

	DIN IEC 60034-20-2 (VDE 0530-20-2)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
<div>ICS 29.160.30<div>Einsprüche bis 2009-07-04</div></div>		
<div>Entwurf</div>		
<div>Drehende elektrische Maschinen – Teil 20-2: Betriebseigenschaften und Prüfvorschriften für bürstenlose Motoren mit Dauermagneten (IEC 2/1533/CD:2008)</div> <div>Rotating Electrical Machines – Part 20-2: Performance characteristics and testing specifications for Brushless Permanent Magnet Motors (IEC 2/1533/CD:2008)</div>		
<div>Anwendungswarnvermerk</div> <div>Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2009-04-27 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.</div> <div>Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.</div> <div>Stellungnahmen werden erbeten</div> <div><div><div>– vorzugsweise als Datei per E-Mail an dke@vde.com in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden</div><div>– oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.</div></div></div> <div>Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.</div>		
<div>Gesamtumfang 120 Seiten</div>		
<div>DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE</div>		

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort	4
Einleitung	9
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	11
4 Kenngrößen des bürstenlosen Motors mit Dauermagneten	18
4.1 Daten von Drehzahl-Drehmoment und Abtriebswelle	19
4.2 Gestrichen	21
4.3 Verlustleistung	21
4.4 Mechanische Angaben	22
4.5 Optionen	22
4.6 Leistungsschild	23
5 Übergang von bürstenlosem Motor mit Dauermagneten zum Umrichter	23
5.1 Drehmomentbemessung	23
5.2 Spannung an Motoranschlussklemmen	25
5.3 Common-Mode-Spannung	26
6 Prüfverfahren	26
6.1 Motorbauartprüfung (Überprüfung der Motorauslegung) für Herstellerangaben	26
6.2 Stückprüfungen (Fertigungskontrollen)	33
6.3 Probemontage des Motors	35
Anhang A (normativ) Veröffentlichte Daten	36
Anhang B (normativ) Blockschaltbilder der Regelung	41
Anhang C (normativ) Wärmeoptimierung	45
Anhang D (normativ) Vergleich der Rückführeinrichtungen	49
Anhang E (normativ) Auslegung eines bürstenlosen Motors mit Dauermagneten	50
Anhang F (normativ) Verfahren zur Bewertung der Drehmomentwelligkeit eines Antriebssystems	59

Bilder

Bild 4.1-1 – Typische Angabe einer Drehzahl-Drehmomentkennlinie	19
Bild 5.1-1 – Drehzahl-/Drehmoment-Kennlinie mit Feldschwächung	24
Bild 6.1-2 – Prüfanordnung zur Messung des Rastmoments	29
Bild B.1 – Ersatzblockschaltbild der Regelung für Kt	41
Bild B.2 – Ersatzblockschaltbild für Ke	42
Bild B.3 – Ersatzblockschaltbild der Regelung für Umrichter, Motor, Belastung und Servo	42
Bild B.4 – Ersatzschaltbild der Wellenspannung	43
Bild C.1 – Diagramm des Ersatzschaltbilds für Verlustabfuhr	46

	Seite
Bild E.1 – Typische Abschlagswerte bei Umgebungstemperaturen über 40 °C.....	50
Bild E.2 – Beispiel eines Lastspiels.....	51
Bild E.3 – Motorauswahl je nach Lastspiel (Beispiel)	53
Bild E.4 – Typische Abschlagswerte für eine Arbeitsmaschine mit kleinerer Flanschfläche	54
Bild E.5 – Wärmemodell mit in Arbeitsmaschine eingebauter Spannungsquelle	54
Bild E.6 – Typische Abschlagswerte für eine Arbeitsmaschine	55
Bild E.7 – Angriffspunkt der Kräfte am Wellenzapfen.....	55
Bild E.8 – Biegekraft bei einem Abstand x vom Wellenbund.....	56
Bild E.9 – Typische Grenzwerte für die Lebensdauer von Wellen.....	56
Bild F.1 – Prüfanordnung zur Messung von Drehmomentwelligkeiten bei niedrigen Drehzahlen.....	60
Bild F.2 – Typische Messung von Drehzahlschwankungen im Leerlauf.....	61
Bild F.3 – Typische Frequenzkomponenten des Rastmoments	61
Bild F.4 – Typische Frequenzkomponenten des Rastmoments als Funktion der Motordrehzahl	62
Tabellen	
Tabelle 5.1 – Beispiele für Spannungen an den Motoranschlussklemmen.....	25
Tabelle D.1 – Rückführeinrichtungen.....	49

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 2/1533/CD:2008 „Rotating Electrical Machines – Part 20-2: Performance characteristics and testing specifications for Brushless Permanent Magnet Motors“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 2 „Rotating machinery“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann 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 CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 311 „Drehende elektrische Maschinen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, 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.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
Normen der Reihe EN 60034	Normen der Reihe IEC 60034	Normen der Reihe DIN EN 60034 (VDE 0530)	Normen der Reihe VDE 0530
EN 60034-1	IEC 60034-1	DIN EN 60034-1 (VDE 0530-1)	VDE 0530-1
EN 60034-2 + A1, A2	IEC 60034-2 + A1, A2	DIN EN 60034-2 (VDE 0530-2)	VDE 0530-2
EN 60034-5 + A1	IEC 60034-5 + Corr., A1	DIN EN 60034-5 (VDE 0530-5)	VDE 0530-5
EN 60034-6	IEC 60034-6	DIN EN 60034-6 (VDE 0530-6)	VDE 0530-6
EN 60034-7 + A1	IEC 60034-7 + A1	DIN EN 60034-7 (VDE 0530-7)	VDE 0530-7
EN 60034-8	IEC 60034-8	DIN EN 60034-8 (VDE 0530-8)	VDE 0530-8
EN 60034-9 + A1	IEC 60034-9 modifiziert + A1	DIN EN 60034-9 (VDE 0530-9)	VDE 0530-9
–	–	DIN EN 60034-9 Ber 1 (VDE 0530-9 Ber 1)	VDE 0530-9 Ber 1
EN 60034-11	IEC 60034-11	DIN EN 60034-11 (VDE 0530-11)	VDE 0530-11
EN 60034-14 + A1	IEC 60034-14 + A1	DIN EN 60034-14 (VDE 0530-14)	VDE 0530-14
EN 60034-18-1	IEC 60034-18-1 + Corr.	DIN EN 60034-18-1 (VDE 0530-18-1)	VDE 0530-18-1
EN 60034-18-1/A1	IEC 60034-18-1/A1	DIN EN 60034-18-1/A1 (VDE 0530-18-1/A1)	VDE 0530-18-1/A1
EN 60034-18-21	IEC 60034-18-21	DIN EN 60034-18-21 (VDE 0530-18-21)	VDE 0530-18-21
EN 60034-18-21/A1	IEC 60034-18-21/A1	DIN EN 60034-18-21/A1 (VDE 0530-18-21/A1)	VDE 0530-18-21/A1
EN 60034-18-21/A2	IEC 60034-18-21/A2	DIN EN 60034-18-21/A2 (VDE 0530-18-21/A2)	VDE 0530-18-21/A2
EN 60034-18-22	IEC 60034-18-22	DIN EN 60034-18-22 (VDE 0530-18-22)	VDE 0530-18-22
–	IEC/TS 60034-18-41	DIN IEC/TS 60034-18-41 (VDE V 0530-18-41)	VDE V 0530-18-41
CLC/TS 60034-25	IEC/TS 60034-25	DIN CLC/TS 60034-25 (VDE V 0530-25)	VDE V 0530-25
–	IEC/TS 60034-27	–	–
EN 60068-1	IEC 60068-1 + Corr., A1	DIN EN 60068-1	–
EN 60068-2-1	IEC 60068-2-1	DIN EN 60068-2-1 (VDE 0468-2-1)	VDE 0468-2-1
EN 60068-2-6	IEC 60068-2-6	DIN EN 60068-2-6 (VDE 0468-2-6)	VDE 0468-2-6
EN 60068-2-27	IEC 60068-2-27	DIN EN 60068-2-27	–
EN 60068-2-29	IEC 60068-2-29	DIN EN 60068-2-29	–
EN 60068-2-75	IEC 60068-2-75	DIN EN 60068-2-75	–
–	IEC 60072-1	–	–

Tabelle NA.1 (fortgesetzt)

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
Normen der Reihe EN 60079	Normen der Reihe IEC 60079	Normen der Reihe DIN EN 60079 (VDE 0170)	Normen der Reihe VDE 0170
EN 60204-1	IEC 60204-1 modifiziert	DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1)	VDE 0113-1
–	IEC 60536-2 ^{*)}	–	–
EN 60664-1	IEC 60664-1	DIN EN 60664-1 (VDE 0110-1)	VDE 0110-1
EN 60721-33	IEC 60721-3-3	DIN EN 60721-3-3	–
EN 60721-3-3/A2	IEC 60721-3-3/A2	DIN EN 60721-3-3/A2	–
EN 61800-5-1	IEC 61800-5-1	DIN EN 61800-5-1 (VDE 0160-105-1)	VDE 0160-105-1
–	ISO 281, IDT	DIN ISO 281	–
–	ISO 1940-1, IDT	DIN ISO 1940-1	–
	ISO 1940-1 Technical Corr.1, IDT	DIN ISO 1940-1 Ber 1	
–	ISO 8821, IDT	DIN ISO 8821	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN CLC/TS 60034-25 (VDE V 0530-25), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 25: Leitfaden für den Entwurf und das Betriebsverhalten von Induktionsmotoren mit Käfigläufer, die speziell für Umrichterbetrieb bemessen sind*

DIN EN 60034-1 (VDE 0530-1), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 1: Bemessung und Betriebsverhalten*

DIN EN 60034-2 (VDE 0530-2), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 2: Verfahren zur Bestimmung der Verluste und des Wirkungsgrades von drehenden elektrischen Maschinen aus Prüfungen (ausgenommen Maschinen für Schienen- und Straßenfahrzeuge)*

DIN EN 60034-5 (VDE 0530-5), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 5: Schutzarten aufgrund der Gesamtkonstruktion von drehenden elektrischen Maschinen (IP-Code) – Einteilung*

DIN EN 60034-6 (VDE 0530-6), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 6: Einteilung der Kühlverfahren (IC-Code)*

DIN EN 60034-7 (VDE 0530-7), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 7: Klassifizierung der Bauarten, der Aufstellungsarten und der Klemmkasten-Lage (IM-Code)*

DIN EN 60034-8 (VDE 0530-8), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 8: Anschlussbezeichnungen und Drehsinn*

DIN EN 60034-9 (VDE 0530-9), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 9: Geräuschgrenzwerte*

^{*)} Ersetzt durch IEC 61140:2001 + A1:2004, modifiziert, veröffentlicht als DIN EN 61140 (VDE 0140-1):2007.

DIN EN 60034-9 Berichtigung 1 (VDE 0530-9 Berichtigung 1), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 9: Geräuschgrenzwerte*

DIN EN 60034-11 (VDE 0530-11), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 11: Thermischer Schutz*

DIN EN 60034-14 (VDE 0530-14), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 14: Mechanische Schwingungen von bestimmten Maschinen mit einer Achshöhe von 56 mm und höher – Messung, Bewertung und Grenzwerte der Schwingstärke*

DIN EN 60034-18-1 (VDE 0530-18-19), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 18: Funktionelle Bewertung von Isoliersystemen; Hauptabschnitt 1: Allgemeine Richtlinien*

DIN EN 60034-18-1/A1 (VDE 0530-18-1/A1), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 18: Funktionelle Bewertung von Isoliersystemen; Hauptabschnitt 1: Allgemeine Richtlinien*

DIN EN 60034-18-21 (VDE 0530-18-21), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 18: Funktionelle Bewertung von Isoliersystemen; Hauptabschnitt 21: Prüfverfahren für Runddrahtwicklungen; Thermische Bewertung und Klassifizierung*

DIN EN 60034-18-21/A1 (VDE 0530-18-21/A1), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 18: Funktionelle Bewertung von Isoliersystemen; Hauptabschnitt 21: Prüfverfahren für Runddraht-Wicklungen; Thermische Bewertung und Klassifizierung*

DIN EN 60034-18-21/A2 (VDE 0530-18-21/A2), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 18: Funktionelle Bewertung von Isoliersystemen; Hauptabschnitt 21: Prüfverfahren für Runddraht-Wicklungen; Thermische Bewertung und Klassifizierung*

DIN EN 60034-18-22 (VDE 0530-18-22), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 18-22: Funktionelle Bewertung von Isoliersystemen – Prüfverfahren für Runddrahtwicklungen – Klassifizierung von Änderungen und Substitutionen von Systemkomponenten*

DIN EN 60068-1, *Umweltprüfungen – Teil 1: Allgemeines und Leitfaden*

DIN EN 60068-2-1 (VDE 0468-2-1), *Umgebungseinflüsse – Teil 2-1: Prüfverfahren – Prüfung A: Kälte*

