Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences

Topmotors Workshop Nr. 18: «Praxisworkshop Energieberater»

Aktueller Stand der Technik elektrischer Antriebssysteme in Bezug auf Energieeffizienz

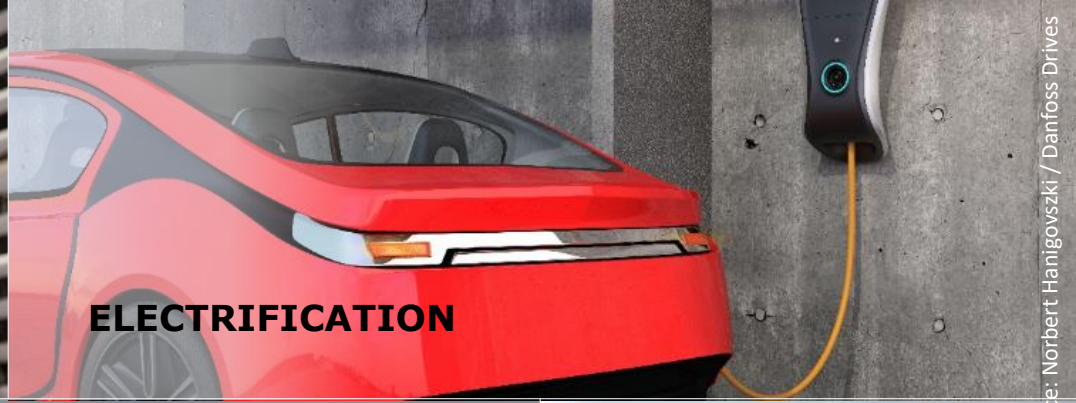
Prof. Dr. Andrea Vezzini, Berner Fachhochschule

- Bern University of Applied Sciences – Institute for Energy and Mobility Research

29. Juni 2021

Inhaltsverzeichnis

- Megatrends
- Verluste und Wirkungsgrad von Induktionsmotoren
- Neue Motortechnologien
- Umrichtereffizienz
- Der Umrichter al Sensor in industriellen Prozessen Messgenauigkeit
- Zustandsüberwachung und Effizienzeinsparungen
- Schlussfolgerungen



GLOBAL MEGA-TRENDS

transforming our world

Source: Norbert Hanigovszki / Danfoss Drives

DIGITALIZATION

Industrie 4.0 - Vernetzung von Menschen, Dingen und Systemen über die gesamte Wertschöpfungskette

- Antriebe werden zu Elementen der Informationskette
- Antriebe als intelligente Sensoren bieten Sensorik und Analytik
- Antriebe als Steuerungen ersetzen dedizierte speicherprogrammierbare Steuerungen

Source: Norbert Hanigovszki / Danfoss Drives

ELECTRIFICATION

Ersatz von traditionellen verbrennungsmotorischen oder hydraulischen Antrieben durch elektrische Antriebe

- Hat Auswirkungen auf eine Vielzahl von Sektoren: Automobil, Marine (Hybrid- und vollelektrische Schiffe), Maschinenbau, Wärmepumpen
- In einigen Sektoren (z. B. Marine) werden industrielle Antriebe direkt eingesetzt
- In anderen Anwendungen (Automotive) werden Antriebe aufgrund von Platz-, Kühlungs- und Zuverlässigkeitsanforderungen angepasst

Source: Norbert Hanigovszki / Danfoss Drives

URBANIZATION

Bis 2050 werden 68 % der Weltbevölkerung in städtischen Gebieten leben

- Der Gebäude- und Hochbausektor ist für 36 % des weltweiten Endenergieverbrauchs verantwortlich, wobei 42 % der verwendeten Energie auf HLK entfallen
- Gebäudeinfrastruktur: Heizungs-, Lüftungs- und Klimatisierungssysteme (HVAC), Aufzüge, Rolltreppen, persönliche Mobilität
- Ausbau der Wasser- und Abwassernetze

Source: Norbert Hanigovszki / Danfoss Drives

FOOD SUPPLY

30 % der heute produzierten Lebensmittel werden verschwendet

- Steigerung der landwirtschaftlichen Effizienz, auch durch Elektrifizierung von Maschinen
- Durchgängigkeit der Kühlkette zur Vermeidung von Lebensmittelabfällen
- Verbesserung der Frischwasserversorgung durch drehzahlvariable Pumpen (Reduzierung des Energieverbrauchs, Verringerung von Wasserleckagen und Rohrbrüchen)

Source: Norbert Hanigovszki / Danfoss Drives

CLIMATE CHANGE

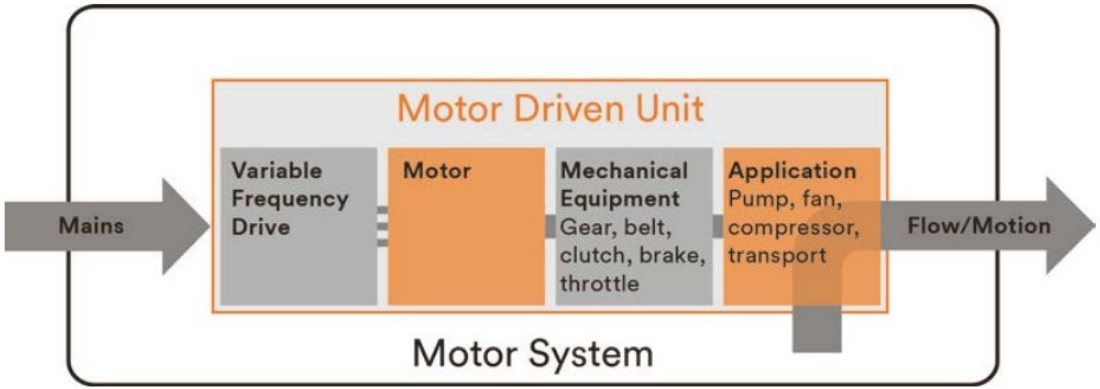
Energy efficiency is ”the new renewable”

