Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 97 (2006)
Heft: 3

Artikel: Mittelspannungsantriebe regeln die Drehzahl
Autor: Wikström, Per
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857650

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Mittelspannungsantriebe regeln die Drehzahl

Technologie und Anwendungsbereiche

Frequenzumrichter treiben Motoren effizient an – nicht nur in der Niederspannung, sondern auch in der Mittelspannung von 2,3 bis 6,6 kV. Bisher wurde die Leistung der Lüfter und Pumpen durch mechanische Dämpfer gedrosselt, was reine Energieverschwendung ist. Mittelspannungsantriebe lassen die Motoren in der gewünschten Drehzahl laufen, mit einer Effizienz von über 80% für das System von Antrieb und Motor.

Einfach ausgedrückt besteht ein Wechselstrom-Mittelspannungsantrieb mit veränderbarer Drehzahl oder VSD (Variable Speed Drive) aus einem Umrichter, der dazu dient, die Drehzahl eines Elektromotors zu regeln. Durch Regelung seiner Drehzahl kann der Motor an unterschiedliche Prozessanforderungen angepasst werden und verbraucht so weniger Energie. Da schätzungsweise zwei Drittel

Per Wikström

des Energiebedarfs in der Industrie von Motoren verbraucht werden, lassen sich auch mit moderaten Effizienzverbesserungen erhebliche Einsparungen erzielen. Ein Motor, der in einer typischen gewerblichen oder industriellen Anlage 4000 Stunden läuft, verursacht jährlich Stromkosten, die ungefähr das Zehnfache der Anschaffungskosten betragen.

Das Problem besteht darin, dass viele Motoren bei voller Drehzahl laufen, wobei meist nur ein Teil ihrer Leistung benötigt wird. Sie treiben einen Lüfter oder eine Pumpe an, und zur Regulierung der Leistung werden diese mit einer Art Dämpfer gedrosselt. Das ist Energieverschwendung: Nicht die gesamte, vom Motor erzeugte Energie wird sinnvoll eingesetzt.

Mittels VSD lässt sich die Motordrehzahl an die Anforderungen des angetriebenen Geräts anpassen. Die 50%ige Reduzierung der Motordrehzahl erbringt eine Energieeinsparung von 30…60% (abhängig von der jeweiligen Durchflussreduktionsmetode). Dies kann sich in weniger als einem Jahr amortisieren.

Die Energieeinsparung kann selbst bei einem Antrieb mit einer Nennleistung von weniger als 1 MW so hoch sein, dass sich der Antrieb in einigen Monaten amortisiert. Ein Beispiel ist ein Lüfter mit 746 kW bei einer Drehzahl von 870 UPM. Im Vergleich mit einer Strömungskupplung verbraucht ein Wechselstrom-Mittelspannungsantrieb, der mit Spannungen von 2,3, 3,3, 4,15 oder 6,6 kV funktioniert, im Laufe eines Jahres etwa 800 000 kWh weniger als die Strömungskupplung.

Wird die tatsächlich verbrauchte Energie durch die jährliche Stundenzahl dividiert, so ergeben sich bei der Strömungskupplung Verluste von 121 kW, im Vergleich zu 25 kW bei Wechselstromantrieben. Somit sind die durchschnittlichen Verluste von Strömungskupplungen um fast 100 kW grösser als die eines Wechselstrom-Mittelspannungsantriebs.

Mittelspannungsantriebe mit einer Nennleistung von 315 kW bis über 100 MW finden in einer grossen Bandbreite von industriellen Prozessen Einsatz, hauptsächlich in der Materialverarbeitung und dem Materialtransport. In diesen beiden Hauptkategorien gibt es wiederum viele Untergruppen.

Geregelte Prozesse

Beide Hauptkategorien haben gemeinsam, dass die Prozesse geregelt werden müssen. Ein Beispiel sind Ventilatoren, die in Kraftwerken oder in der chemischen Industrie zum Einsatz kommen. In beiden Fällen müssen die Ventilatoren an den Hauptprozess angepasst werden. In Kraftwerken ändert sich der Hauptprozess je nach Energiebedarf in den unterschiedlichen Jahres- und Tageszeiten oder an den Wochentagen. Mit dem Prozess ändert sich somit auch die Anforderung an VSDs.

Der typische Anwendungsbereich für Mittelspannungs-VSDs umfasst Lüfter, Extruder, Förderanlagen, Brech-, Mahl- und Walzwerke, Mischanlagen, Triebwerke, Prüfstände, Motorschalter mit Anlasstrafo (Softstarter), Winden und Wickelanlagen. Ebenso unterschiedlich sind die Industriesparten, in denen VSDs zum Einsatz kommen, wie die Petrochemie, der Wasser- und Abwasserbereich, Bergbau, Zellstoff und Papier, Zement, chemische Industrie, Energiegewinnung, Metallverarbeitung und Schifffahrt.