DIN EN 60068-2-6 (VDE 0468-2-6), *Umgebungseinflüsse – Teil 2-6: Prüfverfahren – Prüfung Fc: Schwingen (sinusförmig)*

DIN EN 60068-2-27, *Umweltprüfungen – Teil 2: Prüfungen; Prüfung Ea und Leitfaden: Schocken*

DIN EN 60068-2-29, *Umweltprüfungen – Teil 2: Prüfungen; Prüfung Eb und Leitfaden: Dauerschocken*

DIN EN 60068-2-75, *Umweltprüfungen – Teil 2: Prüfungen; Prüfung Eh: Hammerprüfungen*

DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1), *Sicherheit von Maschinen – Elektrische Ausrüstung von Maschinen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen*

DIN EN 60664-1 (VDE 0110-1), *Isolationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen – Teil 1: Grundsätze, Anforderungen und Prüfungen*

DIN EN 60721-3-3, *Klassifizierung von Umweltbedingungen – Teil 3: Klassen von Umwelteinflußgrößen und deren Grenzwerte; Hauptabschnitt 3: Ortsfester Einsatz, wettergeschützt*

DIN EN 60721-3-3/A2, *Klassifizierung von Umweltbedingungen – Teil 3: Klassen von Umwelteinflußgrößen und deren Grenzwerte; Hauptabschnitt 3: Ortsfester Einsatz, wettergeschützt*

DIN EN 61800-5-1 (VDE 0160-105-1), *Elektrische Leistungsantriebssysteme mit einstellbarer Drehzahl – Teil 5-1: Anforderungen an die Sicherheit – Elektrische, thermische und energetische Anforderungen*

— Entwurf —

E DIN IEC 60034-20-2 (VDE 0530-20-2):2009-05

DIN IEC/TS 60034-18-41 (VDE V 0530-18-41), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 18-41: Qualifizierung und Typprüfung elektrischer Isoliersysteme vom Typ I in drehenden elektrischen Maschinen, die von Spannungsumrichtern gespeist werden*

DIN ISO 281, *Wälzlager – Dynamische Tragzahlen und nominelle Lebensdauer*

DIN ISO 1940-1, *Mechanische Schwingungen – Anforderungen an die Auswuchtgüte von Rotoren in konstantem (starrem) Zustand – Teil 1: Festlegung und Nachprüfung der Unwuchttoleranz*

DIN ISO 1940-1 Berichtigung 1, *Berichtigungen zu DIN ISO 1940-1*

DIN ISO 8821, *Mechanische Schwingungen; Vereinbarung über die Paßfeder-Art beim Auswuchten von Wellen und Verbundteilen*

Normen der Reihe DIN EN 60034 (VDE 0530), *Drehende elektrische Maschinen*

Normen der Reihe DIN EN 60079 (VDE 0170), *Elektrische Betriebsmittel für gasexplosionsgefährdete Bereiche*

Einleitung

In diesem Fachbericht wird der allgemeine Gebrauch der Bemessungsdaten und Kenngrößen von Motoren und deren Prüfverfahren erläutert.

Dieser Bericht richtet sich an Käufer und Endnutzer von bürstenlosen Motoren mit Dauermagneten.

Jeder Abschnitt gliedert sich wie folgt:

- Motor-Kenngrößen;
- thermische Betriebsumgebung;
- Wellendrehmoment, Strom, Drehzahl und Leistung;
- Wicklungs- und Spannungs-Bemessungsdaten;
- Verlustleistung;
- Mechanik.

Aufgrund der komplexen technischen Beziehungen innerhalb des Systems und der vielfältigen Betriebsbedingungen ist es nicht Thema und Ziel dieses Fachberichts Zahlen- und Grenzwerte für alle Größen anzugeben, die für die Auslegung eines Antriebssystems von Bedeutung sind.

Dieser Bericht berücksichtigt keinerlei Sicherheitsaspekte des Motors oder der Anlage, da diese in vielen unter normativen Verweisungen aufgelisteten Normen enthalten sind.

1 Anwendungsbereich

Soweit nicht bereits durch 60034-1, 60034-18 und 60034-25 abgedeckt, sollen die Betriebs-Kenngrößen sowie die Bedingungen für Typ- und Stückprüfungen von bürstenlosen Servomotoren mit Dauermagneten definiert werden. Die Motoren sind speziell für den Betrieb in einem Antriebssystem ausgelegt, dessen Netzspannung auf AC 1 kV begrenzt ist.

Für Motoren innerhalb des Anwendungsbereichs dieses Fachberichts gelten ebenfalls die allgemeinen Bedingungen der entsprechenden Teile aus der IEC 60034-Reihe.

ANMERKUNG 1 Für Motoren, die in möglicherweise explosiver Umgebung betrieben werden, gelten die in IEC 60079 beschriebenen Bedingungen.

ANMERKUNG 2 Dieser Fachbericht beschäftigt sich nicht vorrangig mit Sicherheitsaspekten. Einige Empfehlungen können dennoch Sicherheitsaspekte betreffen und sollten ggf. beachtet werden.

ANMERKUNG 3 Spezielle Inbetriebnahmeempfehlungen von Umrichterhersteller sollten Vorrang vor in diesem Bericht gegebenen Empfehlungen haben.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente 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).

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

IEC 60034-2, *Rotating electrical machines – Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles)*

IEC 60034-5, *Rotating electrical machines – Part 5: Degrees of Protection*

— Entwurf —

E DIN IEC 60034-20-2 (VDE 0530-20-2):2009-05

IEC 60034-6, *Rotating electrical machines – Part 6: Methods of cooling (IC Code)*

IEC 60034-7, *Rotating electrical machines – Part 7: Classification of types of constructions and mounting arrangements (IM code)*

IEC 60034-8, *Rotating electrical machines – Part 8: Terminal markings and direction of rotation*

IEC 60034-9, *Rotating electrical machines – Part 9: Noise limits*

IEC 60034-11, *Rotating electrical machines – Part 11: Thermal protection*

IEC 60034-14, *Rotating electrical machines – Part 14: Mechanical vibration of certain machines with shaft heights 56 mm and higher – Measurement, evaluation and limits of vibration severity*

IEC 60034-18-1, *Rotating electrical machines – Part 18-1: Functional evaluation of insulation systems-General Guidelines*

IEC 60034-18-21, *Rotating electrical machines – Part 18-2:1 Functional evaluation of insulation systems-Test procedures for wire-wound windings- thermal evaluation and classification*

IEC 60034-18-22, *Rotating electrical machines – Part 18-22: Functional evaluation of insulation systems-Test procedures for wire-wound windings- Classification of changes and insulation component substitutions*

IEC 60034-18-41, *Rotating electrical machines – Part 18-41: Functional evaluation of insulation systems- Qualification and type tests for type I electrical insulation systems used in rotating electrical machines fed from voltage converters.*

IEC 60034-25, *Rotating electrical machines Part 25: Guide for the design and performance of a.c. motors specifically designed for converter supply*

IEC 60034-27, *Rotating electrical machines Part 27: Partial discharge off-line measurements on stator winding insulation of rotating machinery (Under development)*

IEC 60034-20-2, IEC:200X-7-2/1533/CD

IEC 60068-1, *Environmental testing Part 1: General guidance*

IEC 60068-2-1, *Environmental testing*

IEC 60068-2-6, *Environmental testing- vibration (sinusoidal)*

IEC 60068-2-27, *Environmental testing- shock*

IEC 60068-2-29, *Environmental testing- bump*

IEC 60068-2-75, *Environmental testing- hammer tests*

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

ISO 1940-1, *Mechanical Vibration – Balance quality requirements for rotors in constant (rigid) state- Part 1 Specification and verification of balance tolerances*

ISO 8821, *Mechanical balancing of rotating machinery: shaft and fitment key convention*

ISO 281, *Roller Bearings – Dynamic load ratings and rating life*

IEC 60536-2, *Classes of equipment and protective provisions – Part 2: Guide to requirements for protection against electric shock*

IEC 60664-1, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 60721-3-3, *Classification of environmental conditions. Classification of groups of environmental parameters and their severities. Stationary use at weather protected locations*

3 Begriffe

3.1

Bürstenloser Motor mit Dauermagneten

Motor mit Dauermagneten im Läufer und umrichter gespeisten Wicklungen

3.1.1

Bürstenloser Wechselstrommotor mit Dauermagneten

bürstenloser Motor mit Dauermagneten mit sinusförmiger induzierter Spannung mit Speisung durch einen Umrichter mit Puls-Weiten-Modulation (PWM-Umrichter)

3.1.2

Bürstenloser Gleichstrommotor mit Dauermagneten

bürstenloser Motor mit Dauermagneten mit trapezförmiger induzierter Spannung und Speisung durch einen Blockumrichter

3.1.3

Servomotor

Motorsystem, das unempfindlich gegenüber Änderungen des Belastungs-Drehmoments ist und sehr schnell auf Störungen des Drehmoments reagiert

Servomotoren sind in einen Regelkreis eingebettet und für höchste dynamische Betriebseigenschaften ausgelegt und gefertigt. Kennzeichnend für sie sind: geringe Trägheit des Läufers im Hinblick auf hohe Beschleunigung; hohe Überlastkapazität; Laufruhe; geringe Drehmomentwelligkeit; großer Betriebsdrehzahlbereich.

3.2 Umgebung / Temperatur

3.2.1

Umgebungstemperatur

$T_{\text{Umg}} [^{\circ}\text{C}]$

Raumtemperatur der Luft der Motorumgebung gemessen in Grad Celsius. In den Angaben der Motorenhersteller ist normalerweise die maximale Umgebungstemperatur angegeben, für die alle Daten gültig sind. Nach IEC 60034-1 beträgt die Bezugsumgebungstemperatur 40 °C bei luftgekühlten und 25 °C bei flüssigkeitsgekühlten Maschinen

3.2.2

Wicklungserwärmung

$\Delta T [\text{K}]$

Erwärmung der Motorwicklungen unter festgelegten Betriebsbedingungen über die maximale Bezugsumgebungstemperatur hinaus

3.2.3

Kühlverfahren

wie in IEC 60034-6 definiert erfolgt der Wärmeaustausch bei Servomotoren mit Dauermagneten normalerweise durch freie Konvektion (Eigenkühlung) und/oder über den Befestigungsflansch. Bürstenlose Motoren mit Dauermagneten können lüftergekühlt werden

3.3 Bemessungsdaten von Motorwelle/Drehmoment-Drehzahl/Leistung

3.3.1

Stillstandsmoment

M_0 [Nm]

durch die Erwärmungsgrenze bestimmtes Drehmoment bei Stillstand des Motors. Bei bürstenlosen Motoren mit Dauermagneten ist die Betriebsart S1 (Dauerbetrieb) bei Stillstand der Normalzustand

Es ist anzumerken, dass der Strom bei festgebremstem Läufer in einer Phase bis zu 2 größer sein kann als der Bemessungs-Stillstandsstrom, wobei dieser Zustand nicht dauerhaft gehalten werden kann. Bei längeren Zeitintervallen (d. h. länger als die thermische Zeitkonstante des Motors) und wenn ein Drehmoment im Stillstand aufgebracht werden soll, ist zwischen dem Hersteller und dem Anwender zu vereinbaren, wie diese Bedingungen zu handhaben sind.

3.3.2

Stillstandsstrom

I_0 [A eff]

Effektivwert des Stroms, der erforderlich ist, um das Stillstandsmoment zu erzeugen

3.3.3

Bemessungsmoment

$M_n^{N1)}$ [Nm]

Drehmoment, das der Motor bei Bemessungsdrehzahl n_n erzeugt

Thermisch zulässiges Drehmoment für Betriebsart S1 (Dauerbetrieb) bei Bemessungsdrehzahl des Motors. Aufgrund von Rotationsverlusten ist dies normalerweise kleiner als das Stillstandsmoment, es sei denn der Motor ist durch einen auf der Welle montierten Lüfter gekühlt.

3.3.4

Bemessungsstrom

$I_n^{N1)}$ [A eff]

Effektivwert des Stroms, der erforderlich ist, um das Bemessungsmoment zu erzeugen

Für den Betrieb eines Antriebssystems ist es sinnvoll, die Phasenströme I_a I_b I_c in Abhängigkeit von der Läuferstellung auszudrücken und dann die Ströme in I_d I_q umzurechnen.

3.3.4.1

Längs- und Querstrom

I_q ist der Querstrom; dies ist die Stromkomponente, die innerhalb des Bezugssystems das Drehmoment erzeugt

I_d ist der Längsstrom, der normalerweise vom Umrichter auf Null geschaltet wird. Er kann dazu verwendet werden, den Drehzahlbereich durch Feldschwächung auszudehnen.

3.3.5

Drehmoment

M_{eff} [Nm]

Effektivwert des Drehmoments einer Anwendung während eines kompletten Lastspiels

$$M_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{\sum M_{ti}^2 \cdot \Delta t_i}{T}}$$

M_{ti} Drehmoment mit der Dauer t_i

T Gesamtzeit eines Lastspiels

^{N1)} Im englischen Text wird fälschlicherweise der Index „n“ statt „N“ verwendet.