- Der Fokus auf mehr Energie ist sowohl markt- als auch politikgetrieben
- 20% der weltweiten Energie ist elektrische Energie, 50% der elektrischen Energie wird von Motoren verbraucht
- 80% der Motoren treiben Ventilatoren, Pumpen und Kompressoren an
- VSD können bis 2040 8% des weltweiten Stromverbrauchs einsparen

Source: Norbert Hanigovszki / Danfoss Drives

Definition Motor Driven Unit

- Ein elektrischer Antrieb wandelt elektrische in mechanische Leistung und kann aus folgenden Einzelkomponenten bestehen: Frequenzumrichter, Elektromotor, mechanische Ausrüstung (z. B. Getriebe, Riemen, Kupplung, Bremse, Drossel) und eine angetriebene Anwendung (z. B. Pumpe, Lüfter, Kompressor, Transport).

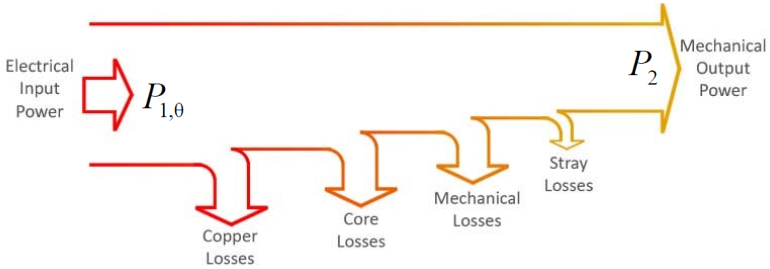


Verluste und Wirkungsgrad von Induktionsmotoren

- Kupferverluste,
  - Stator Cu Verluste ($P_{s\theta}$)
  - Rotor Cu Verluste ($P_{r\theta}$)
- Eisenverluste (P_{fe})
  - Hystereseverluste
  - Wirbelstromverluste
- Mechanische Verluste (P_{fw})
  - Reibungsverluste
  - Luftwiderstandsverluste
- Zusatzverluste (P_{LL})

$$\eta = \frac{P_{1,\theta} - P_T}{P_{1,\theta}} = \frac{P_2}{P_2 + P_T}$$

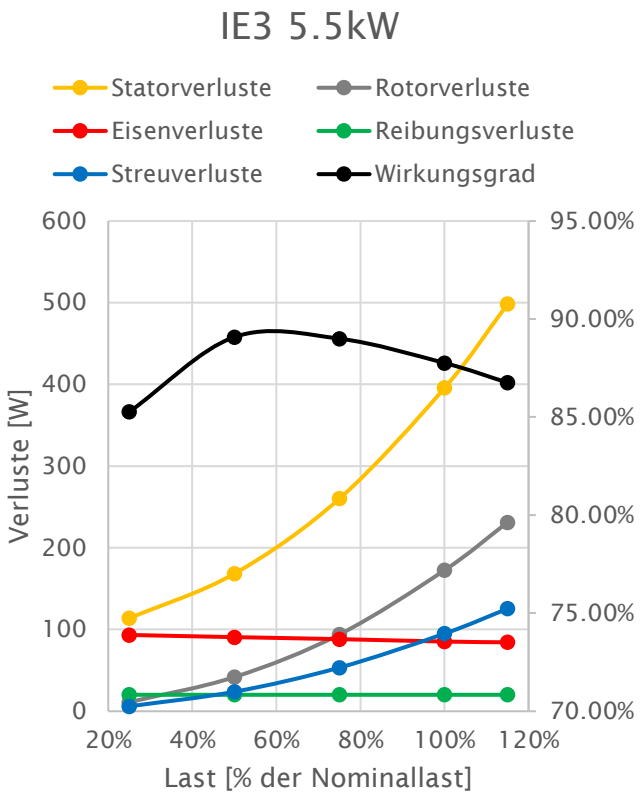
$$P_T = P_{fe} + P_{fw} + P_{s\,\theta} + P_{r\,\theta} + P_{LL}$$

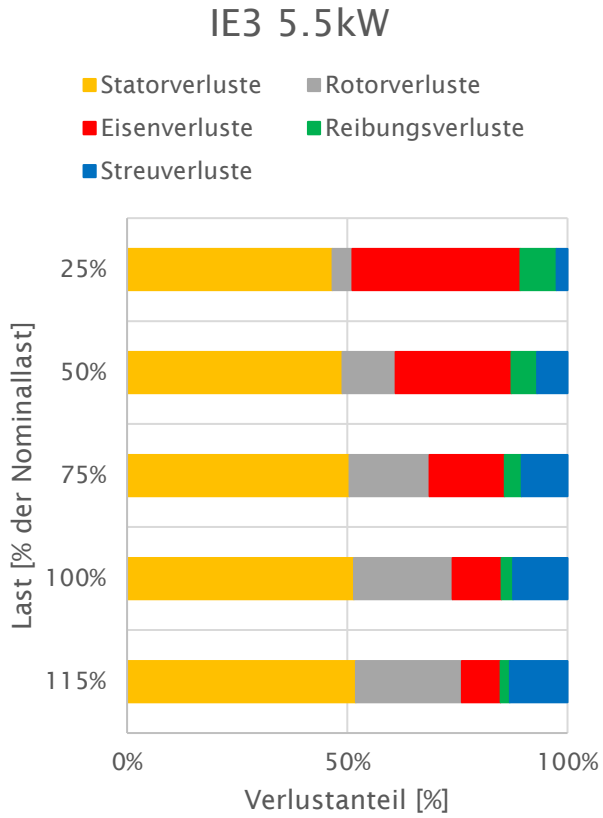


Name	Percent of Total Losses	Description	Fixed or Variable	How to reduce
Core Losses	15-15%	Energy required to magnetize core.	Fixed	Improved permeability steel, lengthening core, using thinner laminations in the core.
Windage and Friction	5-15%	Losses due to bearing friction and air resistance, which is primarily caused by the cooling fan.	Fixed	Lower friction bearings, improve fan design and air flow.
Stator Losses	25-40%	Heating due to current flow through the resistance of the stator winding.	Variable	Increasing the volume of copper wire in the stator, through improved stator slot designs, and by using thinner insulation.
Rotor Losses	15-25%	Heating due to I2R losses in the rotor conductive bars.	Variable	Increasing the size of rotor conductive bars and end rings to reduce resistance.
Additional Load Losses	10-20%	Leakage fluxes induced by load currents and various other minor losses.	Variable	Various design and manufacturing details

