

	DIN IEC 60034-31 (VDE 0530-31)	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
ICS 29.160.30 Einsprüche bis 2008-09-30 Entwurf Drehende elektrische Maschinen – Teil 31: Leitfaden zur Auswahl und Anwendung von Energie-Sparmotoren einschließlich ihrer Verwendung in Drehzahlstellantrieben (IEC 2/1501/CD:2008) Rotating electrical machines – Part 31: Guide for the selection and application of energy-efficient motors including variable-speed applications (IEC 2/1501/CD:2008) Machines électriques tournantes – Partie 31: Guide pour la sélection et l’application des moteurs économie d’énergie, y compris leur application pour les mécanismes de commande de vitesse (CEI 2/1501/CD:2008) Anwendungswarnvermerk Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2008-07-28 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 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 – oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main. Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen. Gesamtumfang 61 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 2/1501/CD:2008 „Rotating electrical machines – Part 31: Guide for the selection and application of energy-efficient motors including variable-speed applications“ (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
EN 60034-1:2004	IEC 60034-1:2004	DIN EN 60034-1 (VDE 0530-1):2005-04	VDE 0530-1
EN 60034-2-1:2007	IEC 60034-2-1:2007	DIN EN 60034-2-1 (VDE 0530-2-1):2008-08	VDE 0530-2-1
–	IEC 60034-2-3	–	–
EN 60034-12:2002 + A1 :2007	IEC 60034-12:2002 + A1:2007	DIN EN 60034-12 (VDE 0530-12):2008-04	VDE 0530-12
–	IEC/TS 60034-17:2006	DIN VDE 0530-17 (VDE 0530-17):2007-12	VDE 0530-17
CLC/TS 60034-25:2005	IEC/TS 60034-25:2004	DIN CLC/TS 60034-25 (VDE V 0530-25): 2006-01	VDE V 0530-25
–	IEC 60034-30	–	–
–	Normen der Reihe IEC 60072	Normen der Reihe DIN IEC 60072	–
–	IEC 60072-1	–	–
EN 60079-1:2007	IEC 60079-1:2007	DIN EN 60079-1 (VDE 0170-5): 2008-04	VDE 0170-5
EN 60079-7:2007	IEC 60079-7:2006	DIN EN 60079-7 (VDE 0170-6):2007-08	VDE 0170-6
EN 60079-15:2005	IEC 60079-15:2005	DIN EN 60079-15 (VDE 0170-16):2006-05	VDE 0170-16
EN 60300-3-3:2004	IEC 60300-3-3:2004	DIN EN 60300-3-3:2005-03	–
EN 61241-1:2004	IEC 61241-1:2004	DIN EN 61241-1 (VDE 0170-15-1):2005-06	VDE 0170-15-1
–	IEC 61800-8	–	–
–	ISO 3	–	–
EN 50347:2001	–	DIN EN 50347:2003-09	–

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 50347, *Drehstromasynchronmotoren für den Allgemeingebrauch mit standardisierten Abmessungen und Leistungen – Baugrößen 56 bis 315 und Flanschgrößen 65 bis 740*

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

— Entwurf —

E DIN IEC 60034-31 (VDE 0530-31):2008-08

DIN EN 60034-2-1 (VDE 0530-2-1), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 2-1: Standardverfahren zur Bestimmung der Verluste und des Wirkungsgrades aus Prüfungen (ausgenommen Maschinen für Schienen- und Straßenfahrzeuge)*

DIN EN 60034-12 (VDE 0530-12), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 12: Anlaufverhalten von Drehstrommotoren mit Käfigläufer ausgenommen polumschaltbare Motoren*

DIN EN 60079-1 (VDE 0170-5), *Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 1: Geräteschutz durch druckfeste Kapselung „d“*

DIN EN 60079-7 (VDE 0170-6), *Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 7: Geräteschutz durch erhöhte Sicherheit „e“*

DIN EN 60079-15 (VDE 0170-16), *Elektrische Betriebsmittel für gasexplosionsgefährdete Bereiche – Teil 15: Konstruktion, Prüfung und Kennzeichnung von elektrischen Betriebsmitteln der Zündschutzart „n“*

DIN EN 60300-3-3, *Zuverlässigkeitsmanagement – Teil 3-3: Anwendungsleitfaden – Lebenszykluskosten*

DIN EN 61241-1 (VDE 0170-15-1), *Elektrische Betriebsmittel zur Verwendung in Bereichen mit brennbarem Staub – Teil 1: Schutz durch Gehäuse „tD“*

Normen der Reihe DIN IEC 60072, *Maße und Leistungsreihen für drehende elektrische Maschinen*

DIN VDE 0530-17 (VDE 0530-17), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 17: Umrichter gespeiste Induktionsmotoren mit Käfigläufer – Anwendungsleitfaden*

Inhalt

	Seite
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe und Symbole	8
4 Allgemeines	9
5 Wirkungsgrad.....	10
5.1 Motorverluste	11
5.2 Zusätzliche Motorverluste im Betrieb mit einem Frequenzumrichter	12
5.3 Super-Premium-Wirkungsgrad (IE4)	12
5.4 Änderungen der Motorverluste	13
5.5 Teillastwirkungsgrad.....	14
5.6 Verfahren zur Messung des Wirkungsgrades	15
5.7 Leistungsfaktor	16
5.8 Auswahl von Motor und Umrichter für Drehzahlstantriebe	17
5.9 Motoren mit Bemessungen für 50 Hz und 60 Hz	17
5.10 Motoren mit Bemessung für unterschiedliche Spannungen oder einen Spannungsbereich	17
5.11 Wirkungsgrad von Frequenzumrichtern	18
5.12 Leistungsfaktor von Frequenzumrichtern	19
6 Umgebungsbedingungen	19
6.1 Anlaufverhalten.....	19
6.2 Betriebs-Drehzahl und -Schlupf.....	20
6.3 Auswirkungen von Spannungs- und Frequenz-Änderungen	20
6.4 Auswirkungen einer Spannungsunsymmetrie	20
6.5 Auswirkungen der Umgebungstemperatur	21
7 Anwendungen.....	21
7.1 Anwendung für Dauerbetrieb.....	21
7.2 Gleichstrombremsen	22
7.3 Anwendungen mit Lastwechseln.....	22
7.4 Anwendungen mit längeren Perioden geringer Belastung.....	22
7.5 Anwendungen mit Drosselung oder Bypass-Regelung.....	23
7.6 Anwendungen mit durchziehender Last	23
7.7 Anwendungen mit einem mit der Drehzahl ansteigenden Lastmoment (Pumpen, Lüfter, Verdichter, ...)	23
7.8 Anwendungen mit häufigen Anläufen und Abschaltungen und/oder mechanischem Abbremsen	24
7.9 Anwendungen in explosionsfähiger Gas- oder Staub-Atmosphäre	24
8 Wirtschaftlichkeit.....	24
8.1 Bedeutung für den Anwender.....	24

