessungswirkleistung $P_{r,M}$ spezifiziert ist, dann muss sein Bemessungsausgangsstrom des CDM mit der folgenden Gleichung aus der Bemessungswirkleistung unter Verwendung des Phasenwinkels aus Tabelle 3 und des in IEC 60034-30 definierten IE2-50-Hz-Wirkungsgrads η_{nMotor} berechnet werden.

$$I_{r,out} = \frac{P_{r,M}}{\sqrt{3} \cdot U_{1,r,out} \cdot \cos \Phi \cdot \eta_{nMotor}} \quad (4)$$

Die Bemessungs-Ausgangsscheinleistung des CDM ist zu berechnen mit:

$$S_{r, \text{equ}} = \sqrt{3} \cdot U_{1,r,out} \cdot I_{r,out} = \frac{P_{r,M}}{\cos \Phi \cdot \eta_{nMotor}} \quad (5)$$

Für die Berechnung der Verluste eines CDM mit den Eingangsvariablen aus Tabelle 2 und Tabelle 3 sind die nachstehend angegebenen analytischen Gleichungen (6) bis (17) zu verwenden. Für die Berechnung der Verluste eines realen CDM müssen die Parameterwerte des realen CDM verwendet werden.

Die Ergebnisse der RCDM-Berechnungen werden in Tabelle 19 für die Bestimmung der IE-Klasse und in Tabelle 23 für die in Bild 4 definierten acht Arbeitspunkte angegeben. Das RCDM basiert auf einer Versorgungsspannung von 400 V.

Im Gegensatz zu Anhang B, in dem die Teilkomponenten des PDS vom Netz bis zur Last beschrieben werden, beginnt der folgende Abschnitt mit denjenigen Teilen des PDS, die die höchsten Verluste erzeugen, gefolgt von den weiteren Teilen, die zu den PDS-Gesamtverlusten einen kleineren Beitrag leisten.

5.2.2 Verluste des Ausgangswechselrichters

5.2.2.1 Allgemeines

Der Hauptteil der CDM-Verluste wird durch den Abschnitt des Ausgangswechselrichters des CDM erzeugt. Dessen Verluste werden mit den folgenden analytischen Gleichungen beschrieben, die in der Fachliteratur gut bekannt sind. In diesen Gleichungen wird von der Annahme ausgegangen, dass der CDM-Ausgangs-

strom sinusförmig ist und die PWM-Pulse über die sinusförmige Grundswingungskurvenform des Stroms zufällig verteilt sind. Die zufällige Verteilung wird erreicht, sobald die PWM-Frequenz mindestens das 20-fache der Grundswingungsfrequenz des Motorstroms beträgt und der standardmäßige Raumzeigermodulationsalgorithmus angewendet wird. Nicht berücksichtigt werden verringerte Verluste aufgrund der Übermodulation des CDM. Das Referenz-CDM wird demzufolge unter diesen Annahmen berechnet. Für die Berechnung der Verluste eines CDM müssen die Parameterwerte an den Leistungshalbleitern bei einer Sperrschichttemperatur von 125 °C bestimmt werden.

5.2.2.2 Transistor-Durchlassverluste

Die Transistor-Durchlassverluste müssen nach der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$P_{L,on,T} = \sqrt{2} \cdot I_{out} \cdot U_{T,th} \cdot \left(\left(\frac{1}{2} \frac{1}{\pi} \right) + \frac{1,22 \cdot m \cdot \cos \phi}{8} \right) + \frac{U_{T,r} - U_{T,th}}{I_{r,out}} \cdot 2 \cdot I_{out}^2 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{1,22 \cdot m \cdot \cos \phi}{3 \pi} \right) \quad (6)$$

Die RCDM-Parameter in Gleichung (6) sind:

Tabelle 4 – Referenzparameter für Gleichung (6)

Kurzzeichen	Beschreibung	RCDM-Parameterwert	Einheit
$U_{T,th}$	Schwellenspannung eines Leistungs-transistors (IGBT)	1,0	V
$U_{T,r}$	Durchlassspannung eines Leistungs-transistors (IGBT) bei Bemessungs-ausgangsstrom des CDM	2,3	V
$I_{r,out}$	Bemessungsausgangsstrom des CDM, Effektivwert	A	$I_{r,out}$

Die Variablen in Gleichung (6) sind:

Tabelle 5 – Variablen für Gleichung (6)

Kurzzeichen	Beschreibung	Einheit
I_{out}	Ausgangsstrom des CDM, Effektivwert nach Tabelle 2	A
ϕ	Phasenwinkel zwischen Grundswingungsausgangsspannung und dem Grundswingungsausgangsstrom des CDM nach Tabelle 3	°
m	Modulationsindex, identisch mit der bezogenen Ausgangsfrequenz des Wechselrichters	

5.2.2.3 Freilaufdioden-Durchlassverluste

Die Dioden-Durchlassverluste müssen nach der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$P_{L,on,D} = \sqrt{2} \cdot I_{out} \cdot U_{D,th} \cdot \left(\left(\frac{1}{2} \frac{1}{\pi} \right) - \frac{1,22 \cdot m \cdot \cos \phi}{8} \right) + \frac{U_{D,r} - U_{D,th}}{I_{r,out}} \cdot 2 \cdot I_{out}^2 \cdot \left(\frac{1}{8} - \frac{1,22 \cdot m \cdot \cos \phi}{3 \pi} \right) \quad (7)$$

Die RCDM-Parameter in Gleichung (7) sind:

Tabelle 6 – Referenzparameter für Gleichung (7)

Kurzzeichen	Beschreibung	RCDM-Parameterwert	Einheit
$U_{D,th}$	Schwellenspannung der Leistungsdiode	1,1	V
$U_{D,r}$	Durchlassspannung der Leistungsdiode bei Bemessungsausgangsstrom des CDM	2,4	V

Die Variablen in Gleichung (7) sind identisch mit den Variablen in Gleichung (6).