Verlustaufteilung in einer IE3 ASM

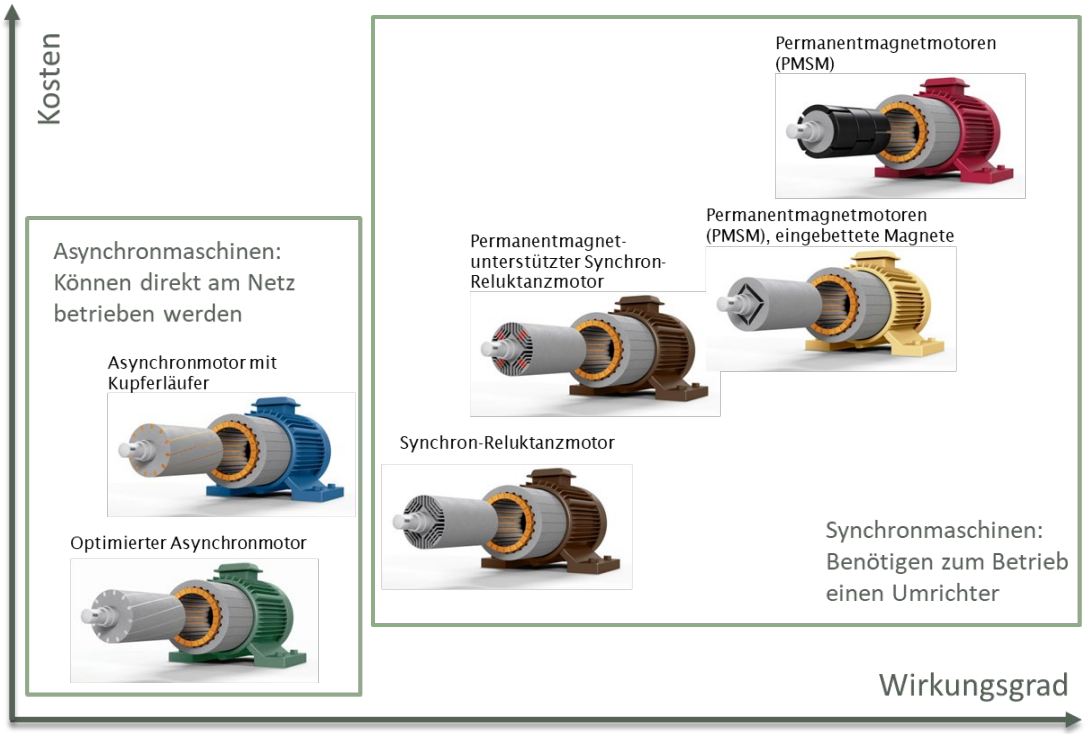
Beispiel einer IE3 Maschine





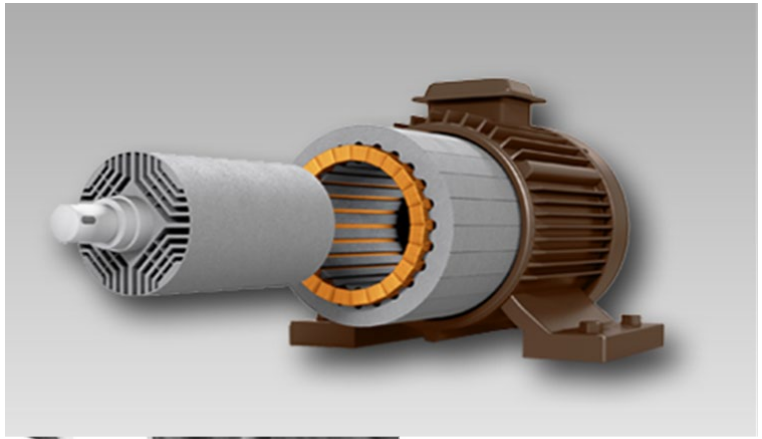
Quelle: BFH

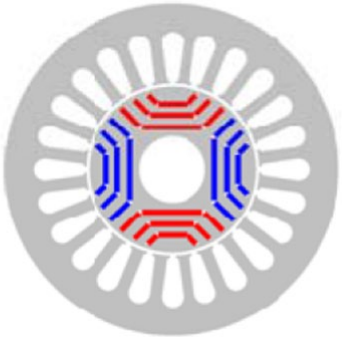
Auswahl an Motortechnologien



- Vor mehr als einem Jahrzehnt bestand die Motorwahl in der Industrie zwischen Induktionsmotor und Permanentmagnetmotor
- Der Asynchronmotor ist eine etablierte, robuste Lösung, preiswert und kann Wirkungsgrade bis IE4 erreichen
- Der Nachteil ist der geringe Teillastwirkungsgrad
- Permanentmagnetmotoren sind kompakter, können hohe Wirkungsgrade (IE5) erreichen, sind aber teurer…