	Seite
8.2 Anschaffungskosten.....	25
8.3 Betriebskosten	25
8.4 Amortisationszeit.....	27
8.5 Lebensdauerkosten	27
9 Wartung	28
Anhang A Super-Premium-Wirkungsgrad (IE4).....	30
Anhang B Literaturhinweise	34
Bild 1 – Übersicht über unterschiedliche Möglichkeiten zur Energieeinsparung in Antriebssystemen	9
Bild 2 –Verluste von Energiesparmotoren, Umrichtern und elektromechanischen Bremsen in Abhängigkeit von den Verlusten in Standardmotoren (IE1)	10
Bild 3 – Typische Wirkungsgrad-Lastkurven für 4polige Drehstrom-Induktionsmotoren mit Käfigläufer	14
Bild 4 – Typische Leistungsfaktor-/Lastkurven von 4poligen Drehstrom-Induktionsmotoren mit Käfigläufer	16
Bild 5 – Typischer Wirkungsgrad von Drehstrom-Umrichtern mit Zwischenkreis und Dioden- Gleichrichter auf der Netzseite	18
Bild 6 – Typische Änderungen von Strom, Drehzahl, Leistungsfaktor und Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Spannung bei konstanter Ausgangsleistung	20
Bild 7 – Energieeinsparung durch Erhöhung der Wirkungsgradklasse	22
Bild 8 – Typische Drehmoment/Drehzahl-Abhängigkeiten von 4poligen Drehstrom- Induktionsmotoren mit Käfigläufer sowie Drehmoment/Drehzahlkurven von Gebläsen	23
Bild 9 – 11 kW-IE3-Motor, 4000 Betriebsstunden pro Jahr, Gebrauchsdauer 15 Jahre (Quelle: EuP Lot 11, 2008).....	25
Bild 10 – Beispielhafter Belastungsfaktor: Anteil an den jährlichen Betriebsstunden.....	26
Bild 11 – Analyse der Lebensdauerkosten eines 11 kW-Motors (Quelle: EuP Lot 11, 2008)	28
Tabelle A.1 – Interpolations-Koeffizienten	31
Tabelle A.2 – Nenn Grenzen (%) für Super-Premium-Wirkungsgrad IE4 (informativ)	32
Tabelle A.3 – Standard-Leistung in kW, zugehörig zu den Drehmomenten und Drehzahlen der Tabelle für netzgespeiste Motoren	33

Einleitung

Das vorliegende Schriftstück enthält technische Hinweise für die Anwendung von Energie-Sparmotoren in Antrieben mit konstanter Drehzahl und mit veränderlicher Drehzahl. Es enthält keine Gesichtspunkte rein kommerzieller Natur.

Die von IEC/TC 2 entwickelten Normen beinhalten keine Entwurfsverfahren, wie ein hoher Wirkungsgrad erzielt wird, jedoch Prüfverfahren zum Nachweis des garantierten Wertes. IEC 60034-2-1 stellt in dieser Hinsicht die wichtigste Norm dar.

Regionale Vereinbarungen über Wirkungsgradklassen kleiner Drehstrominduktionsmotoren mit Käfigläufer und mit Leistungen bis zu etwa 200 kW maximal wurden seit ca. 15 Jahren in vielen Teilen der Welt ausgehandelt, weil Motoren dieses Leistungsbereiches in hohen Stückzahlen installiert sind und überwiegend in Serie gefertigt werden. Die Auslegung dieser Motoren ist oft durch die Marktforderung nach geringen Investitionskosten beeinflusst, wohingegen Energieeffizienz keine hohe Priorität besaß.

In IEC 60034-30 sind Wirkungsgradklassen für Induktionsmotoren mit Käfigläufer, ausgenommen polumschaltbare Motoren, definiert und auch Prüfverfahren festgelegt.

IE1	Standard-Wirkungsgrad
IE2	High-Wirkungsgrad
IE3	Premium-Wirkungsgrad
IE4	Super-Premium-Wirkungsgrad

Die Bestimmung des Wirkungsgrades von Antrieben (Motor und Umrichter) für veränderliche Drehzahl wird in IEC 60034-2-3 aufgenommen.

Bei Motoren und Generatoren im Leistungsbereich 1 MW und darüber, die üblicherweise für den individuellen Anwendungsfall ausgelegt sind, war ein hoher Wirkungsgrad schon immer eines der wichtigsten Auslegungsziele. Der Vollast-Wirkungsgrad dieser Maschinen liegt typischerweise im Bereich 95 % bis 98 %. Der Wirkungsgrad ist üblicherweise Teil des Kaufvertrages und wird mit einer Vertragsstrafe belegt, falls die Toleranzen überschritten werden.

Mit Erlaubnis von NEMA basieren einige Teile dieser Technischen Spezifikation auf NEMA MG 10, „Leitfaden für die Auswahl und Anwendung mittelgroßer Mehrphasen-Induktionsmotoren mit Käfigläufer für Betrieb an fester Frequenz unter energetischen Gesichtspunkten“.

1 Anwendungsbereich

Dieses Schriftstück stellt einen Leitfaden zu technischen Aspekten für die Anwendung von Energie-Sparmotoren für Drehstrom dar. Es betrifft Motorhersteller, OEM, Endverbraucher, Aufsichtsbehörden, Gesetzgeber und alle anderen interessierten Parteien.

Dieser Leitfaden betrifft alle elektrischen Maschinen innerhalb des Anwendungsbereiches von IEC 60034-30. Die meisten Informationen sind jedoch auch anwendbar auf größere Induktionsmotoren mit Käfigläufer im Leistungsbereich weit oberhalb von 1 MW.

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 60034-30, *Drehende elektrische Maschinen – Teil 30: Wirkungsgradklassen von Drehstrom-Induktionsmotoren mit Käfigläufern, ausgenommen polumschaltbare Motoren (IE-Code)*.

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments sind die Begriffe und Definitionen von IEC 60034-1 und die nachstehenden maßgebend.

Bremsmotor

Ein Motor, der mit einer elektro-mechanischen Bremseinheit direkt auf der Motorwelle ohne Kupplungen ausgerüstet ist

Mittlerer Wirkungsgrad

Der mittlere Wirkungsgrad einer Motorenreihe mit der gleichen Ausführung und Bemessung

Getriebemotor

Ein Motor, der ohne Kupplungen direkt mit einem Getriebe verbunden ist (d. h. das erste Getrieberad sitzt auf der Motorwelle).

Kleinster Wirkungsgrad

Der Bemessungs-Wirkungsgrad nach Angabe des Herstellers abzüglich der Toleranz entsprechend IEC 60034-1. Dieser Wirkungsgrad wird vom Hersteller für jeden einzelnen Motor aus einem großen Fertigungslos garantiert.

Nenn-Wirkungsgrad

Der geforderte Wirkungsgrad, um in eine bestimmte Wirkungsgradklasse entsprechend den Wirkungsgradtafeln dieser Spezifikation eingeordnet zu werden

Pumpenmotor

Ein Motor, der ohne Kupplungen direkt an eine Pumpe angebaut ist (d. h. das Pumpenrad ist auf der Motorwelle befestigt).