5.2.2.4 Schaltverluste von Transistoren

Es ist gängige Praxis, in den Datenblättern von Leistungs-IGBT die Transistorschaltenergie als eine Funktion des Wechselrichterausgangsstroms zu beschreiben. Dieser Wert wird üblicherweise durch Aufzeichnung der IGBT-Kollektor-Emitter-Spannung und des IGBT-Kollektorstroms während des Schaltens erhalten, Multiplikation dieser Graphen, um die Momentanleistungsverluste zu erhalten, und Integration dieser Verluste über ein Schaltereignis, um schließlich die Schaltverlustenergie zu erhalten. In erster Näherung zeigt der resultierende Kurvenverlauf, dass die Energie linear mit dem Kollektorstrom und der Zwischenkreis-Gleichspannung des Wechselrichters zunimmt. Das Verhältnis zwischen der Schaltenergie und dem Produkt aus Zwischenkreis-Gleichspannung und IGBT-Kollektorstrom wird häufig in der Fachliteratur als ein Faktor E_T beschrieben. Dieser Faktor enthält die Summe der Verlustenergie beim Einschalten und Ausschalten eines Leistungstransistors.

Bei kleinen Strom wird der Strom, der für die Bestimmung der Schaltverluste von Bedeutung ist, größer als der Ausgangsstrom des Wechselrichters, weil die Motorkabel zu einem zusätzlichen Ausgangsstrom führen. Zur Berücksichtigung dieses Einflusses wird ein Korrekturterm $I_{\text{motor_cable}}$ eingeführt. Für die Berechnung der Schaltverluste wird dieser Strom zum Ausgangsstrom des Wechselrichters addiert. In der nachfolgenden Tabelle 7 wird ein einfaches Modell für den Kabelstrom für den Referenz-Stromrichter angegeben.

Unter der Annahme, dass der Wechselrichter einen sinusförmigen Ausgangsstrom mit der Grundschnwingungsfrequenz erzeugt, die wesentlich (um mindestens den Faktor 15) unter der Schaltfrequenz liegt, sind die Transistorschaltverluste nach der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$P_{L,sw,T} = \frac{E_T}{\pi} \cdot U_{DC} \cdot \sqrt{2} \cdot (I_{out} + I_{\text{motor_cable}}) \cdot f_{sw} \quad (8)$$

Die RCDM-Parameter in Gleichung (8) sind:

Tabelle 7 – Referenzparameter für Gleichung (8)

Kurzzeichen	Beschreibung	RCDM-Parameterwert	Einheit
E_T	Schaltverlustenergie des Leistungstransistors (IGBT) je Volt und je Ampere	$7,5 \cdot 10^{-7}$	$\frac{J}{V \cdot A}$
U_{DC}	Zwischenkreis-Gleichspannung des CDM	540	V
$I_{\text{motor_cable}}$	Motorkabelstrom, der für die ansteigenden Schaltverluste maßgeblich ist	$I_{\text{motor_cable}} = 4$ für $I_{r,out} \leq 4 \text{ A}$ $I_{\text{motor_cable}} = i_{out}$ für $4 \text{ A} < I_{r,out} \leq 10 \text{ A}$ $I_{\text{motor_cable}} = 10$ für $I_{r,out} \geq 10 \text{ A}$	A
f_{sw}	Schaltfrequenz des CDM	4 000 für ein CDM bis 90 kW 2 000 für ein CDM über 90 kW	Hz

Die Variable in Gleichung (8) ist wieder der Ausgangsstrom des Wechselrichters I_{out} . Die Schaltverluste sind nicht abhängig von der Drehzahl des Motors.

Wenn die Ausgangsfrequenz des Wechselrichters während der gesamten Betriebsdauer des CDM identisch mit 0 Hz sein würde, dann würde Gleichung (8) nicht mehr richtig sein. Es kann jedoch angenommen werden, dass sich bei allen Anwendungen eine niedrige Ausgangsfrequenz finden lässt, die sich von 0 Hz unterscheidet, z. B. 0,05 Hz, so dass Gleichung (8) für alle Anwendungen zu verwenden ist.

5.2.2.5 Schaltverluste von Freilaufdioden

Die Schaltverluste von Dioden können in der gleichen Weise berechnet werden:

$$R_{L,sw,D} = \frac{E_D}{\pi} \cdot U_{DC} \cdot \sqrt{2} \cdot (I_{out} + I_{motor_cable}) \cdot f_{sw} \quad (9)$$

Die RCDM-Parameter in Gleichung (9) sind:

Tabelle 8 – Referenzparameter für Gleichung (9)

Kurzzeichen	Beschreibung	RCDM-Parameterwert	Einheit
E_D	Schaltverlustenergie der Leistungsdiode je Volt und je Ampere	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$\frac{J}{V \cdot A}$

5.2.2.6 Gesamtverluste des Ausgangswechselrichters

Die nach den Gleichungen (6) bis (9) berechneten Verluste definieren die Verluste, die in einem einzelnen Leistungshalbleiterbauelement erzeugt werden. Die Summe der Ausgangswechselrichterverluste müssen für ein Drehstrom-CDM mit sechs Transistoren und Dioden wie folgt berechnet werden:

$$R_{L,inverter} = 6(R_{L,on,T} + R_{L,on,D} + R_{L,sw,T} + R_{L,sw,D}) \quad (10)$$

5.2.3 Verluste des Eingangsstromrichters

5.2.3.1 Stromrichter mit netzseitig aktiv gesteuertem Eingang

Der Abschnitt des Eingangsstromrichters besteht aus einem Stromrichter mit netzseitig aktiv gesteuertem Eingang, dessen Verluste in identischer Weise wie die des Abschnitts des Ausgangswechselrichters zu berechnen sind. In diesem Fall ist der Ausgangsstrom des Stromrichters mit aktiver Leistungsfaktorkorrektur der Netzversorgungsstrom des CDM.