3.3.6

Spitzendrehmoment

M_p [Nm]

höchstes Drehmoment, das von einem Servomotor erzeugt werden kann

3.3.7

Spitzenstrom (Höchststrom)

$I_{\max}$ [A]

Strom, um das Spitzendrehmoment zu erzeugen

Ein selbst kurzfristiges Überschreiten dieses Motorgrenzwertes kann eine irreversible Entmagnetisierung zur Folge haben.

3.3.8

Drehmomentwelligkeit

Drehzahlwelligkeit

[%]

unerwünschte Welligkeit, die, verursacht durch Oberschwingungen im Rückführkreis, das/die konstante Ausgangsdrehmoment/-drehzahl überlagert. Die Oberschwingungen entstehen durch: Rastmoment, nicht idealer Verlauf der vom Rotor in den Wicklungen induzierten Spannung, Fehler in einem Rückführungselement, elektrische Störungen, Fehler im Regelsystem etc.

3.3.8.1

Rastmoment

w_m [%]

das Rastmoment resultiert aus der Wechselwirkung zwischen den Magnetflanken und den Zähnen des Ständers. Das Rastmoment bewirkt eine unvorhergesehene Welligkeit des Drehmoments, insbesondere bei niedrigeren Drehzahlen. Das Rastmoment wird üblicherweise als Prozentsatz des Stillstandsmoments ausgedrückt

$$w_m = \frac{\sqrt{\sum_i m_i^2}}{M_0}$$

Dabei ist

w_m Rastmoment

m_i Spitzenwert des Drehmoments der Frequenzkomponente i

M_0 Stillstandsmoment

Der Grundfrequenzanteil sollte zusammen mit dem Wert des Rastmoments angegeben werden.

3.3.9

Bemessungswinkelgeschwindigkeit

ω bzw. n [n^{-1}]^{N1)}

Drehzahl, bei der der Motor mit maximaler Ausgangsspannung von Grundfrequenz des Umrichters betrieben werden soll, um einen angemessenen Regelbereich oberhalb dieser Drehzahl zu erhalten

Drehzahl, bei der der Motor so bemessen ist, dass das Bemessungsdrehmoment erzeugt werden kann.

ANMERKUNG Aus praktischen Erwägungen wird üblicherweise die Drehzahl als Effektivwert ausgedrückt.

Die Kombination aus Drehzahl und Drehmoment wird durch die Drehmoment-/Drehzahlkennlinie bei Dauerbetrieb festgelegt. Bevorzugte Werte für die Bemessungsdrehzahl sind 500, 800, 1 000, 1 500, 2 000, 2 500, 3 000, 3 500, 4 500, 5 000, 6 000, 10 000 und 15 000 min⁻¹.

3.3.10

Höchstzahl

$n_{\max}$

die Höchstzahl wird auf vielfache Weise und in Abhängigkeit von den Grenzwerten für die Auslegung der verschiedenen Komponenten des Antriebssystems eingeschränkt. Es können mechanische und elektrische Grenzwerte unterschieden werden.

3.3.10.1

Mechanische Zahl

$n_{\max \text{ mech}}$

Höchstzahl der Welle, begrenzt durch mechanische Bedingungen der umlaufenden Teile, wie z. B. Fliehkräfte, Reibungsverluste, Lagerzahl oder Wärmeentwicklung, hervorgerufen durch Reibung an der Lippendichtung

3.3.10.2

Elektrische Zahl

$n_{\max \text{ elec}}$

Höchstzahl der Welle, elektrisch begrenzt durch die Umrichterspannung bzw. die Bandbreite

Der Grundanteil der Ausgangsspannung des Wechselrichters bestimmt den maximalen Drehmoment-/Zahlbereich des Servo-Umrichtersystems. In diesem Fall ist die vom Motor erzeugte Gegeninduktionsspannung gleich der vom Umrichter erzeugten Grund- Effektivwechselspannung.

Die höchste elektrische Zahl kann ebenfalls durch die Bandbreite des verwendeten Rückführgeräts oder Umrichters begrenzt werden.

Die höchste erreichbare Zahl hängt davon ab, ob Feldschwächung verfügbar ist, und wenn dem so ist, das Drehmoment für die Last bei höchster Zahl ausreicht. Dies wird durch den Ausgangsstrom des Wechselrichters oder die Spannungsfestigkeit der Isolierung des Wechselrichters begrenzt.

3.3.11

Höchstbeschleunigung

$Acc_{\max}$

Höchstbeschleunigung, die ein Motor ohne Last erzeugen kann und die normalerweise durch das Spitzendrehmoment und die Trägheit des Läufers bestimmt wird. Die Beschleunigung ist begrenzt durch mechanische Bedingungen der umlaufenden Teile, wie z. B. Rutschen der Kugellager, Fliehkräfte in Zusammenhang mit hohen Drehmomentkräften auf die Magneten. Der Höchstwert sollte mit Hilfe von Dauerprüfungen verifiziert und dann angegeben werden

$$Acc_{\max} = M_p / J_{\text{rot}}$$

In der Praxis ist der Motor immer mit einem Lastträgheitsmoment verbunden, so dass der Wert unter vorstehendem liegt.

3.3.12

Bemessungsleistung

$P_n^{N^{(1)}} \text{ [kW]}$

die (mechanische) Ausgangsleistung des Motors bei BemessungsZahl und Dauerbetrieb

$$P_N \text{ [W]} = M_N \text{ [Nm]} \cdot \omega \text{ [rad s}^{-1}\text{]}^{N^{(1)}}$$

oder

$$P_N \text{ [W]} = M_N \text{ [Nm]} \cdot (2 \pi / 60) \cdot n \text{ [n min}^{-1}\text{]}^{N^{(1)}}$$

3.3.13

Drehmomentkonstante

$K_t \text{ [Nm/A]}$

das Verhältnis vom Effektivwert des Phasenstroms zum übertragenen Drehmoment wird als Drehmomentkonstante bezeichnet und wird für eine bestimmte stationäre Motorwicklungstemperatur angegeben. Es ist anzumerken, dass K_t normalerweise für die Bemessungstemperatur des Motors angegeben wird und demnach unter dem Wert bei Raumtemperatur liegt. Aufgrund der Eisensättigung ändert sich K_t mit zunehmendem Strom

Bei einem Motor bei Raumtemperatur und im Leerlauf würde K_t

$K_t = 3 K_e$ (SI-Einheiten) betragen.

3.4 Motorwicklungen und Spannungsbemessungsdaten

3.4.1

Gegeninduktionskonstante

K_e [V/rad s⁻¹] [V/n]

das Verhältnis von effektiver Gegeninduktionsspannung des Motors zu der entsprechenden Läufer-Winkelgeschwindigkeit wird Gegeninduktionskonstante genannt

$$K_e = U_{ac} / \omega \text{ [V/rad}^{-1}\text{]}$$

Sie wird üblicherweise als Effektivwert der Netzspannung bei einer Drehzahl von 1 000 min⁻¹ und einer Wicklungstemperatur von 20 °C ausgedrückt.

Die Einheit von K_e ist Volt Sekunde.

3.4.2

Gegeninduktionsspannung

V_{ac}

Effektivwert der induzierten Spannung an den Motoranschlussklemmen bei Drehung der Welle

Diese Spannung ist direkt proportional zur Wellendrehzahl.

$$V_{ac} = n K_e$$

3.4.3

Wellenspannung

[V]

in der Welle (Läufer) induzierte Spannung, die relativ zum Motorkörper ist und die durch die Common-Mode-Spannung des Umrichters erzeugt wird. Letztere entsteht durch die Ständer-/Querkapazität parallel zur Ständer-/Läuferkapazität und der Läufer-/Querkapazität. Die Wellenspannung ist der Teil, der durch die Läufer-/Querkapazität produziert wird

3.4.3.1

Common-Mode-Spannung

V_{cm}

Durchschnittswert der Spannung aller Phasenverbindungen. Dies ist die Spannung an der Sternschaltung der Motorwicklung

3.4.4

Wicklungswiderstand

R_{ph} [Ω]

Widerstand eines Motorstrangs bei 20 °C

Bei einer Konfiguration mit Sternschaltung wird der Widerstand zwischen zwei Phasen als R_{ph-ph} gemessen. Um den Wicklungswiderstand zu erhalten, ist das Ergebnis zu halbieren.

Es ist anzumerken, dass sich der Kupferwiderstand mit der Temperatur um $3,96 \cdot 10^{-3} / K$ erhöht, so dass der Wicklungswiderstand bei Arbeitstemperatur um 40 % höher als bei Umgebungstemperatur liegen kann.

3.4.5

Induktivität

Induktivität einer Phase bei 20 °C

Bei einer Konfiguration mit Sternschaltung erhält man die Wicklungsinduktivität durch Halbieren der zwischen zwei Phasen gemessenen Induktivität

3.4.5.1

Induktivität der Längsachse

L_d [H]

die Induktivität der Längsachse ist die Induktivität, wenn die Magnetachse des Läufers und des Ständers aufeinander ausgerichtet sind. Dies ist normalerweise der niedrigste Wert, der bei rotierender Welle gemessen wird

3.4.5.2

Induktivität der Querachse

L_q [H]

die Induktivität der Querachse ist die Induktivität, wenn die Magnetachse des Läufers und des Ständers senkrecht zueinander sind. Dies ist normalerweise der höchste Wert, der bei rotierender Welle gemessen wird

3.4.6

Elektrische Zeitkonstante

T_{el} [s]

Zeit, die der Strom braucht, um 63,2 % seines stationären Wertes zu erreichen, wenn eine Stufeneingangsspannung angelegt ist und der Läufer in der Längsachse steht. Sie wird berechnet durch Division der Induktivität der Längsachse (L_d) durch den Wicklungswiderstand bei 20 °C

$$T_{el} = L_d / R_{ph}$$

3.4.7

Wärmeklasse

die Temperaturbemessungsdaten der Wicklungsisolierung teilen sich nach IEC 60034-1 in die Wärmeklassen 130 (B), 155 (F) und 180 (H) auf

Die höchste Wicklungstemperatur sollte den Grenzwert der Wärmeklasse nicht überschreiten.

Es ist anzumerken, dass die Wicklungen bei Temperaturen unterhalb der maximalen Wärmeklasse betrieben werden können.

3.4.8

Wärmeschutz der Wicklung

Temperaturempfindlicher Fühler, der sich an der heißesten Stelle der Motorwicklungen befindet und die Wicklungstemperatur misst. (Gebräuchliche Geräte sind PTC PTO KTY)

3.4.9

Pole/Polpaare

die Anzahl der Pole entspricht der Anzahl der magnetischen Nord-/Südpole, die über den Umfang des Läufers verteilt sind. Die Anzahl der Polpaare entspricht der Hälfte der Pole

3.4.10

Kommutierung/Phasenverschiebung

alle bürstenlosen Motoren mit Dauermagneten erfordern ein Kommutierungssystem, damit an der Welle nicht nur im Stillstand, sondern auch bei Drehbewegung vom Umrichter ein optimales Drehmoment erzeugt wird, dessen Strom mit der Kurvenform der vom Läuferfeld induzierten Spannung synchronisiert ist. Die Läuferlage kann mit einer Rückführeinrichtung in Verbindung mit Umrichtersoftware bestimmt werden

Die Kommutierung muss mit Hilfe der genauen Lagebestimmung des Läufers zum Ständerfeld erfolgen. Dies geschieht üblicherweise mit Hilfe einer Rückführeinrichtung, die an einem Wellenende installiert ist. Die anfängliche Einstellung der Kommutierung erfolgt durch den Motorhersteller. Der Phasenwinkel zwischen Läufer- und Ständerfeld wird ebenfalls vom Hersteller festgelegt. Die Phasenverschiebung der Rückführeinrichtung kann entweder manuell auf einen vorbestimmten Winkel eingestellt werden oder im Motor programmiert und dann von Umrichter beim Hochfahren eingelesen werden.

Phasenverschiebungsfehler beim Einstellen des Kommutierungswinkels vermindern das Ausgangsdrehmoment des Motors um den Cosinus des fehlerhaften Winkels.

3.5 Verlustleistung

3.5.1

Verlustleistung im stationären Betrieb

Verluste, die der Motor in Betriebsart S1 abführen kann

3.5.1.1

Wärmewiderstand

[K/W]

Widerstand, der den von den Wicklungen zu einem bestimmten externen Punkt fließenden Wärmeverlusten entgegengesetzt wird

3.5.2

Transiente Verlustleistung

Verluste des Motors bei hoher Beschleunigung mit Spitzendrehmoment. Die Verlustleistung ist viel höher als im stationären Zustand, jedoch nur für eine begrenzte Zeitdauer

3.5.2.1

Wärmezeitkonstante der Wicklung

[s]

Zeit, die die Temperatur der Wicklung benötigt, um 63,2 % ihres Endwertes zwischen der Wicklung und einem festgelegten Punkt zu erreichen.