Effiziente Antriebssysteme

Die Gesamteffizienz eines Mittelspannungs-Anstriebssystems hängt von den Verlusten im Motor und seiner Steuerung ab. Sowohl beim Motor als auch bei der Steuerung treten thermische Verluste, also Wärme auf. Bei der ins Antriebssys-

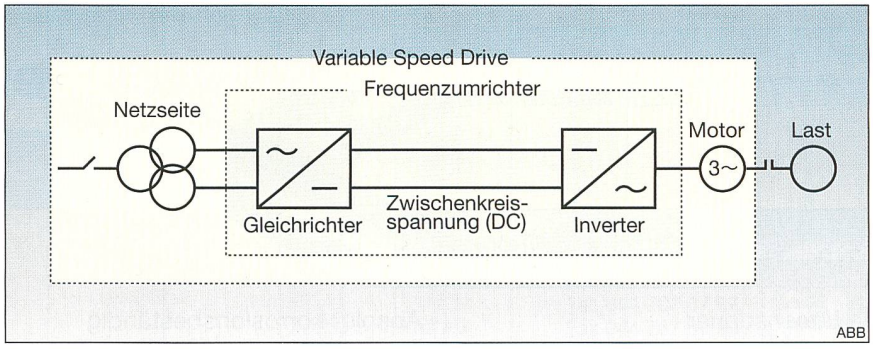


Bild 1 Antriebssystem mit Frequenzumrichter und Motor

Vorteile von Mittelspannungsantrieben	
Softstart	• Durch verringerte Belastung des Stromnetzes keine Sondergebühren vom Versorgungsunternehmen • Weniger Belastung von Motor, Kupplung und Last, dadurch längere Lebensdauer • Unbegrenzte Anzahl von Anläufen pro Stunde
Genaue Geschwindigkeits- und Drehmomentregelung	• Verbesserte Produktqualität • Geringere Qualitätskosten • Besserer Motor- (z. B. Blockierschutz) und Lastschutz • Beständige Produktqualität trotz Veränderung der Eingänge bei plötzlichen Laständerungen
Niedrigere elektrische Ströme im Vergleich zu Niederspannungsantrieben	• Reduzierter Kabelquerschnitt und geringerer Nennstrom von anderen elektrischen Geräten wie z. B. Leistungsschalter
Grosse Bandbreite der Geschwindigkeitsregelung	• Verbesserte Effizienz im Vergleich zu traditionellen Durchflussregelungsmethoden, z. B. Steuerung mit Dämpfer
Hohe Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit	• Weniger Stillstände • Verbesserte Prozessverfügbarkeit
Niedriger Geräuschpegel	• Verbesserte Arbeitsbedingungen für Personal
Möglichkeit zu Geschwindigkeitsumkehr/Nutzbremsung	• Konstantes Drehmoment bei Bremsvorgang, somit bessere Produktqualität • Schnelles Bremsen • Höhere Effizienz
Flussoptimierung (Motorfluss wird automatisch an Last angepasst)	• Verbesserte Motoreffizienz • Leiseres Motorgeräusch
Weiterlaufen bei kurzen Stromausfällen oder Spannungsschwankungen	• Weniger Anläufe • Bessere Prozessverfügbarkeit
Automatischer Wiederanlauf (Antrieb kann eine rotierende Last auffangen)	• Weniger Wartezeit • Weniger Stillstände
Energieeinsparungen	• Mittelspannungsantriebe können nachträglich an Standard-Induktionsmotoren angebracht werden und so massgeblich Energie einsparen

Tabelle

tem eingespeisten Energie handelt es sich um elektrische, während die Ausgangsleistung mechanisch ist.

Deshalb sind bei der Berechnung des Effizienz-Koeffizienten sowohl Kenntnisse in der Elektrotechnik als auch im Maschinenbau erforderlich. Die elektrische Eingangsleistung, P_{in}, hängt von der Spannung (U), Strom (I) und dem Leistungsfaktor (cos phi) ab. Der Leistungsfaktor sagt aus, wie gross der Anteil der Wirkleistung an der gesamten elektrischen Energie ist und welchen Anteil die so genannte Blindleistung hat. Um die erforderliche mechanische Leistung zu erzeugen, ist die Wirkleistung erforderlich. Die Blindleistung wird für die Erregung im Motor benötigt.

Die mechanische Ausgangsleistung, P_{out}, hängt vom erforderlichen Drehmoment (T) und der Drehgeschwindigkeit (n) ab. Je höher die erforderliche Geschwindigkeit bzw. Drehmoment, umso mehr Energie ist erforderlich. Das hat einen direkten Einfluss darauf, wie viel Energie das System aus dem Netz zieht. Wie oben erwähnt, regelt der Umrichter die Spannung und Frequenz, die in den Motor eingespeist wird, und steuert somit direkt den Energieverbrauch sowohl des Motors als auch des Prozesses, der geregelt wird.