Die Ausgangsfrequenz des Stromrichters mit netzseitig aktiv gesteuertem Eingang ist identisch mit der Netzfrequenz. Dies begrenzt die möglichen Werte für den Modulationsindex m auf nahezu 1. Der Grundschrwingungs-Leistungsfaktor zwischen dem Grundschrwingungseingangsstrom und der Grundschrwingungseingangsspannung ist im Fall des Motorbetriebs des CDM nahe 1 oder -1 im Fall des Rückgewinnungsbetriebs.

Für das Referenz-CDM wird angenommen, dass es keinen Stromrichter mit netzseitig aktiv gesteuertem Eingang, sondern einen Diodengleichrichter besitzt.

5.2.3.2 Diodengleichrichter

Die Grundschrwingung des CDM-Eingangsstroms ist proportional der Wirkleistung des CDM-Ausgangs und wird berechnet als das Produkt aus Ausgangsstrom des Wechselrichters, Ausgangsphasenwinkel und Modulationsindex. Der Effektivwert des CDM-Eingangsstroms ist außerdem einem Faktor $1/\lambda$ proportional. Der Faktor λ wird nach Gleichung (35) als das Verhältnis der Eingangswirkleistung zur Eingangsscheinleistung des CDM definiert, und ist proportional zum Grundschrwingungs-Verschiebungsfaktor zwischen CDM-Eingangsstrom und nimmt mit dem Oberschrwingungsgehalt der Wellenform des Eingangsstroms ab. In B.4.1 werden Standardwerte für λ bei verschiedenen Gleichrichtertopologien angegeben.

Die Gleichrichterverluste werden schließlich nach der folgenden Gleichung (11) berechnet:

$$R_{L,rectifier} = 6 \cdot \left(\frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot m \cdot \cos \phi \cdot I_{out} \cdot U_{D,th,rectifier} + \frac{U_{D,r,rectifier} - U_{D,th,rectifier}}{\cos \phi \cdot I_{r,out}} \cdot \frac{\left(\frac{m \cdot \cos \phi \cdot I_{out}}{\lambda} \right)^2}{2} \right) \quad (11)$$

Die RCDM-Parameter in Gleichung (11) sind:

Tabelle 9 – Referenzparameter für Gleichung (11)

Kurzzeichen	Beschreibung	RCDM-Parameterwert	Einheit
$U_{D,th,rectifier}$	Schwellenspannung der Gleichrichter-Leistungsdiode	0,9	V
$U_{D,r,rectifier}$	Durchlassspannung der Gleichrichter-Leistungsdiode bei Bemessungseingangstrom des CDM	2,2	V
λ	Leistungsfaktor von CDM-Eingangstrom und -spannung	0,7	

Die Variablen in Gleichung (11) sind:

Tabelle 10 – Variablen für Gleichung (11)

Kurzzeichen	Beschreibung	Einheit
ϕ_r	Phasenwinkel zwischen CDM-Grundswingungsausgangsspannung und CDM-Grundswingungsausgangsstrom bei Bemessungsdrehmoment nach Tabelle 3	°

5.2.4 Verluste der Eingangsdrossel

Eingangsdrosseln werden manchmal zur Verringerung von Oberschwingungen eingesetzt. Mit ansteigender Eingangsleistung des Stromrichters wird die Induktivität der Drosselspule üblicherweise verringert. Die Impedanz der Eingangsdrossel wird üblicherweise so ausgewählt, dass sie einen bestimmten Teil $k1_{choke}$ der Bemessungsimpedanz des Wechselrichters U_{mL1}/I_{equ} hat. Unter der Annahme, dass der Spannungsfall am ohmschen Teil der Eingangsdrossel einen bestimmten Teil $k2_{choke}$ des Gesamtspannungsfalls an der Eingangsdrossel hat, sind die Verluste in der Eingangsdrossel zu berechnen mit:

$$P_{L,choke} = k1_{choke} \cdot k2_{choke} \cdot 3 \cdot \frac{\left(\frac{m \cdot \cos \phi \cdot I_{out}}{\lambda} \right)^2}{\cos \phi_r \cdot I_{r,out}} \cdot U_{mL1} \quad (12)$$

Die RCDM-Parameter für den Referenzstromrichter in Gleichung sind:

Tabelle 11 – Referenzparameter für Gleichung

Kurzzeichen	Beschreibung	RCDM-Parameterwert	Einheit
$k1_{choke}$	Impedanz der Drossel, bezogen auf die Bemessungsimpedanz des CDM	0,02	
$k2_{choke}$	bezogener Spannungsfall am ohmschen Teil der Drossel	0,25	
U_{mL1}	Leiter-Erde-Spannung des Versorgungsnetzes	230	V

Die Verluste von Gleichstromdrosseln können in der gleichen Weise berechnet wie die Verluste von Wechselstromdrosseln.

Die Verluste von Niederfrequenz-Netzoberschwingungsfiltren werden in der gleichen Weise berechnet, weil der Hauptteil dieser Verluste in der Drossel erzeugt wird und die Verluste in den Filterkondensatoren vernachlässigt werden können.