Bei konstanter Leistung unterscheidet sich die Zeitkonstante von der bei Kühlung.

Es wird normalerweise auf zwei kritische Zeitkonstanten verwiesen. Die Wicklung/Ständer-Zeitkonstante gibt einen Hinweis auf die Drehmomentüberlastbarkeit. Die Wicklung/Umgebung-Zeitkonstante ist viel länger, da sie den Eisenkern und die Motorkühlung mit einschließt und die Bemessungsleistung des Motors beeinflusst. Die Wicklung/Umgebung-Zeitkonstante hängt ebenfalls von den Umgebungsbedingungen und der Einbauart des Motors ab. Beim Messen der Zeitkonstanten sollten die Einbau- und Umgebungsbedingungen berücksichtigt werden.

3.6 Mechanisches

3.6.1

Masse und Trägheitsmoment

m [kg], J [kgm²]

definiert in IEC 60034-1

Es ist anzumerken, dass von den Herstellern üblicherweise kgcm² verwendet wird.

3.6.2

Bauformen und Aufstellung

definiert in IEC 60034-7

3.6.3

Schutzarten

definiert in IEC 60034-5

3.6.4

Shaft end concentricity squareness ^{N2)}

definiert in IEC 60072-1

3.6.5

Belastung von Radial- und Axiallagern. Last in N

definiert in ISO 281 Wälzlager – Dynamische Lastbemessungsdaten und Lebensdauer

Die zulässige radiale Last ist vom Hersteller in Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Lebensdauer anzugeben.

3.6.6

Drehsteifigkeit der Welle

C_t

Drehsteifigkeit vom Mittelpunkt des Läuferblechpakets zum Mittelpunkt des Wellenendes. Es handelt sich um die mechanische Steifigkeit der Welle.

Bei Spitzenlasten kann die Angabe der Rückführeinrichtung zur Lage der Abtriebswelle fehlerhaft sein, wodurch es zu Instabilitäten im System kommen kann.

3.6.7

Auswuchtung der Welle

definiert in ISO 1940-1, halbe Passfeder ISO 8821

3.6.8

Schwingstärke

definiert in IEC 60034-14

^{N2)} A. d. Ü.: Der englische Begriff ist in diesem Zusammenhang nicht bekannt.

3.6.9

Maximale Schallleistung

definiert in IEC 60034-25

3.6.10

Stoßbeanspruchung

Fähigkeit des Motors, Stoßbeanspruchungen in X-, Y- und Z-Richtung und axial bzw. radial direkt auf die Welle standzuhalten. Die schwächsten Punkte hinsichtlich axialer Stoßbeanspruchungen sind normalerweise die Rückführeinrichtung (insbesondere der Encoder mit Glasscheibe) und der Läufer/Welle

3.6.11

Beanspruchung durch Schütteln

der Motor kann in ein(e) Maschine/System eingebaut sein, die starke Vibrationen oder Schüttelbewegungen ausführen kann. Der Motor kann auch hohen Beschleunigungen in Richtung der X-, Y- und Z-Achse oder längs und quer der Welle ausgesetzt sein. Es handelt sich um die höchste Beanspruchung, der der Motor dauerhaft ohne Schaden standhalten kann

Prüfbedingungen definiert in IEC 60068-2-27, Grenzwerte in IEC 60721-3-3

3.6.12

Mechanische Zeitkonstante

t_{mech} [s]

die mechanische Zeitkonstante ist die Zeit, die der Motor benötigt, um auf 63,2 % seiner Endgeschwindigkeit zu beschleunigen, wobei der Motor mit einem Spannungssprung im geschlossenen Regelkreis versorgt wird

Die mechanische Zeitkonstante ergibt sich aus dem Tangens an eine theoretische Rampenfunktion durch den Ursprung.

Das Ersatzschaltbild des Servomotors benötigt die Trägheit des Läufers und der Last. Daher ist die mechanische Zeitkonstante des Motors allein nicht wirklich aussagekräftig, sie wird jedoch oft angegeben.

$$T_{\text{mech}} = 3 \cdot R_{\text{ph}} \cdot J \cdot K_e \cdot K_t \quad \text{bzw. ca. } t_{\text{mech}} = 3 \cdot R_{\text{ph}} \cdot J \cdot K_t^2$$

J	Trägheitsmoment des Motors
R_{ph}	Widerstand einer Phase der Ständerwicklung
K_e	elektrische Konstante
K_t	Drehmomentkonstante

4 Kenngrößen des bürstenlosen Motors mit Dauermagneten

Die aussagekräftigsten Kenngrößen eines bürstenlosen Motors mit Dauermagneten sind das Drehmoment und die Massenträgheit.

Das von der Abtriebswelle erzeugte Drehmoment ergibt sich aus folgenden Proportionalitäten:

- Drehmoment proportional Durchmesser³ x Länge bei gegebener Stromdichte
- Drehmoment proportional Durchmesser^{2,5} x Länge bei gegebenem Gesamtverlust W/m² über die Außenfläche

Die Massenträgheit der Welle wird gegeben durch die Proportionalität:

- Massenträgheit proportional Durchmesser⁴ bei gegebener Dichte

Es ist nicht immer ratsam, die Ausgangsleistung zur Bemessung eines bürstenlosen Motors mit Dauermagneten heranzuziehen, da das Volllastdrehmoment im Stillstand (Stillstandsmoment) erzeugt werden kann. In diesem Fall ist die vom Motor erzeugte mechanische Leistung gleich Null.

$$P = M \cdot \omega$$

$$P \quad \text{Leistung [W]}$$

$$M \quad \text{Drehmoment [Nm]}$$

$$\omega \quad \text{Winkelgeschwindigkeit [rad s}^{-1}\text{]} \quad \omega = 2 \pi n/60$$

Bürstenlose Motoren mit Dauermagneten werden üblicherweise nach dem Ausgangsdrehmoment (Nm Newtonmeter) bemessen. Teilweise wird die Bemessungsleistung verwendet. In diesem Fall muss die Bemessungsdrehzahl immer angegeben werden.

Der Hersteller gibt die Drehmomentbemessungsdaten des Motors an, mit denen der Endnutzer den Motor ohne Schaden verwenden kann. Wärme wird durch Leitung, Konvektion und Abstrahlung abgeleitet. Aus diesem Grund müssen die Umgebungstemperatur, die Wärmeklasse der Wicklungen und die Motor-aufstellung festgelegt und bekannt sein, um die Motorbemessungsdaten festlegen zu können.

Die meisten bürstenlosen Motoren mit Dauermagneten sind für einen hohen Schutzgrad und Selbstkühlung spezifiziert. Fremdbelüftete Kühlung der Wicklungen ist unüblich. Bei Einsatz von externen Lüftern sind diese normalerweise auf der Motorwelle montiert. Einige Motoren sind wassergekühlt.

Typische Bemessungsdaten von Herstellern:

- Betrieb: S1 – Dauerbetrieb IEC 60034-1;
- Betriebstemperatur: -15 °C bis 40 °C IEC 60034-1, Bemessungsdaten basieren auf 40 °C Umgebungstemperatur;
- Höhe: unter 1 000 m IEC 60034-1;
- Relative Luftfeuchtigkeit: 90 % nicht kondensierend IEC 60034-1;
- Schutzgrad: IEC 60034-5;
- Kühlverfahren: IEC 60034-6;
- angeflanscht, horizontal oder vertikal, IEC 60034-7 Typ N normal, IEC 60072-1;
- Wärmeklasse 155 (F), IEC 60034-18, Temperaturanstieg 100 K über Umgebungstemperatur;
- Auswuchtung nach ISO 1940-1, (halbe Passfeder) ISO 8821.

4.1 Daten von Drehzahl-Drehmoment und Abtriebswelle

Bürstenlose Motoren mit Dauermagneten sind mit Drehzahl-Drehmomentkennlinien versehen.

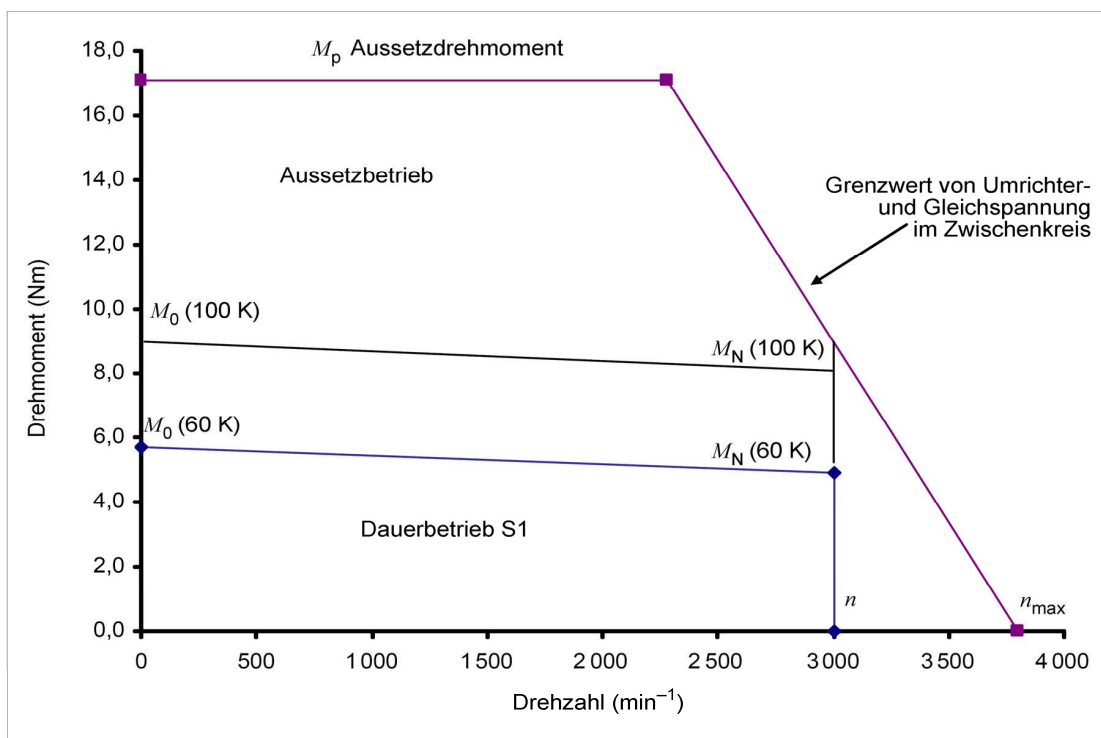


Bild 4.1-1 – Typische Angabe einer Drehzahl-Drehmomentkennlinie

Wichtige Punkte der Drehzahl-Drehmomentkennlinie sind:

4.1.1 Bemessungsdrehmoment / Stillstandsmoment M_n/M_0

Das im Beispiel angegebene nutzbare Drehmoment liegt im Dauerbetrieb S1 mit einem Temperaturanstieg von 100 K über der angegebenen Umgebungstemperatur.

Das maximale Drehmoment M_0 bei Stillstand und Dauerbetrieb wird Stillstandsmoment genannt. Es wird lediglich durch die Ableitung der Kupferverluste im Motor bzw. den maximal zulässigen Dauerstrom vom Umrichter begrenzt.

Bei einer Beschleunigung der Welle treten Rotationsverluste auf, die das verfügbare Drehmoment begrenzen; bei Bemessungsdrehzahl kann das Bemessungsmoment M_n erreicht werden.

Normalerweise wird die Bemessung des Drehmoments dadurch festgelegt, wie viel Leistung abgeleitet werden kann, bevor die maximale Temperatur der Motorwicklungen (bzw. der Grenzwert für die jeweilige Anwendung) erreicht wird. Dieser Temperaturgrenzwert des Motors wird üblicherweise festgelegt durch Angabe von:

- Isoliersystem der Wicklungen,
- Lagerschmierstoff,
- Lebensdauer der elektronischen Bauteile in der Rückführeinrichtung,
- Widerstand des Magnetstoffes gegenüber Entmagnetisierung.

4.1.1.1 60 K Wicklungserwärmung

60 K sind optional und wird verwendet, wenn:

- Aus Sicherheitsgründen ist die Temperatur des Motorgehäuses begrenzt.
- Die Temperatur der Welle der Arbeitsmaschine kann den eingebauten Motor nachteilig beeinflussen.
- Die Umgebungstemperatur ist höher als angegeben.
- Die Verlustleistung durch den Flansch ist niedriger als angegeben.

4.1.1.2 Einfluss der Schaltfrequenz

Bei bürstenlosen Motoren mit Dauermagneten ist es von Bedeutung, die Schaltfrequenz festzulegen, bei der die Versuche durchgeführt wurden. Hohe Frequenzen führen zu geringeren Motorverlusten, da der Oberschwingungsgehalt vermindert ist.