Bemessungswirkungsgrad

Der vom Hersteller zugeordnete Wirkungsgrad, gleich dem Nennwirkungsgrad oder höher

Symbole

η_n ist der Nennwirkungsgrad

η_N ist der Bemessungswirkungsgrad

f_N ist die Bemessungsfrequenz

n_N ist die Bemessungsdrehzahl

P_N ist die Bemessungsleistung

U_N ist die Bemessungsspannung

4 Allgemeines

Energieeinsparung in elektrischen Antriebssystemen						
	Komponenten			Anwendung		
	Elektrischer Motor		Mechanische Elemente	Optimierter Prozess	Reserveleistung	Zwischenspeicherung von Energie
S1 Dauerbetrieb	Wirkungsgrad: IE1, IE2, IE3, IE4	Leistungsfaktor – Wechselrichter – Synchronmotoren	Getriebe: Schrägverzahnt oder Kegelrad-Getriebe anstelle von Schneckenrad-Getriebe Riemen: Zahnriemen anstelle von Keilriemen Pumpen/ Ventilatoren: Optimierung der Beschauelfung	Korrekte Wartung Reduzierte Leckagen Veränderliche Drehzahl	Niederspannungsversorgung mit hohem Wirkungsgrad Ruhestellung in industriellen Regeleinheiten	
S3 bis S10 Aussetzbetrieb oder periodischer Betrieb				Anfahren an reduzierter Spannung Anfahren an rampenförmiger Spannung		Turnusmäßig Chemisch: – Lithium-Batterie – Kapazitive Speicherung (Ultracap) – Gleichspannungs-Verbindungs-kupplung

Bild 1 – Übersicht über unterschiedliche Möglichkeiten zur Energieeinsparung in Antriebssystemen

Energie kann an verschiedenen Gebieten eines elektrischen Antriebssystems je nach Betriebsart (Dauer- oder Aussetzbetrieb) gespart werden.

In Dauerbetriebsanwendungen ist ein verbesserter Wirkungsgrad des Elektromotors vorteilhaft. Ein verbesserter Leistungsfaktor (Frequenzumrichter, Synchronmotor) kann helfen, die Stromwärmeverluste in Kabeln zu vermindern. Mechanische Optimierungen (Getriebe, Riemen, Pumpen, Ventilatoren usw.) können wesentlich höhere Ersparnisse erbringen als Verbesserungen am Elektromotor. Auch die mechanische Arbeitsmaschine muss betrachtet werden. Ordnungsgemäße Wartung und bedarfsorientierte Drehzahlregelung sind oft hilfreich.

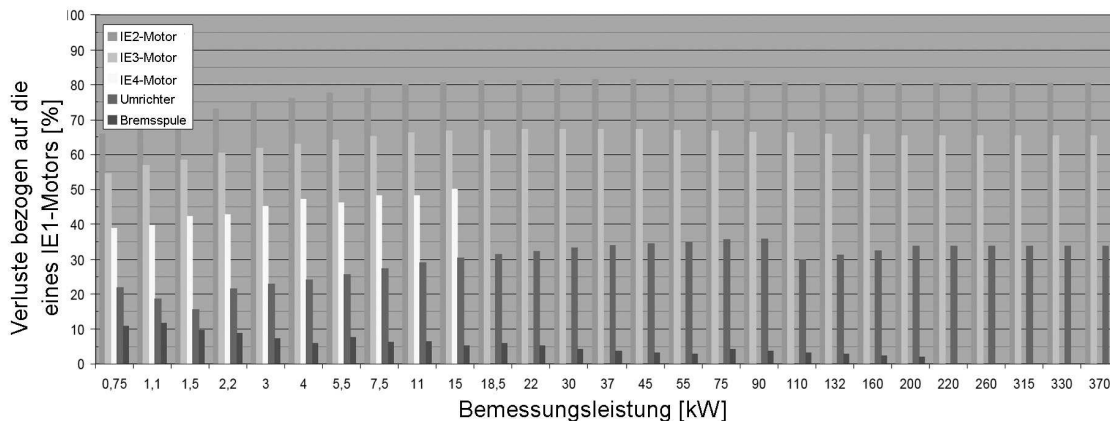


Bild 2 –Verluste von Energiesparmotoren, Umrichtern und elektromechanischen Bremsen in Abhängigkeit von den Verlusten in Standardmotoren (IE1)

Bild 2 gibt einen Überblick der Verluste von Energiesparmotoren, Frequenzumrichtern und Bremsspulen elektromechanischer Motorbremsen in Abhängigkeit der Verluste in Standardmotoren (IE1).

In vielen Industrieanlagen besteht ein hoher Energieverbrauch der Niederspannungsregelkreise (typischerweise 24 V Versorgungsspannung). Deshalb sollten Niederspannungsversorgungselemente mit hohem Wirkungsgrad eingesetzt werden. Falls möglich, sollte die Fabrik während längerer Stillstandszeiten (Wochenenden, Feiertage) abgeschaltet werden.

In Anwendungen für Aussetzbetrieb sind Energiesparmotoren nicht sehr hilfreich und können sogar einen höheren Energieverbrauch aufgrund ihres größeren Massenträgheitsmomentes und größerer Einschaltströme aufweisen. Für solche Anwendungen kann der Energieverbrauch während des Anfahrens durch den Einsatz von Softstartern oder durch rampenförmigen Spannungsanstieg bei Speisung aus einem Frequenzumrichter reduziert werden. Zwischenspeicherung von Energie kann nützlich sein, wenn die Betriebszyklen häufig Rückspeisungsphasen einschließen (z. B. Gebläseantriebe, Aufzüge, Krane usw.).

5 Wirkungsgrad

Der Motorwirkungsgrad ist ein Maß für die Effektivität, mit der elektrische in mechanische Energie gewandelt wird, und wird ausgedrückt als das Verhältnis der mechanischen Leistung zur aufgenommenen Wirkleistung:

$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{\text{Mechanische Leistung}}{\text{Aufgenommene Wirkleistung}} = \frac{\text{Mechanische Leistung}}{\text{Mechanische Leistung} + \text{Verluste}}$$

Der Motorwirkungsgrad wird üblicherweise für Bemessungsleistung angegeben, obwohl Dreiviertel- und Halblast auch vorkommen können.