5.2.5 Verluste des Gleichspannungszwischenkreises

Wie in B.5 erläutert, werden die Verluste des Gleichspannungszwischenkreises hauptsächlich durch Widerstände erzeugt, die für die richtige Spannungsaufteilung zwischen den Kondensatoren des Gleichspannungszwischenkreises sorgen sowie von den Ersatzwiderständen in Reihe zu jedem Kondensator. In erster Näherung ist die Kapazität des Gleichspannungszwischenkreises proportional zur Bemessungsleistung des Wechselrichters. Demzufolge sind die lastunabhängigen Verluste in den Widerständen, die parallel zu den Kondensatoren liegen, auch proportional zum Bemessungsausgangsstrom des Wechselrichters. Außerdem sind sie proportional zum Quadrat der Zwischenkreisspannung. Die Verluste in den äquivalenten Reihenwiderständen hängen vom Quadrat des Gleichrichtereingangsstroms ab. Die Verluste, die durch den hochfrequenten Wechselrichterstrom verursacht werden, sind klein genug, um sie zu vernachlässigen. Die Verluste des Gleichspannungszwischenkreises werden schließlich berechnet mit:

$$P_{L,dc_link} = k1_{DC_link} \cdot I_{r,out} \cdot U_{DC}^2 + k2_{DC_link} \cdot \frac{\left(\frac{m \cdot \cos \phi \cdot I_{out}}{\lambda} \right)^2}{I_{r,out}} \quad (13)$$

Die RCDM-Parameter für den Referenzstromrichter in Gleichung (13) sind:

Tabelle 12 – Referenzparameter für Gleichung (13)

Kurzzeichen	Beschreibung	RCDM-Parameterwert	Einheit
$k1_{DC_link}$	Lastunabhängiger Verlustparameter des Gleichspannungszwischenkreises	$8 \cdot 10^{-7}$	$\frac{1}{\Omega \cdot A}$
$k2_{DC_link}$	Lastabhängiger Verlustparameter des Gleichspannungszwischenkreises	0,5	$\Omega \cdot A$

Die Bestimmung der Parameter $k1_{DC_link}$ und $k2_{DC_link}$ für ein CDM wird in B.5 erläutert.

5.2.6 Verluste an Stromschienen

Ohmsche Verluste werden z. B. in den Stromschienen des CDM erzeugt. Diese Verluste hängen im mathematischen Modell von der Amplitude des CDM-Ausgangsstroms und dem ohmschen Widerstand der Stromschienen ab. Dieser ohmsche Widerstand verringert sich linear mit ansteigendem Bemessungsausgangsstrom des CDM, weil in CDM mit höherer Leistung Stromschienen mit einem größeren Querschnitt eingesetzt werden. Aus diesem Grund bleibt der Spannungsfall an den ohmschen Leitelementen unabhängig von CDM-Bemessungsstrom.

$$P_{L,rails} = \frac{U_{rails}}{I_{r,out}} I_{out}^2 \quad (14)$$

Der RCDM-Parameter für das Referenz-CDM in Gleichung (14) lautet:

Tabelle 13 – Referenzparameter für Gleichung (14)

Kurzzeichen	Beschreibung	RCDM-Parameterwert	Einheit
U_{rails}	Spannungsfall an den ohmschen Leitelementen bei CDM-Bemessungsstrom	0,7	V

5.2.7 Verluste in den Baugruppen für Steuerung und im Standby-Betrieb

Die lastunabhängigen Verluste werden in B.10 erläutert. Um zu vergleichbaren Ergebnissen zu kommen, müssen diese Verluste ohne externe Komponenten wie Positionssensoren, Kommunikationselektronik und angeschlossene Motorbremsen bewertet werden. Für den Referenzstromrichter müssen sie angenommen werden mit:

Tabelle 14 – Referenzparameter für Gleichung (17)

Kurzzeichen	Beschreibung	RCDM-Parameterwert	Einheit
$P_{L,control}$	Verluste in den Baugruppen für Steuerung und Standby	50	W

5.2.8 Verlustfaktor der Kühlung

CDM nach dem Stand der Technik benutzen ein Kühlsystem, um die Verluste an die Umgebung abzuführen. In einigen Fällen wird dazu z. B. ein Lüfter verwendet, der Teil des CDM ist. Diese Kühlungskomponente verursacht zusätzliche Verluste. Diese Verluste werden im mathematischen Modell proportional zu allen weiteren Verlusten berechnet, die im CDM an dessen Arbeitspunkt der maximalen Verluste erzeugt werden.

$$P_{L,cooling} = k_{L,cooling} \cdot (P_{L,inverter(90;100)} + P_{L,rectifier(90;100)} + P_{L,rails(90;100)} + P_{L,DC_link(90;100)} + P_{L,choke(90;100)} + P_{L,control}) \quad (15)$$

Für das RCDM wird der Parameter für den Verlust durch Kühlung auf 20 % gesetzt:

Tabelle 15 – Referenzparameter für Gleichung (15)

Kurzzeichen	Beschreibung	RCDM-Parameterwert	Einheit
$k_{L,cooling}$	Parameter für den Verlust durch Kühlung	0,2	

5.2.9 Weitere CDM-Verluste

Sämtliche Verluste in weiteren Teilen des CDM werden im mathematischen Modell vernachlässigt, weil sie deutlich kleiner sind als die vorstehend beschriebenen Verluste.

5.2.10 CDM-Gesamtverluste

Alle Verluste im CDM müssen auf den Bemessungswert der Ausgangsscheinleistung des PDS bezogen werden, die durch die Phasenlage, die Bemessungsausgangsspannung und den Bemessungsausgangsstrom des CDM gebildet wird. Als ein Endergebnis dieses Abschnitts werden die absoluten CDM-Verluste berechnet mit:

$$P_{L,CDM} = P_{L,inverter} + P_{L,rectifier} + P_{L,choke} + P_{L,rails} + P_{L,DC_link} + P_{L,control} + P_{L,cooling} \quad (16)$$

Die relativen Verluste des CDM werden berechnet mit:

$$p_{L,CDM} = \frac{P_{L,CDM}}{S_{r,equ}} \quad (17)$$

Im folgenden Bild 12 wird der Zusammenhang zwischen dem relativen drehmomentbildenden Strom, der relativen Ständerfrequenz des Motors und der relativen Verluste $p_{L,CDM,relative}$ eines 9,95-kVA-Referenz-CDM, der mit 400 V betrieben wird, dargestellt (siehe Tabelle 19).