4.1.2 Spitzendrehmoment M_p

Hierbei handelt es sich um eine Kurzzeit-Bemessung (die Wicklungstemperatur erhöht sich unwesentlich), die Fehler im Rückführkreis ausgleichen soll. Es ist das höchste Drehmoment, das vom Motor erzeugt werden kann und das durch den maximalen Strom des Motors begrenzt wird.

Gelegentlich wird das Spitzendrehmoment als ein Vielfaches des Stillstandsmoments ausgedrückt.

Aufgrund der Eisensättigung ist K_t bei höheren Strömen niedriger.

Es handelt sich hierbei um das höchste Drehmoment, ohne dass bleibende Schäden entstehen. Hierbei kann der Grenzwert durch das Vermögen des Umrichters, den zur Erzeugung dieses Drehmoments erforderlichen Strom bereitzustellen, bestimmt sein.

Mit Ansteigen der Temperatur reduziert sich das Vermögen der Magneten einer irreversiblen Entmagnetisierung standzuhalten. Es können daher höhere Bemessungswerte des Spitzendrehmoments für niedrigere Lastspiele festgelegt werden.

4.1.3 Drehmomentwelligkeit

Bürstenlose Motoren mit Dauermagneten erzeugen naturgemäß gewisse Drehmomentwelligkeiten.

Eine mögliche Ursache ist das durch die magnetische Anziehung bewirkte Rastmoment, das bei der Drehung der Welle uneinheitlich ist. Normalerweise ist es sehr niedrig und schwierig zu messen.

Weitere Drehmomentwelligkeiten entstehen durch nichtsinusförmige bzw. Unwuchtkomponenten der Gegeninduktionsspannung von Umrichter/Motor, Fehler in Rückführeinrichtungen und Herstellungstoleranzen innerhalb des Antriebssystems. Es ist schwierig den Gesamtwert festzulegen, da er in Abhängigkeit von Last und Drehzahl variiert. Normalerweise machen Motorhersteller keine Angaben zu Drehmomentwelligkeiten, da sie vom gesamten Antriebssystem abhängen. Brauchbare Angaben für ein Antriebssystem wären Drehzahlschwankungen im Leerlauf und Drehmomentwelligkeiten bei niedriger Drehzahl und Volllast.

Liegt die Rastkomponente im höheren Frequenzbereich, so sind die Auswirkungen auf die Drehzahlschwankungen aufgrund der wie ein Filter wirkenden Trägheit minimal.

In Anhang F sind Beispiele zur Messung von Drehzahl- und Drehmomentwelligkeiten angegeben.

4.2 Gestrichen

4.3 Verlustleistung

4.3.1 Verlustleistung im stationären Betrieb

Die Bemessung des Motors im stationären Betrieb hängt davon ab, in welchem Umfang er die interne Verlustleistung abführen kann. Diese entsteht durch Kupferverluste (I^2R Verluste), Rotationsverluste der Welle, die wiederum eine Eisenhysterese (proportional zur Frequenz) und Wirbelstromverluste (proportional zum Quadrat der Frequenz) bewirken. Weitere Rotationsverluste werden durch Lager und Lippendichtungen der Welle verursacht. Viskose Luftverluste sind minimal bei Drehzahlen kleiner als 10.000 min^{-1} .

Bei einem angeflanschten bürstenlosen Motor mit Dauermagneten wird die Verlustleistung teilweise über die Befestigung abgeführt. Der Rest wird durch Konvektion und Abstrahlung über das Gehäuse in Abhängigkeit von der Motorlänge abgeführt.

Die Bemessungsdaten des Motors für das Drehmoment hängen vom Anstieg der Wicklungstemperatur in Bezug auf eine festgelegte Umgebungstemperatur ab und davon, wie viel Leistung durch den antriebsseitigen Flansch abgeführt wird.

4.3.1.1 Wärmewiderstand – Übergangsstelle am Motorflansch

Hierbei handelt es sich um die Übergangsstelle zur Arbeitsmaschine oder dem Fundament; es zeigt die Temperaturdifferenz innerhalb dieser Übergangsstelle. Je nach Anwendung variiert diese, da die Aufstellung, das Material und die Kontaktoberfläche jeweils unterschiedlich sind.

Es sollte vom Kunden darauf geachtet werden, dass die Kontaktoberfläche zum Motor eine gute Wärmeleitfähigkeit besitzt.

4.3.1.2 Wärmewiderstand der Arbeitsmaschine

Das Wärmeleitvermögen der Arbeitsmaschine muss ebenso gut oder besser als das der Prüfplatte, auf der die Daten gemessen wurden, sein. Der effektive Wärmewiderstand der Arbeitsmaschine muss gleich oder besser als der der Prüfplatte sein.

Bei Anschluss des Motors an die Arbeitsmaschine wird die Wärmezeitkonstante für die Kühlung durch die Arbeitsmaschine verändert. Die Abkühlgeschwindigkeit wird vermutlich durch die Arbeitsmaschine bestimmt.

4.4 Mechanische Angaben

4.4.1 Radiale und axiale Lagerbeanspruchungen und Lebensdauer

Zur Berechnung sind folgende Angaben erforderlich:

- Lebensdauer der Lager, normalerweise 20.000 Stunden;
- Effektivwert der radialen Belastung (Berechnung);
- Effektivwert der axialen Belastung (Berechnung);
- Lastfaktor (charakteristisch für Schwingungen), normaler Wert beträgt 1;
- Zuverlässigkeitsfaktor (charakteristisch für die Anzahl der Lager, die die Leistung erreichen), normaler Wert beträgt 90 %;
- Effektive Drehzahl (Berechnung);
- Entfernung zwischen erstem Lager und Last;
- Entfernung zwischen beiden Lagern;
- Lagergröße;
- Berechnung der Lagerlebensdauer A_{nsk} (unterschiedlich je nach Anwendung);
- Schmierungsart;
- welches Lager ist Festlager Annahmen:
- Lager werden beim Einbau nicht verschmutzt;
- Lager werden beim Einbau nicht beschädigt;
- Die Temperatur des Fettes liegt innerhalb der Grenzwerte.

Die Lebensdauer von Lagern in Servomotoren kann durch die Temperatur des Fettes beeinflusst werden. Es sollten daher zusätzliche Berechnungen durchgeführt werden, um die Fettgebrauchsdauer bei höheren Temperaturen zu bestimmen.

Funkenbildung durch Common-Mode-Spannungen vermindert unweigerlich die Lagerlebensdauer. Es gibt jedoch keine Berechnungen, mit denen die Auswirkungen auf die Lebensdauer von Lagern bestimmt werden könnten. Dies wird üblicherweise durch Dauerversuche geprüft.

4.4.1.1 Lebensdauer der Welle und radiale Beanspruchung

Die Lebensdauer der Welle richtet sich nach dem Wellendurchmesser, den Punkten der Beanspruchung, der auf sie wirkenden radialen Beanspruchung und dem Abstand des Überhangs. Dies alles kann berechnet und in Standardkennlinien angegeben werden.

4.5 Optionen

Übliche Optionen für Servomotoren sind Bremsen und eine Rückführeinrichtung.

Bremsen sind üblicherweise nicht dynamisch und sollten für die maximale Betriebstemperatur der Anwendung ausgelegt sein. Das Bremsspiel ist abhängig von der Bauart und der Ausführung.

Rückführeinrichtungen sind: Drehmelder, Inkrementalgeber, Sinus-Cosinus-Encoder, Sinus-Cosinus-Encoder mit serieller Kommunikation, Multi-Turn-Count-Sinus-Cosinus-Encoder.

Praktisch alle in bürstenlosen Motoren mit Dauermagneten eingesetzten Inkrementalgeber haben zusätzlich Kommutierungsspuren vorgesehen.

4.6 Leistungsschild

Jeder Motor mit Dauermagneten ist mit einem Leistungsschild nach IEC 60034-1 zu versehen. Die Leistungsschilder sollen dauerhaft folgende Angaben enthalten:

- a) Name oder Zeichen des Herstellers;
- b) Seriennummer oder Kennzeichnung des Herstellers;
- c) alle Punkte „Typenschild“ nach Anhang A, sofern relevant.

5 Übergang von bürstenlosem Motor mit Dauermagneten zum Umrichter

5.1 Drehmomentbemessung

Mit abnehmender Schaltfrequenz des Umrichters nehmen die Motorverluste von bürstenlosen Motoren mit Dauermagneten aufgrund höherer Oberschwingungen und die Drehmomentwelligkeit zu und führen somit zu niedrigeren Drehmomentbemessungsdaten. Aus diesem Grund streben die Motorenhersteller eine hohe Schaltfrequenz an, um das Betriebsverhalten der Motoren zu optimieren.

Mit zunehmender Schaltfrequenz nimmt jedoch die Verlustleistung in den Umrichtern ebenfalls zu. Niedrige Schaltfrequenzen sorgen dagegen für eine Optimierung des Betriebsverhaltens des Umrichters.

Bei Kombination von Motor und Umrichter in einem System müssen Motorenhersteller wie Umrichterhersteller das optimale Gleichgewicht herausfinden, um das Betriebsverhalten des Gesamtsystems spezifizieren zu können.

Mit abnehmender Schaltfrequenz können Ausgangsfilter verwendet werden, um die Verluste im Motor zu minimieren. Es ist daher von Bedeutung, die Anforderungen des Antriebssystems festzulegen, um dann das für die Anwendung erforderliche Drehmoment realisieren zu können.

5.1.1 Feldschwächung

Im Normalfall optimiert der Stromrichter den Strom I_d auf den Wert Null. Bei Feldschwächung hingegen prägt der Umrichter einen Strom I_d an, um die Gegeninduktionsspannung an den Motoranschlussklemmen zu reduzieren. So ergibt sich eine höhere Drehzahl des Motors.

Bei der Drehzahl-/Drehmoment-Kennlinie wird die Feldschwächung verwendet, um den Motor über seine Bemessungsdrehzahl hinaus zu betreiben, wo die Spannungsobergrenze erreicht ist.

Es sollte Vorsorge getroffen werden, dass die höchste mechanische und die höchste elektrische Drehzahl nicht überschritten wird.

Der Effektivstrom des Motors beinhaltet nun einen I_d -Anteil, so dass der neue Effektivstrom bei dieser schnelleren Drehzahl kein Drehmoment erzeugt. Die Kupferverluste des Motors sind abhängig vom Effektivstrom. Der Erwärmungsgrenzwert des Motors darf hier nicht überschritten werden.

Die erhöhte Drehzahl des Läufers erhöht die Eisenverluste, Reibungsverluste, Lagerverluste und Rotationsverluste, wodurch die Bemessungsdaten für den Dauerbetrieb weiter begrenzt werden. Die Läuferverluste können sehr hoch sein, und die Magnettemperatur kann deutlich über der normalen Läufertemperatur liegen.

Bei einem isotropen Läufer erzeugt lediglich der I_q -Anteil ein Drehmoment, wodurch die Steigung der Drehzahl-/Drehmoment-Kennlinie abnimmt.

Hier droht durch höhere Magnettemperaturen und Ständerfluss eine irreversible Entmagnetisierung des Läufers. Der Augenblickswert des Umrichterstroms sollte begrenzt werden, um sicherzustellen, dass keine Entmagnetisierung stattfindet.

Bei Motoren mit Magneten an der Läuferoberfläche sollten spezielle Vorkehrungen getroffen werden, da diese im Vergleich zu den in den Läuferstahl eingebetteten Läufermagneten anfälliger für eine Entmagnetisierung sind.

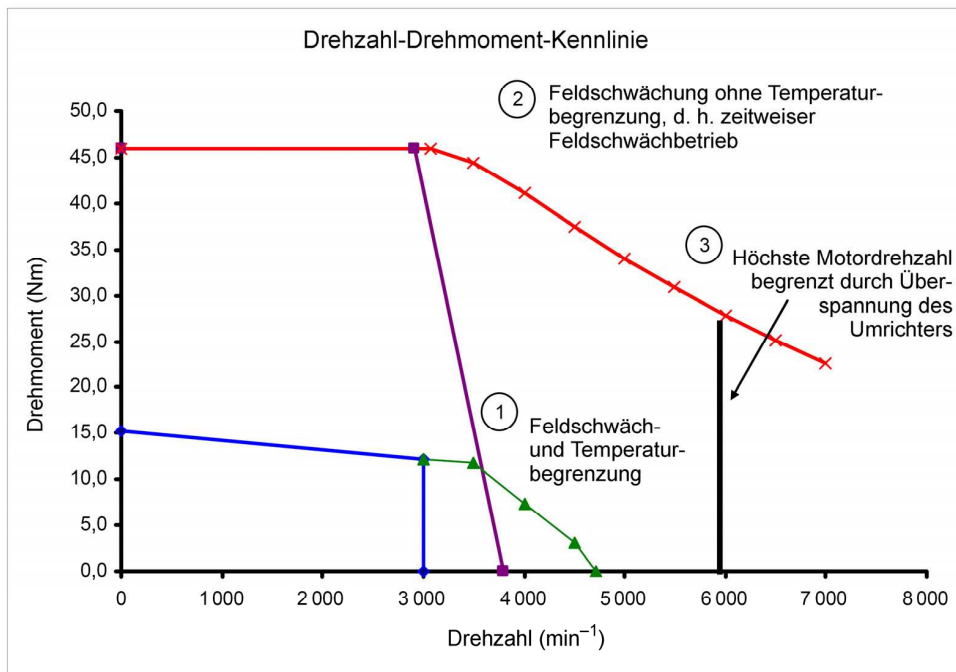


Bild 5.1-1 – Drehzahl-/Drehmoment-Kennlinie mit Feldschwächung

In Abschnitt 1 der Kennlinie ist die Drehmoment-Drehzahl begrenzt durch den Temperaturanstieg des Motors.