Neue Technologien erobern den industriellen Markt

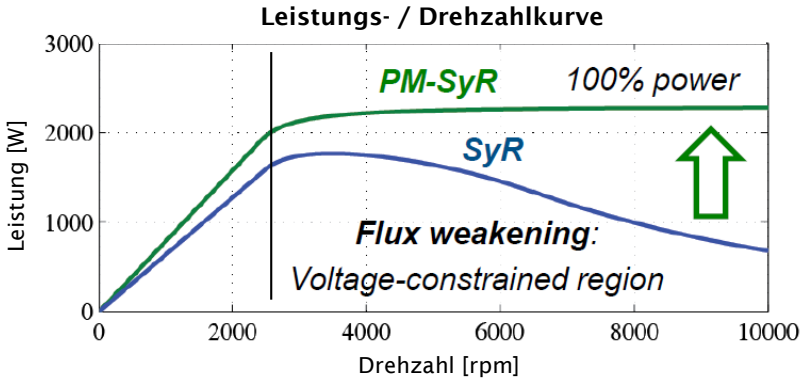


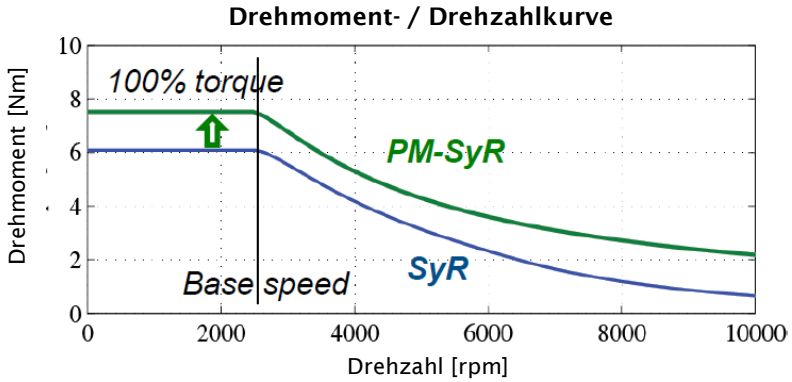


- Als Reaktion auf den Anstieg der Rohstoffpreise haben die großen Motorenhersteller eine umfangreiche Produktpalette von Synchron-Reluktanzmotoren auf den Markt gebracht
- Langsamer Hochlauf, hauptsächlich aufgrund des schlechten Leistungsfaktors, der auch größere Umrichter erfordert
- PM-unterstützte SynRM folgten als guter Kompromiss: guter Leistungsfaktor, geringe Menge an Magneten, Möglichkeit zur Verwendung von Ferriten
- Herausforderungen in Bezug auf die Fertigungstechnologie
- PM-unterstützte SynRM befinden sich noch in der frühen Phase der Marktakzeptanz - aber sicherlich keine Nische mehr!

Kennlinienvorteil von PM-unterstützten Synchron-Reluktanzmotoren

- PM-unterstützte Synchron-Reluktanzmotoren haben einen höheren Leistungsfaktor als die Synchron-Reluktanzmaschinen, was zu einem großen konstanten Leistungsbereich führt, der durch das Magnetdesign leicht zu kalibrieren ist.
- Außerdem wird das Drehmoment erhöht.