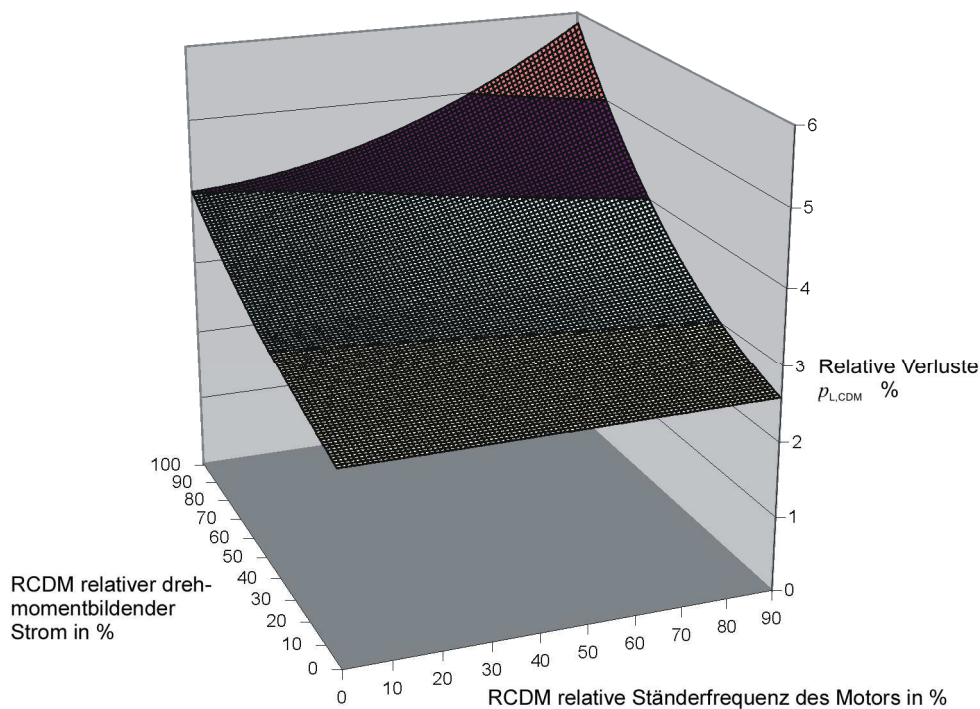


Bild 12 – Relative Verluste $p_{L,CDM}$ eines 9,95-kVA-RCDM

In der folgenden Tabelle 16 werden die relativen Verluste des 400-V/9,95-kVA-Referenz-CDM bei den in Bild 4 definierten Arbeitspunkten aufgeführt.

Tabelle 16 – Relative Verluste des 400-V/9,9-kVA-Referenz-CDM bei den in Bild 4 definierten Arbeitspunkten

$P_r M$	$S_{r, equ}$	$p_{L, CDM} (0;25)$	$p_{L, CDM} (0;50)$	$p_{L, CDM} (0;100)$	$p_{L, CDM} (50;25)$	$p_{L, CDM} (50;50)$	$p_{L, CDM} (50;100)$	$p_{L, CDM} (90;50)$	$p_{L, CDM} (90;100)$
kW	kVA	%	%	%	%	%	%	%	%
7,5	9,95	2,80	3,09	4,02	2,87	3,29	4,65	3,62	5,86

Der Wert von 4,30 % der Verluste bezieht sich auf Bemessungs-Ausgangsscheinleistung von 9,9 kVA, die zu einem Absolutwert des Verlustes von 426 W führt. Die relativen Verluste von RCDMs mit einer anderen Bemessungsleistung werden für den Arbeitspunkt (90;100) in Tabelle 19 und in Anhang A, Tabelle 23, für alle in Bild 4 definierten Arbeitspunkte angegeben.

5.3 Referenzmotor (RM)

5.3.1 Allgemeines

In industriellen Anlagen finden Standard-Drehstrom-Asynchronmotoren (nach EN 50347) breite Anwendung. Diese Motoren können direkt am Netz oder über ein CDM betrieben werden. Es gibt keine feste Beziehung zwischen Motor und CDM. Jeder Motor kann mit jedem CDM verwendet werden, alle verfügbaren Standardprodukte für beide Komponenten können verwendet werden.

Für die Bestimmung der Verluste oder Effizienzklassen eines vollständigen Systems benötigt der CDM-Anwender Daten vom Motorenhersteller oder Referenzwerte, wie sie in 5.3.3 und in Anhang A angegeben werden.

Im folgenden Abschnitt 5.3.2 werden nur die Verluste von stromrichter gespeisten Drehstrom-Asynchronmotoren berücksichtigt. In zukünftigen Ausgaben dieser Norm werden weitere Motorsysteme berücksichtigt.

5.3.2 Verlustbestimmung für Drehstrom-Asynchronmotoren, die von einem CDM gespeist werden

Die Gleichungen in diesem Abschnitt können für jeden Drehstrom-Asynchronmotor angewendet werden. Die Parameter, die für den Referenzmotor (RM) zu verwenden sind, werden in 5.3.3 angegeben.

Die Wirkungsgradklassen für sinusförmig gespeiste Asynchron-Induktionsmaschinen sind in IEC 60034-30 definiert. Die Klassifizierung erfolgt für Bemessungsausgangsleistung (P_n : 100 % Last, n_n : 100 % Drehzahl).

Für diesen Punkt können die Motorverluste P_{LT} berechnet werden mit:

$$P_{LT} = \frac{P_n}{\eta} - P_n \quad (18)$$

P_n und η können dem Leistungsschild des Motors entnommen werden oder wenn es für diese Anwendung nicht zur Verfügung steht, aus den Tabellen in IEC 60034-30 als ein Referenzwert für eine bestimmte Motorleistung und Wirkungsgradklasse (vergleiche Tabelle 17).