Der Wirkungsgrad eines Motors ist in erster Linie eine Funktion der Belastung und der Drehzahl, wie nachstehend angegeben:

- Die Änderung des Wirkungsgrades in Abhängigkeit von der Belastung ist eine durch die Motorbemessung festgelegte Eigenschaft. Der Betrieb eines Motors bei Belastungen, die wesentlich von der Bemessungsleistung abweichen, kann eine Änderung des Motorwirkungsgrades bewirken.
- Grundsätzlich wächst der Vollast-Wirkungsgrad eines Motors mit der Baugröße und mit der Bemessungsleistung.
- Bei der gleichen Bemessungsleistung haben Motoren für höhere Drehzahlen üblicherweise, aber nicht notwendigerweise, einen höheren Wirkungsgrad bei Vollast als Motoren mit kleineren Bemessungsdrehzahlen. Dies bedeutet jedoch nicht, dass alle Arbeitsmaschinen durch Motoren für hohe Drehzahlen angetrieben werden sollten. Wenn eine Drehzahländerung durch mechanische Maßnahmen wie Riemenzüge oder Getriebe erforderlich ist, um die erforderliche kleine Drehzahl zu erhalten, können die zusätzlichen Verluste den Wirkungsgrad stärker reduzieren als bei Einsatz eines direkt gekuppelten Motors, der für die kleinere Drehzahl bemessen wurde.

Ein bestimmter Zusammenhang besteht zwischen dem Schlupf und dem Wirkungsgrad eines Mehrphasen-Induktionsmotors, d. h. je höher der Schlupf, desto niedriger ist der Wirkungsgrad, denn der Schlupf ist ein Maß für die Läuferwicklungsverluste. Unter Schlupf eines Induktionsmotors versteht man die Differenz zwischen der synchronen und der Vollast-Drehzahl bezogen auf die synchrone Drehzahl. Deshalb besitzen Design N Induktionsmotoren mit Käfigläufer mit einem Schlupf von weniger als 5 % einen höheren Wirkungsgrad als Motoren mit einem größeren Schlupf und sollten deshalb eingesetzt werden, wenn es der Anwendungsfall gestattet.

Falls es die Belastung zulässt, kann eine signifikante Energieeinsparung u. U. durch Verwendung eines polumschaltbaren Motors erzielt werden. Es sollte jedoch beachtet werden, dass der Wirkungsgrad eines polumschaltbaren Motors bei jeder Betriebsdrehzahl etwas niedriger ist als der eines Motors vergleichbarer Größe, der für eine Drehzahl bemessen ist. Polumschaltbare Motoren mit einer Wicklung (Dahlander-Wicklung) besitzen grundsätzlich einen höheren Wirkungsgrad als polumschaltbare Motoren mit zwei getrennten Wicklungen.

Motoren, die im Dauerbetrieb über lange Zeiträume betrieben werden, sind prädestiniert, um den Energieverbrauch zu senken. Beispiele solcher Anwendungen stellen Verarbeitungsmaschinen, Ventilatoren, Pumpen und viele Arten von Industrieanwendungen dar.

Während viele Motoren im Dauerbetrieb eingesetzt sind, werden bestimmte Motoren nur für eine kurze Zeitspanne und für eine sehr niedrige Betriebsstundenzahl pro Jahr eingesetzt. Beispiele für solche Anwendungen sind Motoren zur Betätigung von Schiebern, Toren von Staustufen und industriellen Türöffnern. In solchen Fällen würde eine Änderung des Motorwirkungsgrades keine merkliche Änderung der gesamten Energiekosten nach sich ziehen, weil nur eine kleine Energie betroffen ist und eine Design-änderung das erforderliche Betriebsverhalten negativ beeinflussen könnte.

Ein mäßiger Anstieg des Motorwirkungsgrades um einige Prozentpunkte kann einen bedeutenden prozentualen Abfall der Motorverluste nach sich ziehen. Zum Beispiel bedeutet bei der gleichen Ausgangsleistung ein Anstieg des Wirkungsgrades von 75 % auf 78,9 %, von 85 % auf 87,6 % oder von 90 % auf 91,8 % in jedem Einzelfall eine Verkleinerung der Verluste um 20 %.

Da der Wirkungsgrad üblicherweise mit der Baugröße des Motors wächst, besitzen Hochspannungsmotoren mit Leistungen weit oberhalb 1 MW üblicherweise einen Wirkungsgrad oberhalb von 95 %.

ANMERKUNG Während die Ausgangsleistung eines Elektromotors mit dem Quadrat seiner Abmessungen wächst, nimmt die abführbare Wärmeleistung nur linear zu. Deshalb besitzen große Motoren unausweichlich höhere Wirkungsgrade.

5.1 Motorverluste

Ein Elektromotor wandelt elektrische Energie in mechanische und verursacht hierbei Verluste, die grundsätzlich wie folgt beschrieben werden können:

- Stromwärmeverluste in Ständer und Läufer in Abhängigkeit von der Belastung – Strom in den Motorwicklungen erzeugt Verluste, die proportional zum Quadrat des Stromes und dem Wicklungswiderstand sind. Die Läuferverluste wachsen auch mit dem Schlupf.
- Eisenverluste, hauptsächlich lastunabhängig – diese Verluste entstehen hauptsächlich im Ständerblechpaket und in wesentlich kleinerem Ausmaß im Läuferblechpaket. Das für die Drehmomenterzeugung maßgebende magnetische Feld des Motors verursacht Hysterese- und Wirbelstromverluste.
- Mechanische Verluste (Reibungs- und Ventilationsverluste) sind überwiegend lastunabhängig – mechanische Verluste entstehen in den Lagern, Lüftern und Dichtungen des Motors. Diese Verluste sind grundsätzlich klein in hochpoligen IP4x- und IP5x-Motoren, aber sie können in großen Motoren für hohe Drehzahl oder in geschlossenen IP6x-Motoren eine merkliche Größe annehmen.
- Zusatzverluste – die zusätzlichen Verluste durch das Grundfeld und Harmonische im Eisen, Stromverdrängungsverluste in den Teilleitern der Ständerwicklung sowie als Kreisströme zwischen parallelen Teilleitern; sowie Oberwellenverluste in den Läuferstäben bei Belastung. Diese Verluste werden als proportional zum Quadrat des Drehmomentes angenommen.

Unten sind die Komponenten der Motorverluste gelistet, zusammen mit dem typischen Anteil, den sie an den gesamten Verlusten ausmachen sowie die Auslegungs- und Konstruktions-Faktoren, die ihre Größe beeinflussen.

	Typischer Anteil der Verluste in 4poligen Motoren	Einflussfaktoren der Verlustkomponenten
Ständerverluste	30 % bis 50 %	Teilleiterabmessungen und Material im Ständer
Läuferverluste	20 % bis 25 %	Abmessungen und Material der Stäbe
Blechpaketverluste	20 % bis 25 %	Art und Menge der Bleche
Zusatzverluste	5 % bis 15 %	Hauptsächlich Fertigungstechnologie und Entwurf
Reibungs- und Lüftungsverluste	5 % bis 10 %	Auswahl/Bemessung der Lüfter und Lager

Grundsätzlich können die Verluste durch vermehrten Einsatz aktiven Materials im Motor, z. B. die Art und Menge der Leiter- und Magnetmaterialien, verkleinert werden.