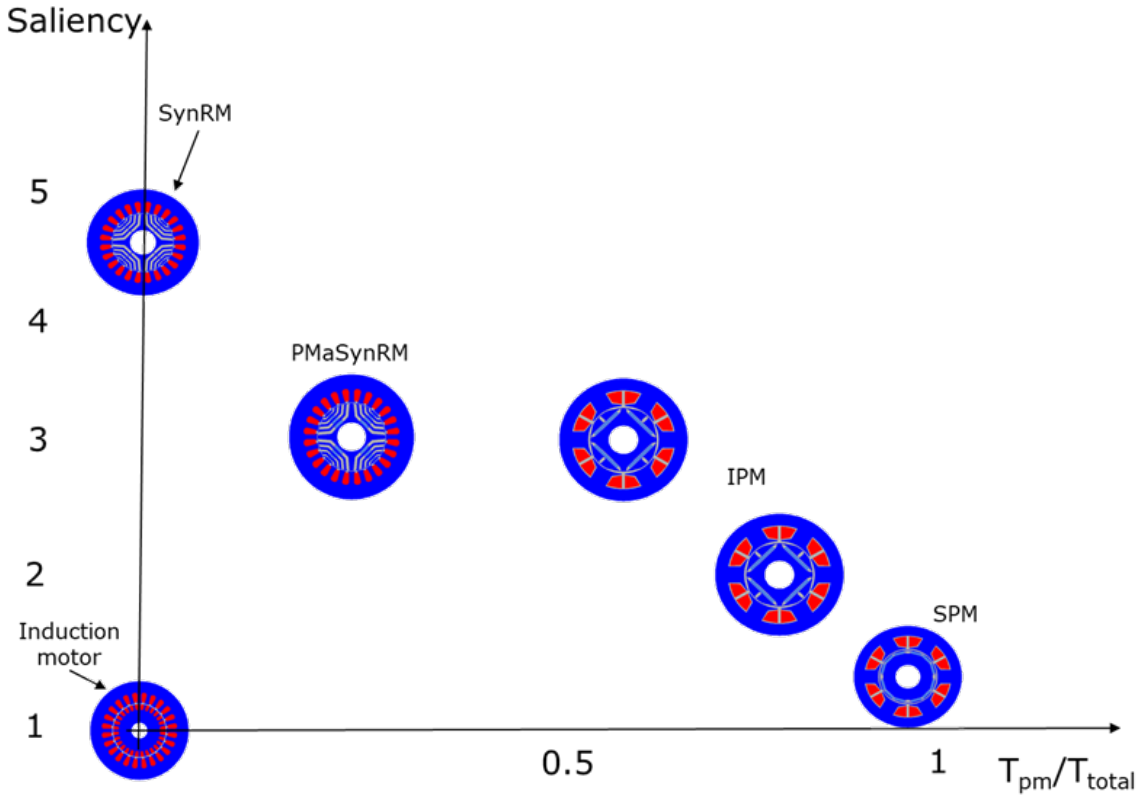


Source: Norbert Hanigovszki / Danfoss Drives

Quelle: WEG Motors

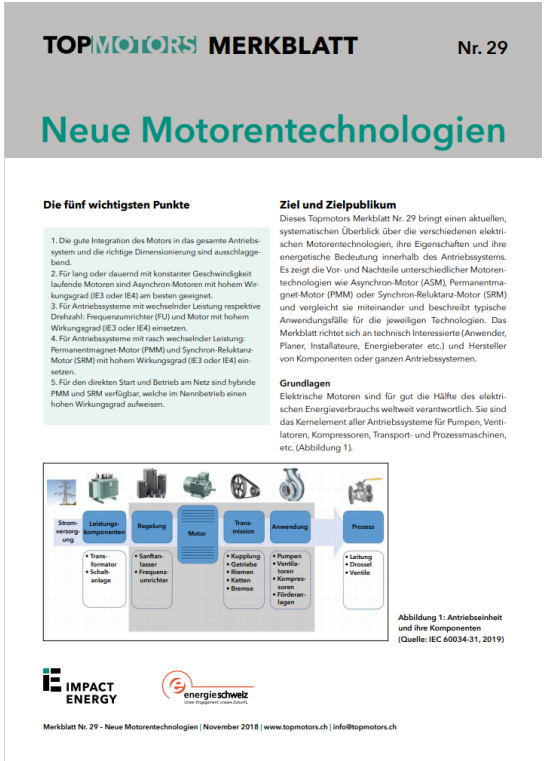
Herausforderungen bei der Wahl der Motortechnologie

- Die Verfügbarkeit eines breiten Motorenspektrums kann für Anwender eine Herausforderung sein – insbesondere die Auswahl des richtigen Motors für die Anwendung
- Antriebshersteller, die Antriebe und Motoren nicht bündeln, müssen alle Motortypen abdecken
- Die theoretischen Grundlagen für eine universelle Motoransteuerung sind vorhanden
- Die praktische Umsetzung der Universalsteuerung ist nicht zu unterschätzen



Source: Norbert Hanigovszki / Danfoss Drives

Weitere Informationen



TOPMOTORS MERKBLATT Nr. 29

Neue Motorentechnologien

Die fünf wichtigsten Punkte

1. Die gute Integration des Motors in das gesamte Antriebssystem und die richtige Dimensionierung sind ausschlaggebend.
2. Für lang oder dauernd mit konstanter Geschwindigkeit laufende Motoren sind Asynchron-Motoren mit hohem Wirkungsgrad (IE3 oder IE4) am besten geeignet.
3. Für Antriebssysteme mit wechselnder Leistung respektive Drehzahl: Frequenzumrichter (FU) und Motor mit hohem Wirkungsgrad (IE3 oder IE4) einsetzen.
4. Für Antriebssysteme mit rasch wechselnder Leistung: Permanentmagnet-Motor (PMM) und Synchron-Reluktanz-Motor (SRM) mit hohem Wirkungsgrad (IE3 oder IE4) einsetzen.
5. Für den direkten Start und Betrieb am Netz sind hybride PMM und SRM verfügbar, welche im Nennbetrieb einen hohen Wirkungsgrad aufweisen.

Ziel und Zielpublikum

Dieses Topmotors Merkblatt Nr. 29 bringt einen aktuellen, systematischen Überblick über die verschiedenen elektrischen Motorentechnologien, ihre Eigenschaften und ihre energetische Bedeutung innerhalb des Antriebssystems. Es zeigt die Vor- und Nachteile unterschiedlicher Motorentechnologien wie Asynchron-Motor (ASM), Permanentmagnet-Motor (PMM) oder Synchron-Reluktanz-Motor (SRM) und vergleicht sie miteinander und beschreibt typische Anwendungsfälle für die jeweiligen Technologien. Das Merkblatt richtet sich an technisch Interessierte (Anwender, Planer, Installateure, Energieberater etc.) und Hersteller von Komponenten oder ganzen Antriebssystemen.

Grundlagen

Elektrische Motoren sind für gut die Hälfte des elektrischen Energieverbrauchs weltweit verantwortlich. Sie sind das Kernelement aller Antriebssysteme für Pumpen, Ventilatoren, Kompressoren, Transport- und Prozessmaschinen, etc. (Abbildung 1).

Abbildung 1: Antriebseinheit und ihre Komponenten (Quelle: IEC 60034-31, 2019)

IMPACT ENERGY

energieschweiz

Merkblatt Nr. 29 - Neue Motorentechnologien | November 2018 | www.topmotors.ch | info@topmotors.ch

[D_MB_29_Motorentechnologien.pdf (topmotors.ch)]

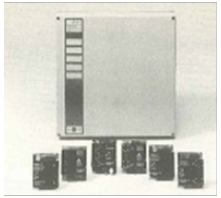
[Topmotors Webinar Nr. 06: «Fortschritte in den Motorentechnologien» | TOPMOTORS]

Historische Entwicklung der Umrichtereffizienz

- Der Wirkungsgrad von Antrieben hat sich im Laufe der Zeit mit der Entwicklung der Technologie erhöht
- Beispiel: die Wirkungsgrad-Zeitleiste für einen 4 kW-Antrieb, 380/400 V der Firma Danfoss
- Ähnliche Bilder lassen sich auch für die Produkte anderer Hersteller zeichnen
- Es zeichnet sich jedoch eine wirtschaftlich bedingte Limite bei ca. 97% ab