Bei der Verwendung in einem drehzahlveränderbarem Antrieb wird es nicht ausreichend sein, nur die Motorverluste bei Bemessungsleistung zu kennen, sondern auch bei anderen Arbeitspunkten innerhalb des Drehzahlbereichs der PDS-Anwendung. Im Folgenden wird beschrieben, wie die drehmoment-(last-) und drehzahl-(frequenz-)abhängigen Werte der Verluste von Asynchronmotoren zu ermitteln sind.

Die nachfolgend entwickelten Gleichungen sind solange gültig, wie der Magnetfluss in Abhängigkeit von der Frequenz dem Nennwert des Magnetflusses entspricht, d. h., für einen bestimmten, vom Stromrichter abhängigen Drehzahlbereich.

Bei der Verwendung von Standard-Stromrichtern ist es besonders bei kleinen Motoren unumgänglich, zur Kompensation des Widerstandes der Ständerwicklung das Verhältnis U/f zu erhöhen, um noch den Nenn-Magnetfluss zu erhalten.

Die Wirkungsgradprüfung von Asynchronmotoren nach IEC 60034-2-1, 6.4.4.2, nach dem Verfahren mit Belastungskurve erfordert die Prüfung an den Arbeitspunkten 25 %, 50 %, 75 % und 100 % des Nenn-drehmoments unter Bemessungsbedingungen. Anstelle der gemessenen Werte können auch berechnete Werte, d. h. aus Simulationsprogrammen, verwendet werden.

Für die Frequenz-(Drehzahl-)abhängigkeit dieser Verlustkomponenten gilt Folgendes:

5.3.2.1 Verluste der Ständerwicklung P_{LS}

Ermittelter Wert nach IEC 60034-2-1, unabhängig von der Frequenz (konstanter Magnetfluss), nur abhängig vom Drehmoment (von der Last).

5.3.2.2 Verluste der Läuferwicklung P_{LR}

Ermittelter Wert nach IEC 60034-2-1, unabhängig von der Frequenz (konstanter Magnetfluss), nur abhängig vom Drehmoment (von der Last).

Der Absolutwert des Bemessungsschlupfes wird über den gesamten Drehzahl-(Frequenz-)bereich als konstant angesehen. Es wird angenommen, dass die Erwärmung des Motors konstant ist und der Temperatur bei Nennleistung, und Nenndrehzahl bei sinusförmiger Versorgung mit 50 Hz entspricht.

5.3.2.3 Eisenverluste P_{Lfe}

Die Eisenverluste werden nach IEC 60034-2-1 bei Nennfrequenz bestimmt und könnten in zwei Teile getrennt werden:

- a) Wirbelstromverluste: $P_{Lfe} \cdot K_{fe}$, dabei ist K_{fe} der Anteil für Wirbelstromverluste. Sie sind dem Quadrat der Frequenz proportional.

Steht kein anderer Wert zur Verfügung (aus Prüfungen oder Erfahrungswert), darf $K_{fe} = 0,5$ (50 % der gemessenen Eisenverluste) verwendet werden.

- b) Hystereseverluste: $P_{Lfe} \cdot (1 - K_{fe})$, die proportional zur Frequenz sind.

Die Gesamteisenverluste können wie folgt als Funktion der Drehzahl (Frequenz) berechnet werden:

$$P_{Lfe}(f) = R_{Lfe}(f_n) \cdot \frac{f}{f_n} \cdot \left[(1 - K_{fe}) + \frac{f}{f_n} \cdot K_{fe} \right] \quad (19)$$

Dabei ist f_n die Nennfrequenz.

5.3.2.4 Lastabhängige Zusatzverluste P_{LL}

Die lastabhängigen Zusatzverluste werden nach IEC 60034-2-1, 8.2.2.5.1.3, bei Nennfrequenz und für jede Last bestimmt. Sie können in zwei Teile getrennt werden:

- a) Teil 1: $P_{LL} \cdot K_{LL}$, dabei ist K_{LL} der Anteil der lastabhängigen Zusatzverluste, die proportional dem Quadrat der Frequenz sind.

Steht kein anderer Wert zur Verfügung (aus Prüfungen oder Erfahrungswert), wird $K_{LL} = 0,5$ (50 % der gemessenen lastabhängigen Zusatzverluste) empfohlen.

- b) Teil 2: $P_{LL} \cdot (1 - K_{LL})$, die proportional zur Frequenz sind.

Die gesamten lastabhängigen Zusatzverluste können wie folgt als Funktion der Drehzahl (Frequenz) berechnet werden:

$$P_{LL}(f) = R_{LL}(f_n) \cdot \frac{f}{f_n} \cdot \left[(1 - K_{LL}) + \frac{f}{f_n} \cdot K_{LL} \right] \quad (20)$$

Dabei ist f_n die Nennfrequenz.

5.3.2.5 Reibungs- und Ventilationsverluste P_{lfw}

5.3.2.5.1 Eigenbelüftete Motoren: IC 411 (EN 60034-6)

Diese Verluste werden nach IEC 60034-2-1 bei synchroner Drehzahl bestimmt und könnten in zwei Teile getrennt werden:

- a) Belüftung (Lüfter): $P_{lfw} \cdot K_{fw}$, dabei ist K_{fw} der Anteil für die Belüftungsverluste. Sie sind der dritten Potenz der Drehzahl (Frequenz) proportional.

- b) Reibung (Lager): $P_{lfw} \cdot (1 - K_{fw})$, die proportional zur Drehzahl (Frequenz) sind.

Steht kein anderer Wert zu Verfügung (aus Prüfungen oder Erfahrungswert), werden die Werte in der folgenden Tabelle für K_{fw} empfohlen.