5.2 Zusätzliche Motorverluste im Betrieb mit einem Frequenzumrichter

Die Spannungs- und Strom-Oberschwingungen eines Induktionsmotors mit Käfigläufer bei Speisung aus einem Frequenzumrichter verursachen zusätzliche Eisen- und Stromwärmeverluste in Ständer und Läufer. Der Gesamtbetrag dieser zusätzlichen Verluste hängt nicht von der Belastung ab und verkleinert sich mit wachsender Schaltfrequenz.

In ungünstigen Fällen können die zusätzlichen Verluste aufgrund von Umrichterspeisung die gesamten Motorverluste um bis zu 15 % bis 20 % im Vergleich zur Netzspeisung erhöhen.

Bezüglich Einzelheiten siehe IEC 60034-17 und IEC 60034-25.

5.3 Super-Premium-Wirkungsgrad (IE4)

Läuferverluste können nahezu vollständig durch Einsatz eines Synchronmotors ohne Erregerwicklung vermieden werden.

In Anhang A dieses Leitfadens wird eine Super-Premium-Wirkungsgradklasse IE4 vorgeschlagen, die sich speziell auf diese Motoren bezieht, obwohl die Wirkungsgradklasse IE4 als solche nicht auf bestimmte Motoren zugeschnitten ist.

Synchronmotoren mit Dauermagneterregung und Reluktanzmotoren wurden bereits entwickelt und sind für bestimmte Anwendungen auf dem Markt erhältlich. Dauermagneterregten Motoren ist ein bestimmtes Reluktanzmoment eigentümlich und die Reluktanzwirkung kann durch Dauermagnete verstärkt werden, wodurch Hybridlösungen möglich sind.

Abhängig von der Menge des eingesetzten Magnetmaterials kann ein permanentmagneterregter Motor einen höheren Leistungsfaktor besitzen als ein Induktionsmotor und dadurch den Wirkungsgrad des Verteilungsnetzes und des Frequenzumrichters verbessern. Diese Motoren erfordern jedoch einen Frequenzumrichter mit Pulsweitenmodulation der Spannung mit hoher Schaltfrequenz (üblicherweise 4 kHz und darüber) und einen Läufer-Lagegeber (Encoder) (es sei denn, dass ein lagegeberfreier Regelalgorithmus des Umrichters eingesetzt wird) für eine einwandfreie Betriebsweise.

Eine einfachere Motorregelung mit blockförmiger Spannung kleiner Schaltfrequenz ist auch in kleinen und/oder schnelllaufenden Motoren üblich („bürstenlose Gleichstrommaschine“ oder „elektronisch kommutierte Motoren“). Hauptnachteil sind die zusätzlichen Verluste durch parasitäre Oberschwingungsspannungen und -ströme. Eine Verbesserung des Wirkungsgrades gegenüber Induktionsmotoren ist gering

im Vergleich zu der Verbesserung mit durch Pulsweitenmodulation geregelten Dauermagnet- oder Reluktanz-Synchronmotoren.

Eine andere Art von Synchronmotoren enthält sowohl Dauermagnete als auch einen Käfigläufer. Sie kann darum zum Direktanlauf eingesetzt werden. Diese Motoren benötigen nicht unbedingt einen Frequenzumrichter, um betriebsfähig zu sein. Ihr Anlaufverhalten ist jedoch schlecht aufgrund von Drehmoment-schwankungen, Geräuscherzeugung und erheblichen Einschränkungen bezüglich des zulässigen Gegenmomentes und des zu beschleunigenden Massenträgheitsmomentes. Sie müssen eng auf die spezielle Anwendung bemessen werden und können nicht als Maschinen für allgemeine Anwendung benutzt werden.

Es ist vorgesehen, den Anwendungsbereich von IEC 60034-30 auszuweiten und den Anhang A als normativ zu entwickeln, sobald mehr Erfahrungen mit Synchronmotoren in Standardanwendungen verfügbar sind.

5.4 Änderungen der Motorverluste

Alle Produkte sind Gegenstand von Änderungen in Zusammenhang mit Material- und Fertigungsmethoden. Zwei Produkte weisen nie exakt das gleiche Verhalten auf, selbst dann nicht, wenn sie gleich bemessen und im gleichen Los gefertigt sind.

Diese Aussage trifft auch auf Elektromotoren zu. Eigenschaftsänderungen bei Materialien, wie z. B. bei den Blechqualitäten in Ständer und Läufer, wirken sich auf die elektromagnetischen Eigenschaften und schließlich auf die Verluste und somit auf den Motorwirkungsgrad aus. Wenn z. B. ein 7,5 kW-Motor betrachtet wird, würde ein Anstieg der Eisenverluste (300 W auf 330 W) um 10 %, der innerhalb der Toleranz des Blechliefers liegt, einen Anstieg der gesamten Motorverluste von 1 167 W auf 1 197 W und eine Verkleinerung des Wirkungsgrades von 86,5 % auf 86,2 % bewirken.

Änderungen sind auch möglich als Ergebnis von Grenzen des Fertigungsverfahrens. Es existiert eine wirtschaftliche Grenze für praktische Abmessungstoleranzen von Motorteilen. Kombinationen von Verbindungsteilen tragen zu Abmessungsänderungen bei, wie z. B. die Größe des Luftspaltes, die Änderungen der Zusatzverluste und somit des Motorwirkungsgrades hervorruft.

Zusätzlich existieren Änderungen hervorgerufen durch Abweichungen der Herstellverfahren und der Test-Genauigkeit.

Deshalb muss bei der Vorhersage des Wirkungsgrades eines vorgegebenen Motors vom Bemessungswirkungsgrad nach Festlegung durch den Hersteller (der identisch ist mit dem mittleren Wirkungsgrad einer großen Gruppe von Motoren) gesprochen werden und oberhalb oder gleich dem geforderten Nennwirkungsgrad der Bemessungswirkungsgradklasse (entsprechend IEC 60034-30) sein.

Der tatsächliche Vollastwirkungsgrad irgendeines einzelnen Motors darf niedriger sein als der Bemessungswirkungsgrad, aber nicht kleiner als der Bemessungswirkungsgrad abzüglich der Toleranz auf die Gesamtverluste entsprechend IEC 60034-1. Dies stellt die erreichte Grenze dar, wenn sowohl die Ausgangsmaterialien und die Fertigungsverfahren auf dem untersten Niveau ihrer spezifizierten Toleranzen liegen.

Der Bemessungswirkungsgrad sollte die Grundlage darstellen für die Einschätzung der Leistung, die zum Betrieb einer Anzahl von Motoren erforderlich ist. Der kleinste Wirkungsgrad (Bemessung abzüglich Toleranz) erlaubt dem Motorbetreiber die Sicherheit, dass er die spezifizierten Grenzen des Betriebsverhaltens einhält.