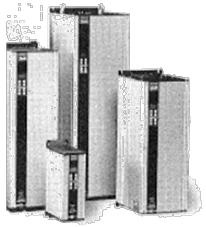
1968 VLT 5
SCR, 6 pulse PAM

91% efficiency



1983 VLT 200
transistor, 18/6 pulse PAM

95% efficiency



1993 VLT 3000 v.2
transistor, PWM

96% efficiency

1995 VLT 5000
IGBT, PWM

96% efficiency

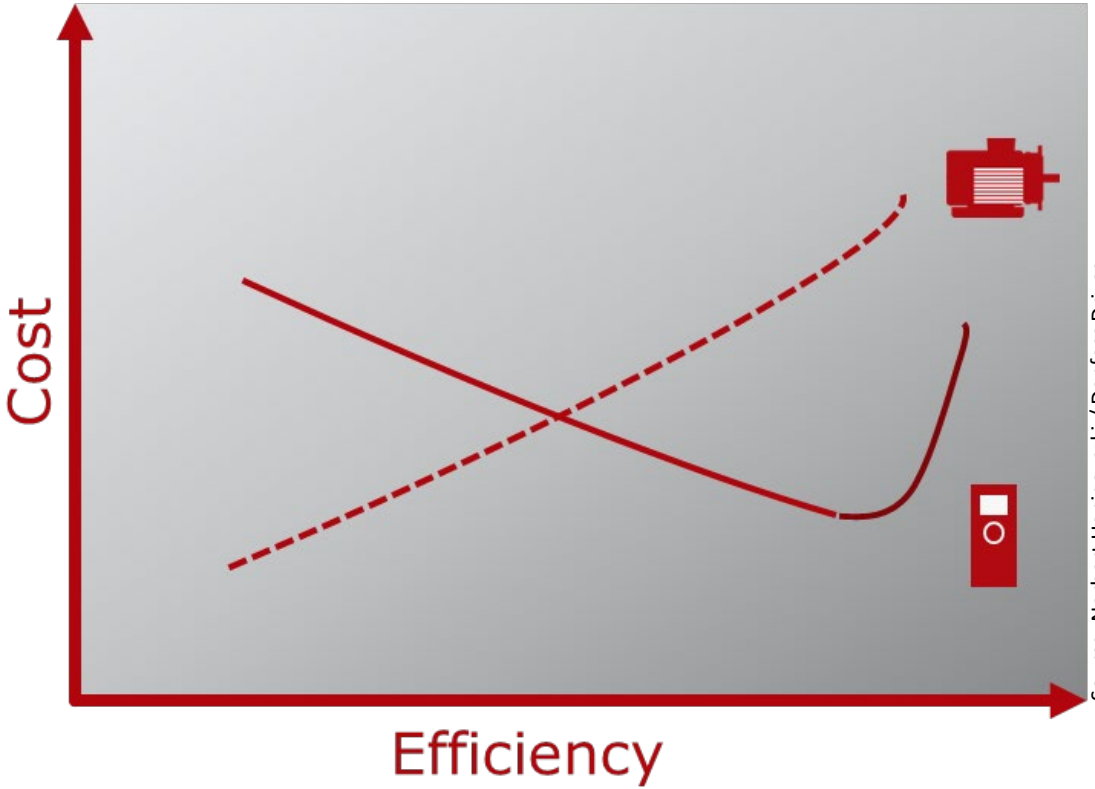
2003 VLT FC-302
IGBT, PWM

97% efficiency

Source: Norbert Hanigovszki / Danfoss Drives

Umrichterwirkungsgrad vs. Motorwirkungsgrad

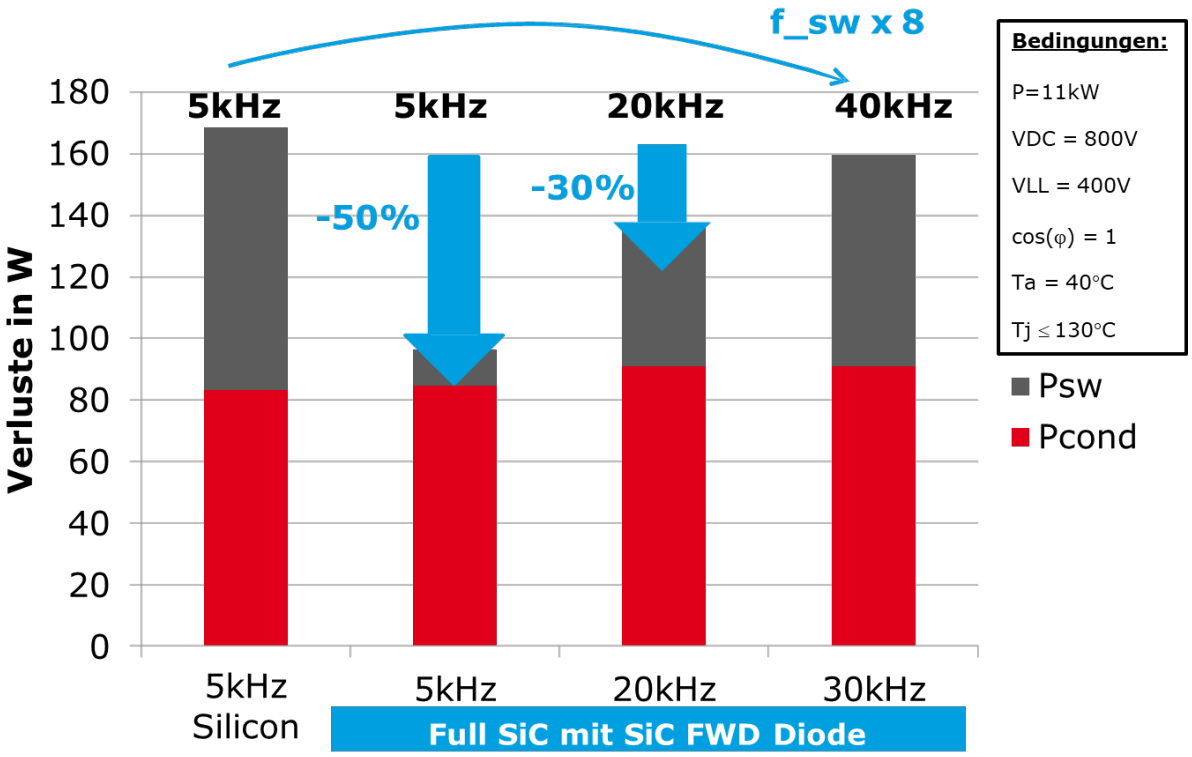
- Für Umrichter: Geringerer Wirkungsgrad führt zu höheren Kosten für die Kühlung und wegen des Volumenzuwachs. Für dieses Verhältnis gibt es eine Obergrenze.
- Bei Motoren: höherer Wirkungsgrad führt zu höheren Kosten, weil mehr Material(Kupfer) benötigt wird oder teurere Materialien verwendet werden (spezielle verlustarme Stähle, Permanentmagnete).
- Die Anreize sind bei Antrieben und Motoren unterschiedlich