Tabelle 16^{N2)}

Anzahl der Pole	K_{fe}	$1 - K_{fe}$	Einheit
2	0,7	0,3	keine
4	0,5	0,5	keine
6	0,3	0,7	keine

Die gesamten mechanischen Verluste können wie folgt als Funktion der Drehzahl (Frequenz) berechnet werden:

$$P_{Lfw}(f) = P_{Lfw}(f_n) \cdot \frac{f}{f_n} \cdot \left[(1 - K_{fw}) + \left(\frac{f}{f_n} \right)^2 \cdot K_{fw} \right] \quad (21)$$

Dabei ist f_n die Nennfrequenz.

5.3.25.2 Motoren mit Fremdbelüftung: IC 416 (EN 60034-6)

Die Verluste der Fremdbelüftung bestehen aus den Verlusten für den Fremdlüftermotor und der Leistung, die der Lüfter selber benötigt. Die Summe dieser beiden ist die Eingangsleistung des Fremdlüftermotors. Wenn dieser Wert nicht bekannt ist, kann er berechnet werden mit:

$$P_{1_auxiliary_fan_motor} = \frac{P_{n_auxiliary_fan_motor}}{\eta_{auxiliary_fan_motor}} \quad (22)$$

- i) Verluste durch das Hilfsgebläse sind konstant und nicht drehzahl-(frequenz-)abhängig.
- ii) Reibungsverluste in den Hauptlagern des Motors P_{Lfw} sind der Drehzahl (Frequenz) proportional.

Die gesamten mechanischen Verluste des Hauptmotors einschließlich des Hilfsgebläses können als Funktion der Drehzahl (Frequenz) berechnet werden:

$$P_{Lfw} = P_{Lfw}(f_n) \cdot \frac{f}{f_n} + P_{1_auxiliary_fan_motor} \quad (23)$$

Dabei ist f_n die Nennfrequenz.

5.3.2.6 Oberschwingungsabhängige Zusatzverluste P_{LHL}

Oberschwingungsabhängige Zusatzverluste werden von einer nichtsinusförmigen Stromversorgung verursacht und können nach einem der folgenden Verfahren bestimmt werden:

Verfahren a)

P_{LHL} werden nach IEC 60034-2-3, Verfahren 2-3-A, 2-3-B oder 2-3-C bestimmt.

ANMERKUNG Die Norm IEC 60034-2-3 sollte 2013 veröffentlicht werden.

Verfahren b)

Anwendung des Verhältnisses r_{HL} :

^{N2)} Nationale Fußnote: Die zweifache Verwendung der Tabellenüberschrift „Tabelle 16“ wird aus prEN 50598-2:2013 übernommen, damit dieser Entwurf zum europäischen Schriftstück konsistent ist.

r_{HL} repräsentiert die Oberschwingungsabhängigen Zusatzverluste aufgrund der Stromrichterversorgung verglichen mit den Verlusten bei sinusförmiger Eingangsspannung bei Nennleistung und Nennfrequenz (vergleiche IEC 60034-2-3).

r_{HL} wurde aus repräsentativen Prüfungen bestimmt, die von CLC/TC22X/WG6 ausgewählt wurden. Die Prüfungen der Motoren erfolgten bei unterschiedlichen Frequenzen und unterschiedlicher Last bei konstantem Nennfluss.

Die Ergebnisse dieser Prüfung zeigen: die Oberschwingungsabhängigen Zusatzverluste aufgrund der Stromrichterversorgung können in erster Näherung als konstant und unabhängig von Last, Drehzahl und Schaltfrequenz unter der Voraussetzung betrachtet werden, dass die Schaltfrequenz mindestens 2 kHz beträgt.

Die Oberschwingungsabhängigen Zusatzverluste aufgrund der Stromrichterversorgung im Referenzmotor werden mit folgender Gleichung berechnet:

$$P_{LHL} = r_{HL} \cdot P_{LTsin} \quad (24)$$

Dabei ist

P_{LT} die Gesamtverluste nach Gl. (18);

$r_{HL} = 0,15$ (15 %), für Motoren mit einer Bemessungsausgangsleistung bis 90 kW;

$r_{HL} = 0,25$ (25 %), für Motoren mit einer Bemessungsausgangsleistung über 90 kW.

5.3.2.7 Gesamtverluste als Funktion von Drehzahl (Frequenz) und Last (Drehmoment)

Die Gesamtverluste des Motors können für jede Drehzahl (Frequenz) und Last (Drehmoment) berechnet werden mit:

$$P_{LTI,Mot}(f,T) = \left[P_{LS}(T) + P_{LR}(T) + P_{Lfe}(f) + P_{Lfw}(f) + P_{LL}(f,T) \right]_{\text{Sinus supply}} + P_{LHL} \quad (25)$$

Diese Gleichung gilt für einen Motor, der bei Umgebungsbedingungen entsprechend dem Leistungsschild betrieben wird. Für den Fall, dass die Oberschwingungsverluste nach 5.3.2.6, Verfahren a), bestimmt werden, können sie lastabhängig sein.

Für diese Gleichung sind die nach IEC 60034-2-1 bei Nennfrequenz und sinusförmiger Versorgung ermittelten Verlustwerte bei 25 %, 50 %, 75 % und 100 % der Last erforderlich.

ANMERKUNG 1 Diese Werte können im vollständigen Prüfbericht nach IEC 60034-2-1 verfügbar sein, anderenfalls siehe Anhang G.

ANMERKUNG 2 Diese Grundgleichung kann ohne Einschränkungen für Pumpen- und Lüfteranwendungen für den Drehzahlbereich angewendet werden.

ANMERKUNG 3 Für bestimmte Anwendungen, z. B. konstantes Drehmoment, muss die geforderte Belastbarkeit des Motors während der Auswahl in Betracht gezogen werden.