5.5 Teillastwirkungsgrad

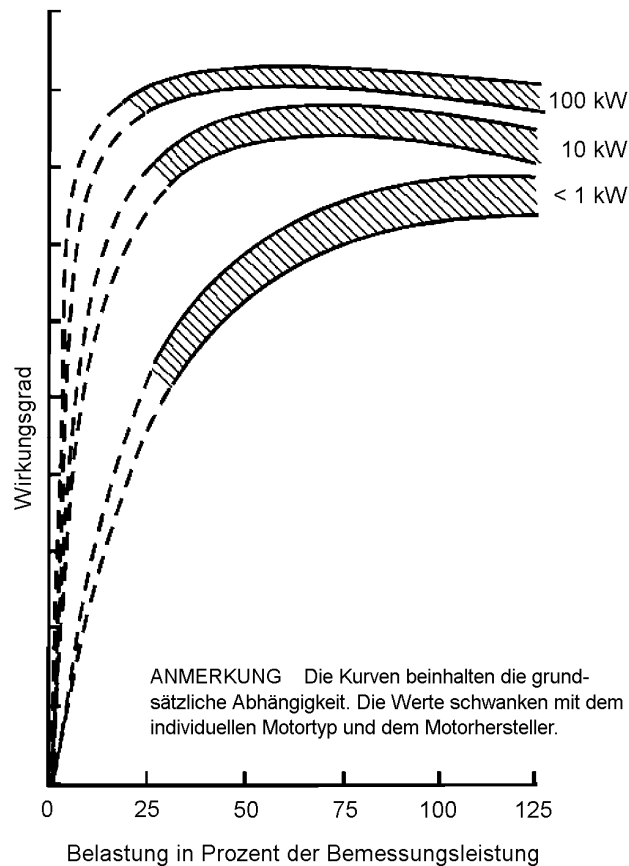


Bild 3 – Typische Wirkungsgrad-Belastungskurven für 4polige Drehstrom-Induktionsmotoren mit Käfigläufer

Wenn der Wirkungsgrad für Bemessungsleistung und Dreiviertellast vorgegeben ist, kann die folgende Formel benutzt werden, um in guter Annäherung den Wirkungsgrad bei irgendeiner anderen Teillast zu berechnen:

$$\nu_L = \frac{\left(\frac{1}{\eta_{100}} - 1 \right) - 0,75 \cdot \left(\frac{1}{\eta_{75}} - 1 \right)}{0,4375}$$

$$\nu_0 = \left(\frac{1}{\eta_{100}} - 1 \right) - \nu_L$$

$$\eta_p = \frac{1}{1 + \frac{\nu_0}{p} + \nu_L \cdot p}$$

Dabei ist

- η_{100} = Wirkungsgrad bei Bemessungsleistung (zwischen 0 und 1)
- η_{75} = Wirkungsgrad bei Dreiviertellast (zwischen 0 und 1)
- ν_L, ν_0 = Zwischenergebnisse
- p = gewünschte Leistung (bezogen auf Bemessungsleistung, d. h. im Bereich 0 bis 1 bis Überlast)
- η_p = resultierender Wirkungsgrad (zwischen 0 und 1)

5.6 Verfahren zur Messung des Wirkungsgrades

Es gibt verschiedene Prüfmethoden zur Bestimmung des Motorwirkungsgrades. Die Standard-Prüfverfahren für Induktionsmotoren sind international in IEC 60034-2-1 niedergelegt; die Norm enthält mehrere Methoden zur Bestimmung des Motorwirkungsgrades, von denen jede bestimmte Vorteile in Bezug auf Genauigkeit, Kosten und einfacher Durchführung enthält, was in erster Linie von der Motorgröße abhängt. Einige der in IEC 60034-2-1 enthaltenen Verfahren sind in nationalen Normen wie CSA C390 oder IEEE 112 harmonisiert.

Die Bestimmung der Restverluste nach IEC 60034-2-1 ist ein definiertes Berechnungsverfahren zur Aufteilung der verschiedenen Verlustarten aus den Ausgangsdaten und durch Glättung der Zusatzverluste mit Hilfe einer linearen Regression. Dadurch kann der Fehlereinfluss, der durch Messungen über den Lastbereich von 25 % bis etwa 150 % der Bemessungsleistung entsteht, reduziert werden. Bei diesem Verfahren wird auch die gemessene Umgebungstemperatur auf einen konstanten Wert umgerechnet, um die Änderung während der verschiedenen Prüfintervalle zu verkleinern.

Die übliche Methode, um die Ausgangsdaten für Motoren im Leistungsbereich 0,75 kW bis 370 kW zu erhalten, ist die Prüfung des Motors mit einer Belastungsmaschine (Dynamometer), wobei die aufgenommene und die abgegebene Leistung besonders sorgfältig gemessen werden, um die Verlustanteile und somit den Wirkungsgrad zu bestimmen.

Die Einhaltung der Prüffeldqualitätsstandards durch Akkreditierung bei einer nationalen Aufsichtsbehörde kann zusätzlich zu einer Minimierung der Unsicherheiten in den Ergebnissen beitragen, die auftreten, wenn ein Motor in verschiedenen Prüffeldern gemessen wird.

Selbst beim Einsatz einer gleichbleibenden und genauen Prüfmethode des Wirkungsgrades entstehen Abweichungen der Ergebnisse für den gleichen Motor, in erster Linie durch die Kenngrößen der Prüfeinrichtungen und Instrumente sowie im Falle nicht automatisierter Prüfung durch Bedienungseinflüsse.

5.7 Leistungsfaktor

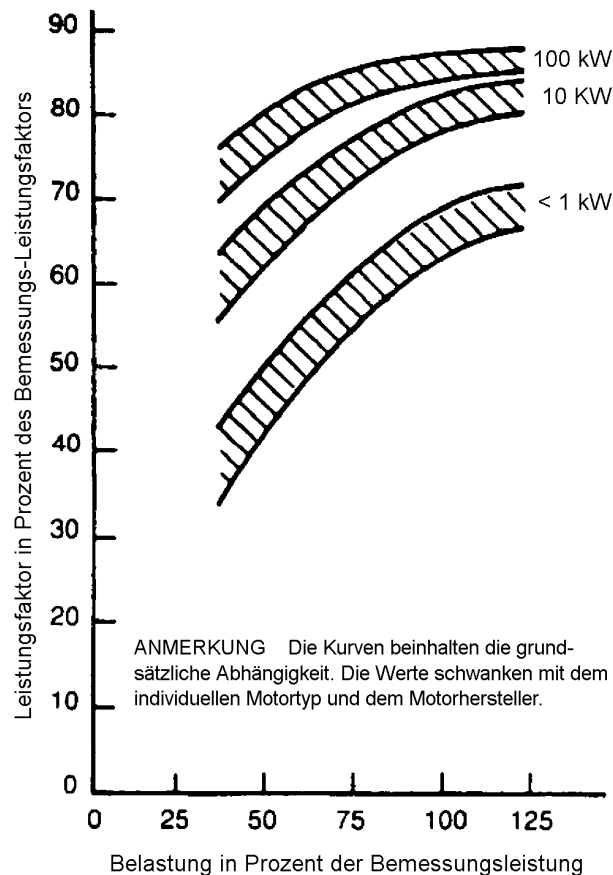


Bild 4 – Typische Leistungsfaktor-/Belastungs-Kurven von 4poligen Drehstrom-Induktionsmotoren mit Käfigläufer

Die Motorlast ist üblicherweise ein wichtiger Einflussfaktor für den System-Leistungsfaktor. Ein niedriger System-Leistungsfaktor verursacht erhöhte Verluste im Netz. Induktionsmotoren benötigen zum Betrieb stets induktive Blindleistung.