Source: Norbert Hanigovszki / Danfoss Drives

Einschränkungen bei der Effizienzsteigerung

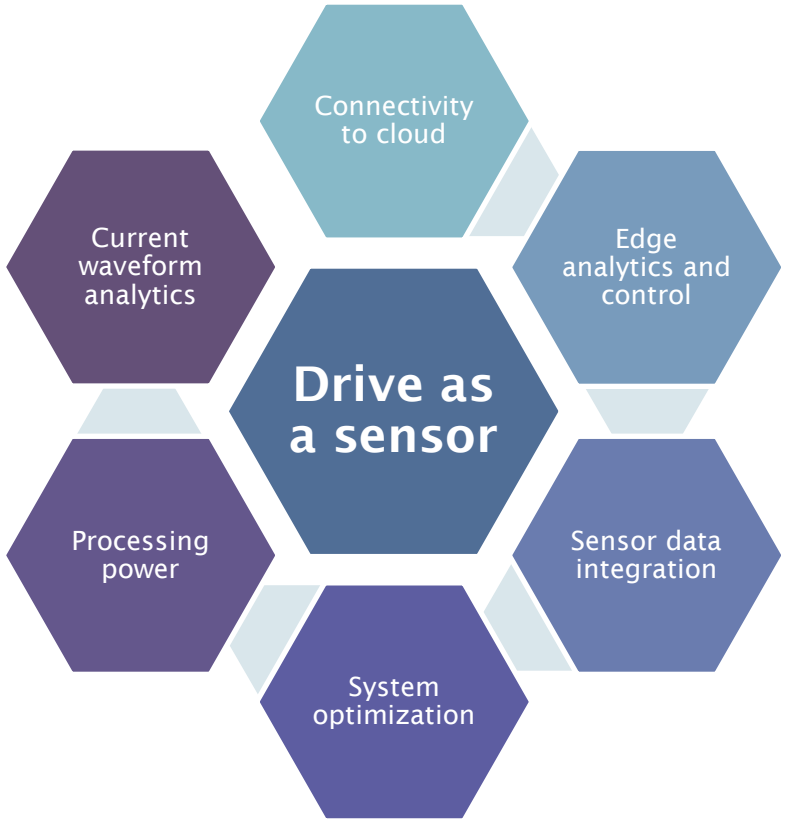
- Höhere Wirkungsgrade können durch Senken der Kommutierungs-verluste erreicht werden
- Es gibt mögliche Lösungen wie Wide-Bandgap-Bauteile mit geringen Schaltverlusten (SiC, GaN, etc.)
- Schnelleres Schalten hat nachteilige Auswirkungen auf die Motorisolation und erfordert einen Ausgangsfilter. Der Filter fügt zusätzliche Verluste hinzu und die Gesamteinsparung ist gering - wenn überhaupt. Außerdem gibt es EMI-Probleme zu überwinden.



Source: Semikron

Der Antrieb ist der beste Einzelsensor in industriellen Prozessen

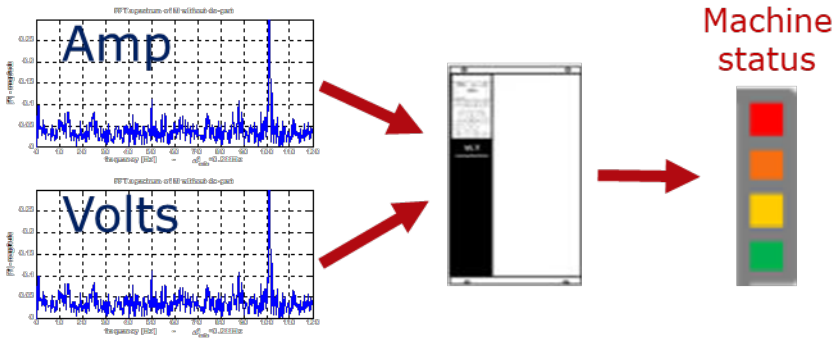
- Die Strom- und Spannungssensoren in einem Antrieb liefern eine große Menge an Daten in Echtzeit
- Aufgrund der Datenmenge müssen diese lokal gefiltert und verarbeitet werden
- Die Daten geben Einblick in das Verhalten des industriellen Prozesses und ermöglichen eine systemweite Optimierung
- Diese können als Dienste und Analysedaten zur Verfügung gestellt werden
- Diese Funktionalitäten können über updates kontinuierlich zu modernen Produkten hinzugefügt werden