ANMERKUNG 4 Die Empfehlung für das mögliche Drehmoment an der Motorwelle zwischen 0 % und 20 % der Synchrondrehzahl ist 40 % des Nenndrehmoment bei eigenbelüfteten Motoren (IC 411).

ANMERKUNG 5 Anhang G in dieser Norm enthält ergänzende Angaben, wie mit der vorstehend angegebenen Gleichung die Verluste in Abhängigkeit von der Drehzahl oder dem Drehmoment für zwei- und vierpolige Motoren verschiedener Größen berechnet werden können.

5.3.3 Daten des Referenzmotors (RM)

Die Verluste für den Referenzmotor wurden von vierpoligen Asynchronmotoren mit den 50-Hz-IE2-Wirkungsgradwerten nach EN 60034-30 und den in 5.3.2.6 beschriebenen Faktoren r_{HL} abgeleitet. Hinsichtlich der Toleranzen der Wirkungsgradwerte gilt EN 60034-50, 5.3.

Die Verluste dieses Referenzmotors gelten auch für Anwendungen bei 60 Hz.

Tabelle 17 – Verluste des Referenzmotors

P_N kW	$P_{L, RM (100,100)}$ % von P_N	$P_{L, RM (100,100)}$ W
0,12	79,6	96
0,18	62,7	113
0,25	52,9	132
0,37	43,2	160
0,55	34,2	188
0,75	29,5	221
1,1	26,3	289
1,5	23,9	358
2,2	21,4	471
3	19,5	585
4	17,8	712
5,5	16,1	887
7,5	14,7	1 099
11	13,1	1 437
15	11,9	1 790
18,5	11,1	2 053
22	10,5	2 320
30	9,6	2 878
37	9,1	3 351
45	8,5	3 835
55	8,0	4 397
75	7,3	5 505
90	7,1	6 373
110	7,3	8 003
132	7,0	9 234
160	6,7	10 748
200	6,4	12 881
250	6,4	16 101
315	6,4	20 288
355	6,4	22 864
400	6,4	25 762
500	6,4	32 203
560	6,4	36 067
630	6,4	40 576
710	6,4	45 728
800	6,4	51 525
900	6,4	57 965
1 000	6,4	64 406

ANMERKUNG Der Faktor für die zusätzlichen Verluste im Motor aufgrund des stromrichtergespeisten Betriebes verändert sich nach 5.3.2.6 zwischen den Ausgangsleistungen von 90 kW und 110 kW von 15 % auf 25 %. Dies führt zu einer Unstetigkeit der tabellierten Werte.

Die Werte in Tabelle 17 entsprechen den Werten der Scheinleistung in Tabelle 19 (zweite Spalte).

Ergänzend zu Tabelle 17 gibt Tabelle 24 in Anhang A die Verluste des Referenzmotors für alle 8 Punkte nach Bild 3 mit den in 5.3.2 beschriebenen Berechnungen an. In der folgenden Tabelle werden die Parameter des Referenzmotors für diese Berechnungen angegeben.

Tabelle 17^{N3)}

Abkürzung	Beschreibung	RM-Parameterwert	Einheit	Gleichung
K_{fe}	Anteil der Eisenverluste, die Wirbelstromverluste sind	0,5	keine	(19)
K_{LL}	Anteil der zusätzlichen lastabhängigen Verluste, die proportional zum Quadrat der Frequenz sind	0,5	keine	(20)
K_{fw}	Anteil der Reibungs- und Ventilationsverluste, die Ventilationsverluste sind	0,5	keine	(21)
r_{HL}	Verhältnis der Oberschwingungsabhängigen Zusatzverluste im Verhältnis zu Verlusten sinusförmiger Spannungen	0,15 für Motoren mit einer Bemessungsausgangsleistung bis 90 kW 0,25 für Motoren mit einer Bemessungsausgangsleistung über 90 kW	keine	(24)

Die Gleichung in 5.3.2 gilt für Nennfluss im Motor. Wenn das CDM den Motor bei 100 % der Drehzahl nicht mit dem Nennwert der Grundschrwingungsmotorspannung versorgen kann, dann werden die Verluste im Motor aufgrund des höheren Motorstroms höher sein als nach 5.3.2 berechnet. Um dies zu berücksichtigen müssen die Motorverluste in Gleichung (27) korrigiert werden.

Gleichung (26) liefert den Korrekturfaktor x .

$$x = \frac{U_{r,Mot}}{U_{fundamental,CDM}} \quad (26)$$

Für das Referenzsystem beträgt die Bemessungsmotorspannung 400 V und die Grundschrwingungsspannung vom CDM beträgt 360 V, dies führt zu $x = 1,11$.

In real vorhandenen Systemen können die Istwerte von Bemessungsmotorspannung und Grundschrwingungsspannung des CDM verwendet werden.

5.4 Referenz-PDS (RPDS)

5.4.1 Verluste des Referenz-PDS

Die sich ergebenden elektrischen Verlustleistungen des PDS in einem bestimmten Arbeitspunkt bei einer spezifischen Drehzahl (n) und einem spezifischen Drehmoment (T) sind die Summe der elektrischen Verlustleistungen der Teilkomponenten des PDS, siehe Gl. (27)

$$P_{L,PDS(n;T)} = P_{L,CDM(n;T)} + P_{LAux(n;T)} + P_{LMot(n;T)} \quad (27)$$

$P_{L,CDM}$ sind die Verluste des CDM nach den Verfahren aus 5.2.

$P_{L,Mot}$ sind die Verluste des Motors nach den Verfahren aus 5.3.

$P_{L,Aux}$ sind die Verluste der Hilfseinrichtungen nach den Verfahren aus Anhang B.

^{N3)} Nationale Fußnote: Die zweifache Verwendung der Tabellenüberschrift „Tabelle 17“ wird aus prEN 50598-2:2013 übernommen, damit dieser Entwurf zum europäischen Schriftstück konsistent ist.