In Abschnitt 2 der Kennlinie herrscht die für den gewählten Antrieb theoretisch höchste Feldschwächung. Hier wird der zeitweise Spitzenstrom des Umrichters als Begrenzung angesehen.

In Abschnitt 3 der Kennlinie ist die höchste Motordrehzahl auszuwählen, und zwar unter Berücksichtigung des Überspannungsgrenzwerts des Umrichters für den Fall einer Abschaltung des Antriebs (d. h. bei Verlust der Feldschwächung durch den Strom I_d).

5.1.2 Drehmoment- und Drehzahlschwankungen

Die effektive Drehmomentwelligkeit lässt sich durch Messung nur schwer bestimmen, während Drehzahlschwankungen einfach bestimmt und angegeben werden können. Im Ersatzschaltbild kann mit Hilfe dieser Werte die Störgröße ermittelt werden, die die Drehmomentwelligkeit verursacht.

Die Drehzahlschwankung im Leerlauf einer Motor-/Stromrichtermodulkonfiguration kann einfach gemessen und angegeben werden.

Die Drehzahlschwankung bei Volllast kann durch einen Versuch überprüft und der Wert dann veröffentlicht werden.

Drehzahlschwankungen werden durch Drehmomentstörungen hervorgerufen. Daran beteiligt ist das inhärente Rastmoment des Motors, bzw. die natürliche Anziehung zwischen den Magneten und dem Eisen.

Eine Stromabweichung in einer Phase von 3 % kann eine Drehmomentwelligkeit von 1 % bewirken. Dies kann durch Fehler in der Stromregelung, im Stromgeber sowie durch eine Phasenunsymmetrie des Motor-kabels oder des Motors hervorgerufen werden.

Eine Phasendifferenz in einer Phase von 1,72 ° bewirkt eine Drehmomentwelligkeit von 1 %. Dies kann durch verschiedene induktive Kabelführungen zu den Motorphasen verursacht werden.

Oberschwingungen (ungerade, kein Vielfaches von 3) in der Kurvenform des Stromes können zu Drehmomentwelligkeiten führen. Sie werden ebenso durch niedrige Schaltfrequenzen verursacht.

5.2 Spannung an Motoranschlussklemmen

Bei der Spannung an den Motoranschlussklemmen handelt es sich quasi um eine Wechselspannung mit Rechteck-Pulsbreitenmodulation. Die Scheitelspannung an den Motoranschlussklemmen ist die höchste von dem Umrichter erzeugte Gleichspannung. Ist der Motor im Rückspeise-Betrieb, erhöht sich die Gleichspannung. Die höchste Spannung an den Motoranschlussklemmen ist somit als Maximalwert der Gleichspannung des Umrichters zu definieren, bei dem eine Abschaltung erfolgt.

Bei langen Kabeln (≥ 20 m) sind außerdem Reflektionsvorgänge zu berücksichtigen, die die Spannung an den Motoranschlussklemmen verdoppeln können. Am empfehlenswertesten ist es, eine maximale Spannung an den Motoranschlussklemmen (bei Motoren, die über Kabel mit dem Antrieb verbunden sind) anzunehmen, die doppelt so hoch ist als der Maximalwert (Abschaltwert) der Gleichspannung.

Bei direktem Anschluss des Motors an den Umrichter oder bei sehr kurzen Kabeln (< 3 m) ist die Anstiegsflanke des Spannungsimpulses sehr steil. Dies kann letztlich durch Teilentladungsvorgänge zu einem Durchschlag der ersten Spulenwindung führen. Wenn möglich sollte ein Filter verwendet werden, um derartige Teilentladungsvorgänge zu vermeiden.

Extrem lange Kabel (180 m) können eine 4 x so hohe Spannung wie die Gleichspannung verursachen. Derartige Bedingungen sollten vermieden werden.

Typische Parameterbeispiele für Motoranschlussspannungen werden nachfolgend aufgeführt:

- Maximalwerte für Gleichspannung bei Rückspeise-Betrieb an einer 480 V-Versorgung;
- 400 V Umrichter (380 – 480 V Versorgung ± 10 %), Spitzenabschaltung bei 830 V, 15 Sek. Abschaltung bei 815 V.

Tabelle 5-1 – Beispiele für Spannungen an den Motoranschlussklemmen

UNetz Eff.	UNetz + 10 % Eff.	Versorgung	USpitze Leiter-Erde	USpitze Leiter-Leiter
480	528	Sinusversorgung	431	747
	Gleichspannung Volt	Motorversorgung über Gleichspannungszwischenkreis zu den Motoranschlussklemmen		
	713	Motorversorgung kurzes Kabel	356	713
	Gleichspannung + 10 %	Motorversorgung langes Kabel	1069	1426
	784	Motor langes Kabel Bremsen 10 %	1176	1568
	Gleichspannung 15 Sek.	Motor langes Kabel Bremsen 15 s	1223	1630
	815			
	Gleichspannung Maximalwert			
	830	Motor langes Kabel Bremsen Abschaltung	1245	1660

Normalerweise sind einem langen Kabel 1426 V die max. Spannung für Motoren, die sich nicht im Rückspeise-Betrieb befinden. Im Rückspeise-Betrieb wäre bei Abschaltung der ungünstigste Fall 1660 V. Ein System, das ständig im Rückspeise-Betrieb abschaltet, wäre jedoch keine geeignete Auslegung. Eine Gleichspannung von 784 V würde eine max. Leiter-Leiter-Spitzenspannung von 1568 V erzeugen. Dies wäre eine realistische Variante, die dennoch nahe an die Kennlinie A, Bild A.1 herankommen würde, ohne den Einsatz von Filtern für Motoren bis zu 500 V Wechselspannung erforderlich zu machen (IEC 60034-25).

Eine Spannungsprüfung während der Fertigung mit 2,5 kV reicht aus, um 1,66 kV abzudecken.

5.3 Common-Mode-Spannung

Der Mittelwert aller Phasenspannungen am Umrichterausgang ist nicht Null, sondern schwankt um bis zu $\pm 30\%$ der Gleichspannung im Zwischenkreis. Durch diese Veränderung der Common-Mode-Spannung fließen Zirkularströme von den Motorwicklungen durch alle Erdleiter zurück zum Umrichter.

Hierdurch hervorgerufen fließen hochfrequente Erdströme in den Erdleitern zwischen Motor und Umrichter. Damit die Spannung niedrig bleibt, muss eine gute Erdverbindung zwischen beiden bestehen.

Die Rückführsignale zwischen dem Motor und dem gesamten Umrichtermodul müssen ausreichend gegen diese Erdströme geschützt sein.

Der Läufer des Motors ist ebenfalls mit den Wicklungen und dem Ständer über die Streukapazität des Luftspaltes verbunden. Auf diese Weise erhöht die Welle die Spannung in Abhängigkeit von der Höhe der Streukapazität und der Erdrückleitung, mit der die Welle ebenfalls verbunden ist. Eine Messung von $\pm 150\text{ V}$ Spitze-Spitze ist nicht unüblich. Die Lager an der Welle sind einer Abweichung zwischen Wellenspannung und Erde ausgesetzt und verhalten sich mit steigender Spannung wie eine Entladungsstrecke. Folglich muss die Lebensdauer der Lager eines bürstenlosen Motors mit Dauermagneten sorgfältig betrachtet werden. Die mit der Motorwelle verbundenen Rückführeinrichtungen sowie sämtliche anderen Benutzeranwendungen in galvanischer Verbindung zur Welle sind der Wellenspannung ebenfalls ausgesetzt.

Isolierte Lager bieten oft keinen Schutz, da die Isolationskapazität zu hoch ist, um hochfrequente Ströme zu vermeiden.

Das Ersatzschaltbild, anhand dessen die Wellenspannung in Bezug auf den Common-Mode-Sternpunkt ermittelt werden kann, findet sich in Anhang B.4, Bild B-4.

5.3.1 Sinusfilter

Sinusfilter sind in der Lage, Common-Mode-Spannungen für Frequenzen innerhalb der Bandbreite des Filters nahezu zu beseitigen. Außerhalb der Bandbreite des Filters tritt jedoch unverändert Spannung auf, die auch recht hoch sein kann.

6 Prüfverfahren

6.1 Motorbauartprüfung (Überprüfung der Motorauslegung) für Herstellerangaben

Hersteller sollten die Prüfverfahren und –temperaturen, auf deren Basis die Herstellerangaben gemacht wurden, spezifizieren. Wird nichts spezifiziert, sind folgende Bauartprüfverfahren anzuwenden:

Die Bauartprüfung erfolgt an Vorserienmustern, um sicherzustellen, dass sie den Herstellerangaben entsprechen. Die Prüfung der Lebensdauer ist ebenfalls für die Lebensdauer des Produkts durchzuführen, normalerweise 20.000 Stunden, um vorzeitige Betriebsstörungen auszuschließen.

Alternativ können mit dem Kunden für spezifische Anwendungen über den Rahmen der veröffentlichten Herstellerangaben hinaus weitere Prüfverfahren vereinbart werden.

6.1.1 Prüfumgebung

Die Prüfungen haben unter kontrollierten Temperaturbedingungen und unter Berücksichtigung nachstehender Bedingungen zu erfolgen (außer wenn in den Herstellerangaben abweichend spezifiziert):

- Betriebstemperatur: -15 °C bis 40 °C IEC 60034-1, Bemessungsdaten basierend auf 40 °C Umgebungstemperatur.
Es ist wichtig, die bei Raumtemperatur gemessenen Daten auf die in den Herstellerangaben nach IEC 60034-1 angegebenen 40 °C zu beziehen. Die Umgebungstemperatur ist in einem horizontalen Abstand von $> 1\text{ m}$ vom Motor zu messen und sollte nicht durch direkte Wärme- oder Kühlquellen beeinträchtigt werden;

- Höhe: unter 1 000 m nach IEC 60034-1;
- Relative Luftfeuchtigkeit: 90 % nicht kondensierend nach IEC 60034-1;
- Kühlverfahren: freie Zirkulation, freie Konvektion nach IEC 60034-6;
- angeflanscht, horizontal, nach IEC 60034-7, Bauform N, IEC 60072-1.

6.1.2 Verlustleistung – Einfluss der Montageplatte im stationären Betrieb

Ein Teil der Motorleistung wird über den Flansch abgeführt, wenn der Motor mit einem Anschlussflansch verbunden ist. Die Größe der Platte und der Wärmekontakt des Motors mit der Platte haben entscheidenden Einfluss auf das Drehmoment des Motors. Gegenwärtig hat jeder Hersteller seine eigenen Anforderungen an die Größe der Montageplatte.

Ab einem bestimmten Punkt hat die Größe der Montageplatte keinen Einfluss mehr auf die Motorleistung. In diesem Fall wird von einer „infiniten“ Platte gesprochen. Zwischen der infiniten Platte und keiner Platte kann der Hersteller seine eigene Plattengröße und die daraus folgenden Betriebsdaten festlegen.

Die Abmessungen, das Montageverfahren sowie das Material der verwendeten Platte ist in den Herstellerangaben zu spezifizieren.

Bei fehlenden Angaben gelten standardmäßig folgende Daten für die Montageplatte:

Material: Aluminium

Dicke: 20 mm

Plattenseite (x,y) = 1,26 x Motorkörper (x,y) + 150 mm, gerundet auf das nächste Vielfache von 50 mm

6.1.2.1 Motoraufstellung

Das thermische Verhalten wird unter normalen Aufstellungsbedingungen des Motors geprüft. Die meisten Servomotoren sind angeflanscht.

Angeflanschte Motoren mit standardmäßiger Montageplatte müssen thermisch von anderen Motorstützelementen isoliert sein.

Die Wellenkupplungen sind so auszuführen, dass die Wärmeübertragung durch Ableitung von der Motorwelle zum Dynamometer minimiert wird.

6.1.3 Motordrehmomentdaten

Die Wicklungstemperatur sollte mit Hilfe des ETD-Verfahrens, des Widerstandsverfahrens, mit Thermo-elementen oder nach IEC 60034-1 bestimmt werden. Die Schaltfrequenz des Antriebs sollte während der Prüfungen protokolliert werden.