Source: Norbert Hanigovszki / Danfoss Drives

Analyse der Strom- und Spannungssignatur des Motors

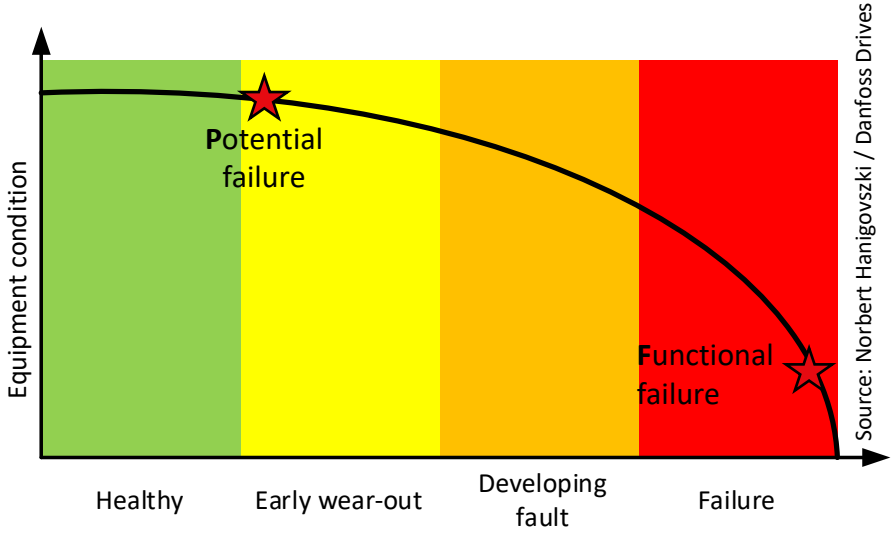
- Die derzeit im Frequenzumrichter verfügbare Rechenleistung macht in den Frequenzumrichter eingebettete Methoden zur Motorstromsignaturanalyse (MCSA) möglich
- Frequenzkomponenten von Motorstrom und -spannung können mit Motor- und Anwendungsfehlern in Verbindung gebracht werden
- Beispiele: Motorwicklung, Wellenversatz, Exzentrizität
- Keine zusätzlichen Sensoren



Source: Norbert Hanigovszki / Danfoss Drives

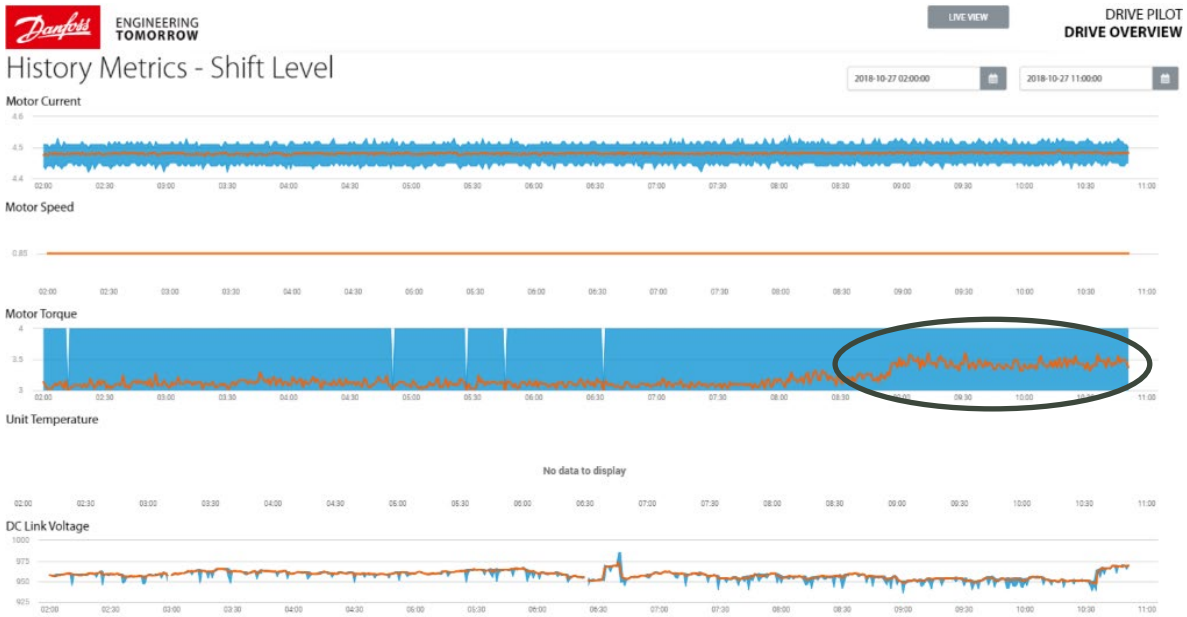
Zustandsüberwachung - die richtige Information zur richtigen Zeit

- Zustandsüberwachung erkennt Fehler in einem frühen Stadium
- Optimiert den Einsatz von Ressourcen und ermöglicht eine Vorausplanung
- Reduziert die Kosten für unerwartete Ausfallzeiten
- Reduziert die Gesamtbetriebskosten
- Reduzieren den Bestand an Ersatzteilen



Beispiel

- Zustandsüberwachung hat Einfluss auf die Energieeffizienz
- Eine Verschlechterung der Leistung motorgetriebener Geräte bedeutet oft eine Erhöhung der Verluste
- Beispiele für Bedingungen, die zu erhöhten Verlusten führen: unzureichende Schmierung, verstopfte Luftfilter, verschmutzte Pumpen und Leitungen, Verschleiß von Getrieben usw.



Source: Norbert Hanigovszki / Danfoss Drives

Erhöhung des Motordrehmoments aufgrund eines Lagerschadens während eines beschleunigten Motorlebensdauertests

Key takeaways

1

Global mega-trends

Beeinflussen die Industrie für drehzahlvariable Antriebe

2

Energy efficiency

Der Ansatz auf Systemebene bietet die größten Vorteile

3

Disruption

Antriebe sind nicht mehr nur einfache Leistungsprozessoren, sondern intelligente Elemente in der Informationskette: als Sensor und Controller

Source: Norbert Hanigovszki / Danfoss Drives

Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences

Fragen?

Prof. Dr. Andrea Vezzini, Berner Fachhochschule

- Bern University of Applied Sciences – Institute for Energy and Mobility Research