Der Leistungsfaktor eines Induktionsmotors nimmt im Teillastbereich ab.

Der Bemessungsleistungsfaktor wächst mit zunehmender Motorgröße. Eine Gruppe von Induktionsmotoren, die alle dicht beim Leerlauf betrieben werden, können einen geringen Leistungsfaktor im Versorgungssystem bewirken. Der Leistungsfaktor von Induktionsmotoren im Bemessungsbetrieb ist bei hochpoligen Motoren kleiner als bei niederpoligen.

Ein geringer Anstieg der Spannung (weniger als 10 %) über die Bemessungsspannung verkleinert den Leistungsfaktor, und ein kleiner Spannungsabfall (weniger als 10 %) unter die Bemessungsspannung verbessert den Leistungsfaktor eines Induktionsmotors. Andere Kenngrößen des Betriebsverhaltens können jedoch entgegengesetzte Einflüsse ausüben, weshalb ein Betrieb möglichst dicht an Bemessungsspannung und Bemessungsleistung empfohlen wird.

Eine Analyse des Versorgungssystems zeigt auf, welche Verbesserung beim Leistungsfaktor erforderlich ist und welche Kondensatoren, Synchronmotoren oder anderen Maßnahmen zur Korrektur eingesetzt werden sollten. Wenn Kondensatoren zur Verbesserung des Leistungsfaktors eingesetzt werden, müssen sie sorgfältig ausgewählt werden, um kritische Betriebszustände zu vermeiden. Es wird empfohlen, den Systemhersteller zu Rate zu ziehen.

5.8 Auswahl von Motor und Umrichter für Drehzahlstellantriebe

Bei Vorliegen welcher Bedingungen soll ein Drehzahlstellantrieb für eine bestimmte Anwendung eingesetzt werden???

Wie ist ein Motor zum Einsatz in einem Drehzahlstellantrieb auszuwählen???

Wie ist der Umrichter zum Einsatz in einem Drehzahlstellantrieb auszuwählen und wie muss er programmiert werden???

<< Ausgangsmaterial von Konrad Brunner erforderlich >>

5.9 Motoren mit Bemessungen für 50 Hz und 60 Hz

Da die Ausnutzung und die Baugröße des Motors sich nach dem Drehmoment und nicht so sehr nach der Leistung richten, steigt die rechnerische Ausgangsleistung linear mit der Drehzahl, d. h. um 20 % beim Übergang von 50 Hz auf 60 Hz.

Die Stromwärmeverluste in den Wicklungen sind dominant insbesondere in Induktionsmotoren kleiner und mittlerer Größe. Sie bleiben grundsätzlich konstant für 50 Hz und 60 Hz, solange das Drehmoment konstant ist. Obwohl die Lüftungs-, Reibungs- und Eisen-Verluste mit der Frequenz anwachsen, spielen sie eine geringere Rolle in diesen Motoren. Darum steigen die Verluste bei 60 Hz im Vergleich zu 50 Hz geringer an als der 20 %-ige Anstieg der Leistung, und der Wirkungsgrad wird besser.

In der Praxis folgen die Leistungs-Zuordnungen bei 50 Hz und 60 Hz den genormten Tabellenwerten von IEC 60072. Darum ist die Leistungserhöhung um 20 % nicht immer möglich. Aber es bleibt der grundlegende Vorteil von 60 Hz-Speisung, falls die Motorbemessung für die jeweilige Speisefrequenz optimiert ist und nicht einfach umgerechnet wurde.

Der Unterschied im Wirkungsgrad zwischen 50 Hz und 60 Hz ändert sich mit der Polzahl und der Baugröße des Motors. Grundsätzlich ist der Wirkungsgrad von Drehstrom-Induktionsmotoren mit Käfigläufer für 60 Hz im Leistungsbereich 0,75 kW bis 370 kW zwischen 2,5 % bis weniger als 0,5 % größer im Vergleich zum Wirkungsgrad des 50 Hz-Motors. Nur große zweipolige Motoren können einen geringfügig kleineren Wirkungsgrad bei 60 Hz aufgrund des hohen Beitrages der Lüftungs- und Reibungsverluste aufweisen.

Wenn Motoren für Betrieb sowohl am 50 Hz als auch am 60 Hz Netz für etwa den gleichen magnetischen Fluss und etwa das gleiche Drehmoment (d. h. 20 % höhere Leistung bei 60 Hz), z. B. für 400 V/50 Hz/3,0 kW und 460 V/60 Hz/3,7 kW bemessen sind, ergibt sich in den meisten Fällen ein besserer Wirkungsgrad für 60 Hz als bei 50 Hz.

Wenn Motoren für Betrieb sowohl am 50 Hz und am 60 Hz Netz für etwa den gleichen magnetischen Fluss und die gleiche Leistung (d. h. 20 % kleineres Drehmoment bei 60 Hz), z. B. 400 V/50 Hz/5,5 kW und 460 V/60 Hz/5,5 kW bemessen werden, so ist der Wirkungsgrad bei 60 Hz immer besser, weil die Ausnutzung des Motors reduziert ist.

Aus diesen Gründen sind die Grenzkurven für die verschiedenen Wirkungsgradklassen (IE1, IE2, IE3) stets höher für 60 Hz-Motoren als für 50 Hz-Motoren.

5.10 Motoren mit Bemessung für unterschiedliche Spannungen oder einen Spannungsbereich

Eine Änderung des Wirkungsgrades mit der Spannung ist ein inhärentes Kennzeichen aller Motoren. Betrieb eines Motors mit Spannungen deutlich unterschiedlich von der Bemessungsspannung bewirkt eine Änderung des Motorwirkungsgrades und der Erwärmung.

Der Einfluss auf den Wirkungsgrad wirkt sich üblicherweise stärker bei kleinen als bei großen Motoren aus.

5.11 Wirkungsgrad von Frequenzumrichtern

Frequenzumrichter besitzen grundsätzlich einen hohen Wirkungsgrad. Wie bei Motoren fällt ihr Wirkungsgrad bei Teillast ab.