6.1.3.1 Stillstandsmoment und Bemessungsdrehmoment – Prüfungen im stationären Betrieb

Diese Prüfung wird mit auf der standardmäßigen Montageplatte montiertem Motor durchgeführt, so dass Konvektion, Abstrahlung und Ableitung vom Motorgehäuse zur Kühlung beitragen. R_{mi} ist praktisch ein geschlossener Kreislauf.

Die Motorprüfung wird bei Stillstand durchgeführt, so dass es sich bei allen Wicklungsverlusten um Kupferverluste handelt. Sie ergeben sich aus $P = 3 \cdot I^2 R$. Das für den Motor verfügbare Stillstandsmoment ist festzustellen.

Temperaturen werden in der Wicklung (t_{wa}), am stirnseitigen Motorgehäuse nahe der Stirnfläche (t_{mer}) und am Motorgehäuse gemessen.

Der Strom ist solange zu erhöhen, bis die Wicklungstemperatur (t_{wa}) ihren Maximalwert entsprechend der Spezifikation und stationärem Betrieb erreicht hat.

Die Prüfung ist mit rotierender Welle zu wiederholen, wodurch Eisen- und Rotationsverluste entstehen und die Bemessungsdrehmomentkennlinie für verschiedene Drehzahlen bis hin zur Bemessungsdrehzahl des Motors gezeichnet wird.

6.1.3.2 Spitzendrehmoment - Aussetzprüfungen

Mit dieser Prüfung sollen mit Hilfe berechneter Daten der maximale Spitzenstrom und somit das Drehmoment gefunden und abgeglichen werden, das angelegt werden kann, ohne dass es zu irreversiblen Magnetverlusten bei verschiedenen Magnettemperaturen kommt. Diese Prüfung erfolgt auf der Montageplatte. Aufgrund der kurzen Dauer der Spitzenströme hat die Montageplatte sehr geringen Einfluss auf die Aussetzbemessungswerte.

Es sollten das maximale Spitzendrehmoment, die Impulsdauer und die Wicklungstemperaturen während der Prüfung angegeben werden.

6.1.3.2.1 Bemessung des Spitzendrehmoments bei Wicklungstemperatur T_{max}

Der Motor sollte zunächst bei Bemessungsdrehmoment und –drehzahl geprüft werden, um einen stationären Zustand bei maximaler Umgebungstemperatur zu erreichen. Liegt die Umgebungstemperatur während der Prüfung unter 40 °C, sollte die Wicklungstemperatur durch Erhöhung der Kupferverluste auf den Maximalwert angehoben werden.

Die Prüfung des Spitzendrehmoments wird dann bei beliebiger Drehzahl unmittelbar danach durch Anlegen eines maximalen Spitzendrehmoments von bekannter Dauer durchgeführt. Nach der Prüfung sollte keine irreversible Entmagnetisierung stattgefunden haben. Dies kann durch Prüfung der Gegeninduktionsspannung des Motors verifiziert werden.

6.1.3.2.2 Bemessung des Spitzendrehmoments bei Raumtemperatur der Wicklung

Die Prüfung erfolgt bei Betrieb des Motors bei Raumtemperatur. Es wird ein maximales Spitzendrehmoment angelegt. Hier sollte es zu keiner irreversiblen Entmagnetisierung kommen. Dies kann durch Prüfung der Gegeninduktionsspannung des Motors verifiziert werden.

6.1.3.3 Rastmoment

Das Rastmoment wird durch den Einfluss der Magnetkanten verursacht. Es ist von Natur aus schwer zu messen. Mit Sorgfalt, empfindlichen Messgeräten und Spezialfiltern ist es jedoch möglich, halbwegs genaue Werte zu erzielen. Wichtig sind hierbei die dem konstanten Drehmoment überlagerten Wechselanteile, die Frequenz und die Differenz zwischen minimalem und maximalem Wert. Diese Zahl sollte angegeben werden. Normalerweise erfolgt die Angabe in % des Stillstandsmoments (Betriebsart S1). Im Folgenden ist dargestellt, wie das Rastmoment gemessen werden kann. Es handelt sich jedoch nicht um die einzige Möglichkeit.

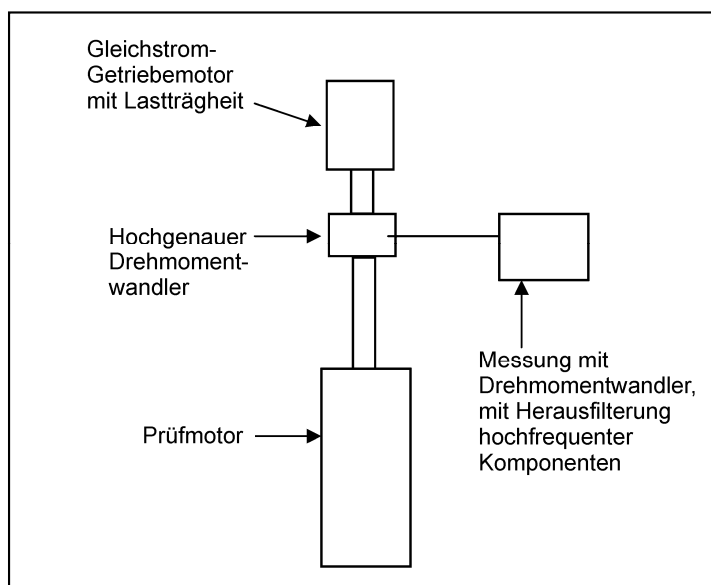


Bild 6.1-2 – Prüfanordnung zur Messung des Rastmoments

6.1.3.3.1 Prüfanordnung

Die Prüfanordnung besteht aus einem kleinen Gleichstrom-Antriebsmotor mit Getriebe, einem hochgenauen Drehmomentwandler und dem zu prüfenden Motor. Am Wellenende des Gleichstrommotors ist ein zusätzliches Trägheitsmoment befestigt, um sicherzustellen, dass die Drehmomentwelligkeit des Gleichstrommotors die Messergebnisse nicht beeinflusst. Das zu prüfende Gerät wird mit dem Drehmomentwandler über eine drehsteife Kupplung verbunden, so dass das Rastmoment und die Drehmomentwelligkeit nicht durch irgendwelche Elastizitäten zwischen dem zu prüfenden Gerät und dem Drehmomentwandler gedämpft werden.

Die Kupplungselemente sollten alle bestmöglich ausgewuchtet sein. Danach sollte das Ganze vertikal aufgebaut werden, um verbleibende Unwuchten in der Welle und den Drehmomentwandler-Kupplungen zu eliminieren.

6.1.3.3.2 Prüfbedingungen

Rastmomente werden bei sehr niedrigen Drehzahlen gemessen, z. B. $< 20 \text{ min}^{-1}$. Hierdurch wird sichergestellt, dass die Frequenzkomponenten der Messsignale zum Messen des Rastmoments weit genug von der Eigenschwingungsfrequenz der mechanischen Teile der Prüfanordnung entfernt liegen.

Zur Ermittlung des Rastmoments wird der zu prüfende Motor von dem Gleichstrommotor angetrieben und seine Wicklungsenden abgeschaltet.

6.1.3.3.3 Auswertung der Messsignale

Dies kann mit Hilfe der schnellen Fourier-Transformation erfolgen, da das Signal des Rastmoments von der Eigenschwingungsfrequenz der mechanischen Teile der Prüfanordnung getrennt sein muss. Zur Ermittlung ist ein geeigneter und weit von der Eigenschwingungsfrequenz entfernt liegender Frequenzbereich zu wählen. Die Eigenschwingungsfrequenz liegt normalerweise zwischen 100 und 500 Hz, je nach Größe der mechanisch gekoppelten Massen. Zur Ermittlung ist daher ein Frequenzbereich von 0 bis 50 Hz ratsam. Um sicherzustellen, dass alle relevanten Frequenzkomponenten des Rastmoments innerhalb dieses Bereichs erfasst werden, muss die Prüfdrehzahl unter 20 min^{-1} liegen.

6.1.3.3.4 Genauigkeit

Da das Rastmoment (Wechselstrom-Anteil des Drehmoments) nur einige Prozent bzw. weniger als 1 % des Stillstandsmoments (bei Qualitätsservomotoren) beträgt, muss die Größe des Drehmomentwandlers sehr sorgfältig ausgewählt werden. Sie muss dem Gleichstrom-Anteil des Drehmoments so gut wie möglich entsprechen und eine Fehlerrate von weit unter 1 %, idealerweise 0,2 %, aufweisen.

6.1.3.3.5 Bestimmung des Rastmoments

Es ist nicht möglich, das Rastmoment im fraglichen Zeitraum exakt durch den Scheitel-zu-Scheitel-Wert oder einen anderen daraus abgeleiteten Wert zu bestimmen (und mit dem Oszilloskop zu messen), da dieser Wert normalerweise sehr stark durch die Eigenschwingungsfrequenz der mechanischen Teile der Prüfanordnung beeinflusst wird und das Ergebnis höher als der tatsächliche Wert liegt.

Daher ist die geometrische Summe aller Frequenzkomponenten (Scheitelwerte) im bewerteten Frequenzbereich (50 Hz) dividiert durch das Stillstandsmoment das Messergebnis für das Rastmoment in % (des Stillstandsmoments).

$$W_m = \frac{\sum_i \hat{m}_i}{M_0}$$

Dabei ist

W_m Rastmoment

M_i Scheitelwert der Frequenzkomponente i

M_0 Stillstandsmoment

Die entscheidende Grundfrequenzkomponente sollte ebenfalls zusammen mit dem Wert für das Rastmoment angegeben werden.

Drehzahl-/Drehmomentkennlinie – Drehzahlbegrenzung

Der Verlauf der Drehzahl-/Drehmomentkennlinie sollte dahingehend überprüft werden, ob er innerhalb der errechneten Werte liegt. Weiterhin ist sicherzustellen, dass die Grenzwerte ohne dauerhafte Schäden zu erreichen sind.

6.1.3.4 Schleuderversuch und Beschleunigungstest

6.1.3.4.1 Dauerversuch bzgl. maximaler Beschleunigung

Umkehrung der Wellenrichtung $\pm n_{\max}$ bei maximalem Strom und Einstellung des Umrichters für maximale Beschleunigung, kritische Dämpfung, bis die Motortemperatur sich stabilisiert hat. Das Lastspiel ist so einzustellen, dass die maximale Temperatur erreicht wird. Nach Stabilisierung der Temperatur ist der Versuch für die angegebene Lebensdauer des Produkts fortzusetzen, z. B. 20.000 Stunden.

Nach dem Versuch ist die Magnetisierung durch Messung der Gegeninduktionsspannung zu überprüfen. Hierbei sollte kein mechanischer Fehler und nur eine leichte Abnahme der Magnetisierung von höchstens 5 % vorliegen.

6.1.3.4.2 Feldschwächbetrieb

Es ist der gleiche Versuch wie oben beschrieben durchzuführen, wobei $n_{\max}$ gleich der Feldschwächdrehzahl ist.

6.1.3.5 Leistung

Die Eingangsleistung ist bei Dauerbetrieb und Bemessungsdrehzahl zu messen.

6.1.3.6 Drehmomentkennlinie verglichen mit der Stromkennlinie K_t

Es sind die Werte für K_t bei Raumtemperatur der Motorwicklung und bei stationärer Wicklungstemperatur ($T_{\max}$) zu messen. Die Werte für K_t sollten zusammen mit der Temperatur, bei der sie gültig sind, angegeben werden.

K_t wird bei Bemessungsdrehmoment und Bemessungsdrehzahl und einer Motortemperatur im stationären Zustand gemessen. Es ist der effektive Eingangsstrom des Motors zu messen.

Um die Kennlinie von K_t bis zum Spitzendrehmoment zu erhalten, muss der Versuch bei niedriger Drehzahl (Stillstand) durchgeführt, die angelegte Last für kurze Zeit erhöht (mit ausreichender Zeit zum Abkühlen zwischen den Versuchen) und der Strom gemessen werden.

Bestimmung der Werte der Drehmomentkonstanten:

k_t Bei maximaler Bemessungstemperatur und stationärem Betrieb

k_{tpk} Bei maximaler Bemessungstemperatur und Aussetzbetrieb

6.1.4 Wicklungen und Spannung

6.1.4.1 Gegeninduktionskonstante K_e

Zur Messung von K_e bei Raumtemperatur ist die Motorwelle bei $1\,000\text{ min}^{-1}$ zu drehen und die Klemmenspannung zu messen.

6.1.4.2 Wicklungsisolierung

Nach IEC 60034-18-1, IEC 60034-18-21, IEC 60034-18-22, IEC 60034-18-41, IEC 60034-18-27, IEC 60204-1, IEC 60536-2, IEC 60664-1.

6.1.4.3 Gestrichen

6.1.4.4 Widerstand und Induktivität

Definiert in IEC 60034-1.

Der Widerstand ist zwischen zwei Phasen bei Raumtemperatur zu messen. Der Widerstand ist pro Phase anzugeben.

Die Induktivität wird gemessen, indem an die Motorwicklungen zwischen zwei Anschlussklemmen eine variable sinusförmige Spannung von 50 Hz angelegt wird. Es wird der resultierende Strom und die Wirkleistung gemessen. Dann wird die Induktivität einschließlich der Gegeninduktivität zwischen den Phasen berechnet. Hierzu müssen das Ständer- und Läuferfeld senkrecht zueinander stehen (Induktivität L_q). Die Induktivität ist pro Phase anzugeben.

6.1.4.5 Elektrische Zeitkonstante T_{el}

Wird wie berechnet angegeben.

6.1.4.6 Thermische Überlastung

Es ist zu überprüfen, ob die Wärmeschutzvorrichtungen innerhalb der Grenzwerte arbeiten; die Motorwicklungen sind vor Überhitzung zu schützen. Es ist sicherzustellen, dass im stationären Betrieb bei den Grenzwerten für Temperatur und Strom kein irreversibler Magnetverlust auftritt.

6.1.4.7 Kommutierung

Bei maximaler Motortemperatur ist im stationären Betrieb zu prüfen, ob die Kommutierungssignale der Rückführeinrichtung den Herstellerangaben entsprechen und die Genauigkeit innerhalb der angegebenen Grenzwerte liegt. Bei höheren Temperaturen sind phasenverschobene oder verzerrte Signale möglich.

Es ist sicherzustellen, dass die Wellen-/Lagerströme nicht die Lager der Rückführeinrichtung beeinträchtigen.

6.1.5 Verlustleistung

6.1.5.1 Montageplatte

Es sind die Abmessungen der Montageplatte sowie das Material bei Durchführung des Versuchs anzugeben.

6.1.6 Mechanische Prüfung

6.1.6.1 Masse

Fertiggestellten Motor wiegen und Daten angeben.

6.1.6.2 Trägheit

Die Massenträgheit des Läufers wird rechnerisch oder experimentell bestimmt. Die Trägheit der Lager darf vernachlässigt werden.

6.1.6.3 Schutzgrad (IP-Code)

Es gilt IEC 60034-5. Die Angabe hat mit und ohne Wellenschutz zu erfolgen.

6.1.6.4 Lager- und Wellenbelastungen

Es gibt Standardformeln zur Berechnung der Wellenlebensdauer und der Lagerlebensdauer. Sie werden durch diese Norm nicht abgedeckt.

Siehe auch ISO 281.

6.1.6.5 Concentricity squareness^{N3)}

Definiert in IEC 60072-1.

6.1.6.6 Auswuchtung

Definiert in ISO 1940-1, halbe Passfeder ISO 8821.

6.1.6.7 Schwingungen

Auszuführen in Übereinstimmung mit IEC 60034-14 und IEC 60068-2-6.

^{N3)} A. d. Ü.: Der englische Begriff ist in diesem Zusammenhang nicht bekannt.

6.1.6.8 Geräusche, Schalleistung

Es sind die Schaltfrequenz des Umrichters und die PID-Einstellwerte zum Zeitpunkt der Prüfung anzugeben.

6.1.6.9 Schock- und Schüttelprüfung

In Übereinstimmung mit IEC 60068-2-27 und IEC 60068-2-75.

6.1.6.10 Mechanische Zeitkonstante

Zu berechnen und anzugeben.

6.1.7 Weitere Optionen

6.1.7.1 Bremsmoment

Das Bremsmoment ist bei maximaler Bemessungstemperatur des Motors zu prüfen und der Wert anzugeben. Es ist festzuhalten, wenn die Bremse festgestellt ist bzw. wenn ein dynamischer Stopp erfolgt. Bei festgestellter Bremse ist zu berechnen bzw. zu überprüfen, wie viel Nothalte die Bremse bewältigen und wie viel Energie sie bei jedem Halt ableiten kann.

Es ist durch Messung zu überprüfen, wie viel Spiel die Bremse in jede Richtung hat.

Es ist ebenfalls durch Messung zu prüfen, wie viel Strom und Spannung erforderlich sind, um die Bremse zu betätigen. Des weiteren sind die Grenzwerte für die Intrittfall- und Haltespannung zu messen. Alle Daten sind zu dokumentieren.

6.1.7.2 Rückführeinrichtung

Es ist durch Messung zu überprüfen, ob alle Rückführsignale hinsichtlich Genauigkeit und Betriebsgrenzwerten den Grenzwerten des Betriebstemperaturbereichs entsprechen, die vom Motorhersteller angegeben wurden. Es ist ebenfalls sicherzustellen, dass die Umgebungstemperatur des Encoders nicht außerhalb der vom Hersteller angegebenen Grenzwerte liegt.

Nach dem Lebensdauerversuch (üblicherweise 20.000 Stunden Motorbetrieb) ist zu prüfen, ob die Lager des Encoders noch ungehindert laufen. Dies setzt voraus, dass keine Entladespannung an der Welle zu einem vorzeitigen Ausfall der Lager führt.

6.2 Stückprüfungen (Fertigungskontrollen)

Die Hersteller haben zu dokumentieren, wie Stückprüfungen bzw. Fertigungskontrollen durchgeführt wurden, um zu belegen, dass die Produktionseinheiten den Herstellerangaben entsprechen. Ist nichts angegeben, sind Stückprüfungen wie nachstehend beschrieben durchzuführen:

Alternativ können mit dem Kunden für spezielle Anwendungen individuelle Prüfungen vereinbart werden.

6.2.1 Prüfung der Erdausgleichsleiter (Potentialausgleich)

Es ist die Intaktheit der Erdleitungen nach IEC 60034-1, IEC 60204-1 und IEC 60536-2 zu prüfen.

6.2.2 Ständer

Nach IEC 60034-1 Abschnitt 9, sowie zusätzlich zwischen Hersteller und Kunden getroffene Vereinbarungen.

Abweichungen im Widerstand zwischen den Phasen sollten 3 % nicht übersteigen.

6.2.2.1 Stoßspannungsprüfung

Stoßspannungsprüfung am Ständer, um Funkenbildung, Kriechstrecken und die Windungsisolierung zu prüfen.

6.2.2.2 Teilentladungs-Einsatzprüfung

Prüfung der Glimmeinsatzspannung im Ständer mit einer Impuls- bzw. Sinusspannung von 20 % über der maximalen Scheitelspannung an den Anschlussklemmen des Motors (siehe auch IEC 60034-27).

6.2.3 Isolationsprüfung

Es ist die Intaktheit des Isoliersystems nach IEC 60034-1, Abschnitt 7, Absatz 17, mit Hilfe einer Wechselspannungs-Isolationsprüfung zu überprüfen.

Eine Gleichspannungs-Isolationsprüfung wird zusätzlich zur Wechselspannungs-Prüfung durchgeführt, wenn es bei letzterer zu hohen kapazitiven Kriechströmen kommt.

6.2.4 Wellendrehzahl und Drehsinn der Welle

Es sind die korrekte Wellendrehzahl und der richtige Drehsinn der Welle zu prüfen.

6.2.5 Rückführbetrieb

Die Funktionsweise der Rückführeinrichtung am Motor ist zu prüfen.

6.2.6 Geräusche, Schwingungen

ANMERKUNG In der Produktionsumgebung ist es oft sehr schwierig, vernünftige Messungen durchzuführen. Daher werden diese nur durchgeführt, wenn angegeben bzw. zwischen Hersteller und Käufer vereinbart.

6.2.7 Geräusche, Schwingungen

Es ist eine Drehmomentprüfung der Bremse in beiden Richtungen durchzuführen, um sicherzustellen, dass sie starr in ihrer Position befestigt ist. Es ist zu prüfen, ob die Bremse sich ohne Widerstand löst.

6.2.8 Leerlaufprüfung

Der Motor soll im Leerlauf bei definierter Drehzahl betrieben und der erforderliche Strom gemessen werden.

6.2.9 IP-Code

In der Produktionsumgebung ist es oft sehr schwierig, aussagekräftige Messungen durchzuführen. Daher erfolgen sie nur, wenn angegeben bzw. zwischen Hersteller und Käufer vereinbart.

6.2.10 Überprüfung der Motor-Bemessungsdaten – Prüfung der Gegeninduktionsspannung

Da die Ausgangsbemessungsdaten des Drehmoments erst nach Stabilisierung der Temperatur bestimmt werden können, ist es nicht praktikabel diese Messung in der Produktionsumgebung durchzuführen. In diesem Fall sollte die Gegeninduktionsspannung überprüft werden, wobei die Motorwelle als Generator bei konstanter Drehzahl angetrieben und die Anschlussklemmenspannung gemessen wird.

Diese Spannung sollte innerhalb des in den Herstellerangaben definierten Toleranzbereichs liegen.

6.2.11 Drehmomentwelligkeit des Motors

Es ist sehr schwer die Drehmomentwelligkeit in der Produktionsumgebung zu messen. Es kann jedoch sinnvoll sein, einige Hauptverursacher der Drehmomentwelligkeit zu überprüfen.

6.2.11.1 Verzerrung der Gegeninduktionsspannung

Der Gesamt-Oberschwingungsgehalt für die sinusförmige Gegeninduktionsspannung kann durch schnelle Fourier-Transformation bei Prüfung der Gegeninduktionsspannung berechnet werden. Für jede Oberschwingung können individuelle Grenzwerte in Übereinstimmung mit den Herstellerangaben geprüft werden. Diese Prüfung wird normalerweise nur nach Vereinbarung zwischen dem Hersteller und dem Kunden durchgeführt.

6.2.11.2 Genauigkeit der Rückführeinrichtung

Die Genauigkeit der Rückführeinrichtung und ihr Einbau am Motor sollten berücksichtigt werden. Des Weiteren sollten Fertigungskontrollen durchgeführt werden, um festzustellen ob die Einrichtung innerhalb der zulässigen Grenzwerte liegt. Diese Prüfung wird normalerweise nur nach Vereinbarung zwischen dem Hersteller und dem Kunden durchgeführt.

6.2.11.3 Rastmoment des Motors

Innerhalb der Produktionsumgebung ist es schwierig, das tatsächliche Rastmoment zu messen. Alle Messergebnisse liegen normalerweise über dem tatsächlichen Rastmoment. Es kann zweckdienlich sein, die Messungen mit einem Prozessregelsystem durchzuführen. Diese Prüfung wird normalerweise nur nach Vereinbarung zwischen dem Hersteller und dem Kunden durchgeführt.

6.3 Probemontage des Motors

Nach IEC 60034-25.

Anhang A (normativ)

Veröffentlichte Daten

A.1 Herstellerangaben

	Formelzeichen	Einheit	Typischer Wert	Toleranz	Norm
Motor					
Baugröße		mm	Herstellerangaben	Herstellerangaben	IEC 60072-1
Teilenummer			Typenschild		
Umgebung					
Umgebungstemperatur	T_{amb}	°C	Herstellerangaben	Herstellerangaben	IEC 60034-1
Wicklungserwärmung	ΔT	°K	Typenschild	Herstellerangaben	IEC 60034-1
Kühlverfahren			Herstellerangaben	Herstellerangaben	IEC 60034-6
Drehmoment-Drehzahl und Leistung					
Betriebsart	S_x		Herstellerangaben	Herstellerangaben	IEC 60034-1
Schaltfrequenz		Hz	Herstellerangaben	Herstellerangaben	diese Norm
Stillstandsmoment	M_0	Nm	Typenschild	Herstellerangaben	diese Norm
Stillstandsstrom	I_0	A	Typenschild	Herstellerangaben	IEC 60034-1
Bemessungsdrehmoment	M_n	Nm	Typenschild	Herstellerangaben	diese Norm
Bemessungsstrom	I_n	A	Typenschild	Herstellerangaben	IEC 60034-1
Spitzendrehmoment	M_{max}	Nm	Typenschild	Herstellerangaben	diese Norm
Scheitelstrom	I_p	A	Typenschild	Herstellerangaben	diese Norm
Dauer des Spitzenwertes		s	Herstellerangaben	Herstellerangaben	diese Norm
Wicklungstemperatur		°C	Herstellerangaben	Herstellerangaben	diese Norm
Scheitelstrom	I_n	A	Herstellerangaben	Herstellerangaben	IEC 60034-1
Rastmoment		%	Herstellerangaben	Herstellerangaben	diese Norm
Bemessungsdrehzahl	n_r	min ⁻¹	Typenschild	Herstellerangaben	IEC 60034-1
Höchstzahl	n_{max}	min ⁻¹	Typenschild	Herstellerangaben	diese Norm
Höchstbeschleunigung			Herstellerangaben	Herstellerangaben	diese Norm
Leistung	P	kW	Typenschild	Herstellerangaben	IEC 60034-1
Drehmomentkonstante (Bemessungswert)	K_t	Nm/A	Typenschild	Herstellerangaben	diese Norm
Drehmomentkonstante (Spitzenwert)	K_{tpk}	Nm/A	Herstellerangaben	Herstellerangaben	diese Norm