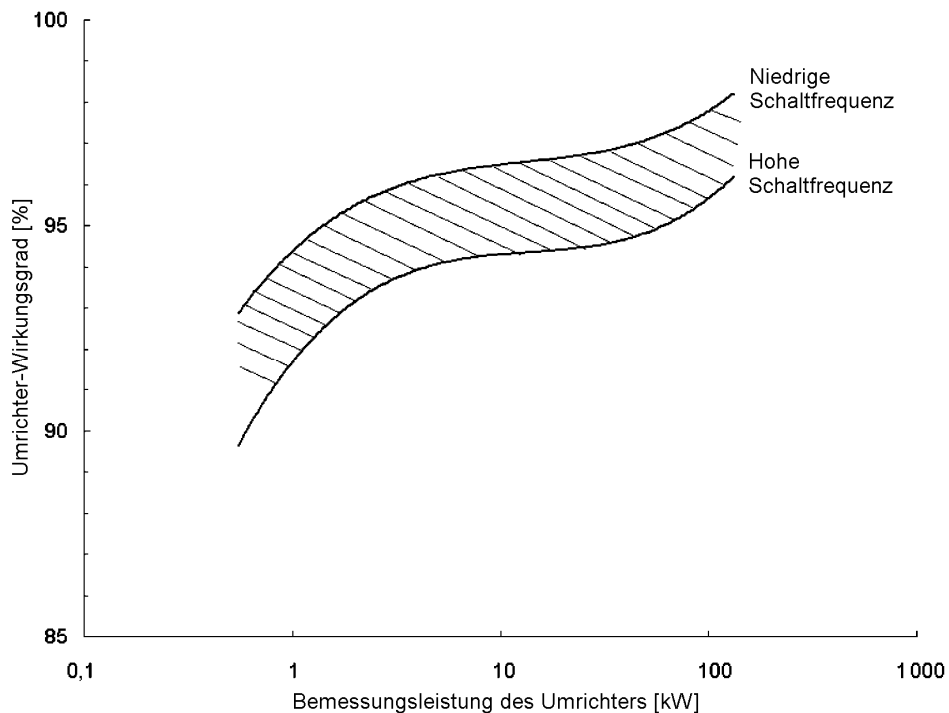


Bild 5 – Typischer Wirkungsgrad von Drehstrom-U-Umrichtern mit Zwischenkreis und Dioden-Gleichrichter auf der Netzseite

Die nachstehende Tabelle enthält die Verlustkomponenten von Frequenzumrichtern für die hauptsächlich vorkommenden Arten von Industrienumrichtern (Spannungs-Zwischenkreis-Umrichter für Niederspannungsanschluss mit einem ungesteuerten Dioden-Gleichrichter auf der Netzseite) im Leistungsbereich zwischen 1 kW und 100 kW.

	Typischer Anteil an den Gesamtverlusten	Einflussfaktoren der Verlustkomponenten
Schaltverluste (Ausgangsstufe)	30 % bis 50 %	Motorstrom und Schaltfrequenz
Verluste im Eingangs-Gleichrichter	20 % bis 25 %	Speisestrom (nahezu proportional zur Motorleistung)
Durchgangsverluste (Ausgangsstufe)	15 % bis 20 %	Motorstrom
Verluste in inneren Regelkreisen (Mikrorechner, interne Spannungsversorgung, Display, Tastatur, Sammelschienen-Kommunikation, digitale und analoge Ein- und Ausgänge)	5 % bis 20 %	Nahezu konstant
Schaltverluste (netzseitiger Wechselrichter, nur bei einem active front-end)	–	Speisestrom und Schaltfrequenz (nahezu proportional zur Motorleistung)
Durchgangsverluste (netzseitiger Wechselrichter, nur bei einem active front-end)	–	Speisestrom (nahezu proportional zur Motorleistung)

Eine Verkleinerung des Umrichter-Wirkungsgrades kann zu einer kleineren Ausgangsspannung auf der Motorseite führen. Dies kann verhindern, dass der Motor seine höchste Drehzahl erreicht und/oder Betrieb mit Feldschwächung erfordern, welcher zu einer Verkleinerung des Motorwirkungsgrades führt.

5.12 Leistungsfaktor von Frequenzumrichtern

Der Leistungsfaktor von Umrichtern mit Gleichstromzwischenkreis hängt nur von der Bemessung des Gleichrichters auf der Netzseite ab. Die Motorbemessung oder die Motorbelastung beeinflussen den Leistungsfaktor des Umrichters nicht. Aufgrund des Oberschwingungsgehaltes des Eingangsstromes des Frequenzumrichters muss der Gesamtleistungsfaktor λ betrachtet werden:

$$\lambda = \frac{\text{Wirkleistung } P}{\text{Scheinleistung } S}$$

Der Leistungsfaktor kann durch Einsatz eines netzseitigen gesteuerten Wechselrichters (active front-end) nahezu auf Eins eingestellt werden.

Die folgenden typischen Beispiele betreffen gebräuchliche Umrichter für Niederspannungsmotoren (Spannungs-Zwischenkreis-Umrichter mit ungesteuertem Einphasen- oder Dreiphasen-Diodengleichrichter auf der Netzseite):

- | | |
|---|--|
| – Einphasenumrichter: | $\lambda \approx 0,58$ (für $P_N \approx 0,5 \text{ kW}$) |
| – Dreiphasenumrichter: | $\lambda \approx 0,64$ (für $P_N \approx 2 \text{ kW}$) |
| – Dreiphasenumrichter mit Netzdrossel: | $\lambda \approx 0,92$ (für $P_N \approx 2 \text{ kW}$) |
| – Dreiphasenumrichter mit „schlankem“ Zwischenkreis (kleine Zwischenkreis-Kapazität): | $\lambda \approx 0,94$ (für $P_N \approx 1 \text{ bis } 10 \text{ kW}$) |

Jedwede zusätzliche Verbesserung des Leistungsfaktors zwischen dem Netz und dem Umrichter-Eingangsgleichrichter hat keinen Einfluss auf das Motorverhalten.

Da Frequenzumrichter den Leistungsfaktor auf der Netzseite verbessern, aber nicht zwischen Motor und Umrichter, ist es energiesparend, den Umrichter so nah wie möglich am Motor zu installieren (dezentralisierte Installation).

6 Umgebungsbedingungen

6.1 Anlaufverhalten

Energiesparmotoren als Induktionsmotoren mit Käfigläufer werden üblicherweise mit erhöhtem Einsatz aktiven Materials gebaut, d. h. längerer Blechpaketlänge und/oder größerem Blechpaketdurchmesser, um den höheren Wirkungsgrad zu erzielen. Aus diesen Gründen weicht das Anlaufverhalten von Energiesparmotoren etwas von demjenigen von Normmotoren mit kleinerem Wirkungsgrad ab.

Im Durchschnitt steigt der Anzugsstrom um 10 % bis 15 %, wenn ein Motor einer bestimmten Wirkungsklasse mit einem Motor der gleichen Leistung, aber der nächsthöheren Klasse verglichen wird. Im Einzelfall hängt der Unterschied von dem Konstruktionsprinzip des Motors ab und sollte mit dem Hersteller abgestimmt werden, wenn Motoren in einer bestehenden Installation ausgetauscht werden. Motoren mit Kupferläufer haben grundsätzlich einen höheren Anzugsstrom als Motoren mit Aluminiumläufer.