Elektrisches Schalten mit einem Thyristor ist äusserst effizient, und so ist die Effizienz des Umrichters sehr hoch, zwischen 0,97 und 0,99. Die Motoreffizienz liegt normalerweise zwischen 0,82 und 0,97, je nach Motorgrösse und seiner Nenndrehzahl. Somit liegt die Gesamteffizienz des Antriebssystems immer über 0,8, wenn sie mit einem Umrichter geregelt wird.

Mittelspannungsantriebe mit regelbarer Drehzahl

Mithilfe von Mittelspannungs-Wechselstromantrieben können industrielle Produktionsbetriebe und Versorgungsunternehmen die Produktion verbessern, ihre Effizienz erhöhen und die Gesamt-

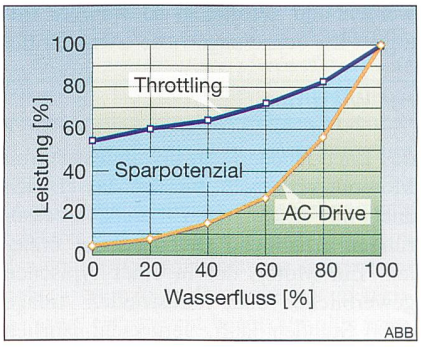


Bild 2 Effizienz einer Wasserpumpe – mit Frequenzumrichter oder Drosselung

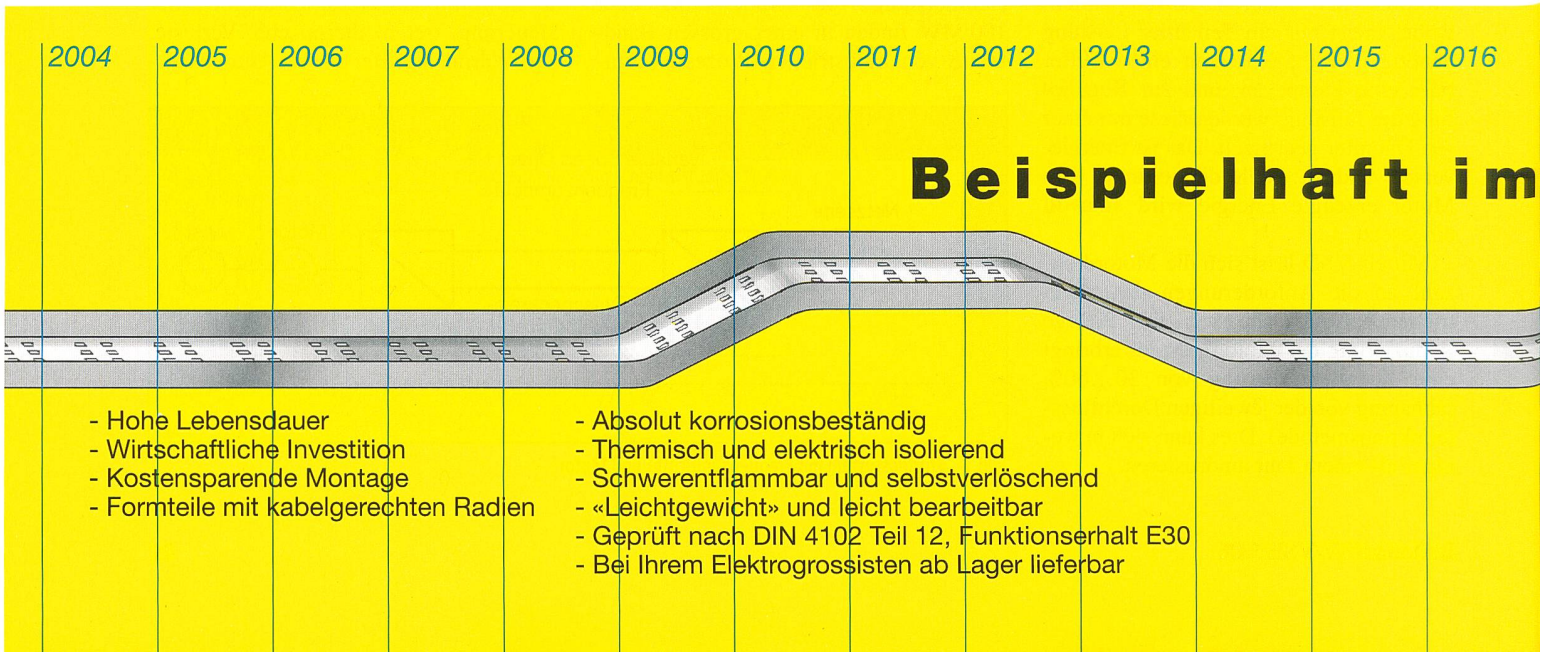


Bild 3 Antriebssystem mit Pumpe

energiekosten senken. Die Antriebe bieten eine Reihe von Vorteilen im Vergleich zu nicht-elektrischen Regelmethoden, wie Ventile oder Dämpfer.

Bei einem bestimmten Energiebedarf und je nach Anwendung sind Mittelspannungsantriebe auch kostengünstiger als Niederspannungsantriebe. So ist bei Niederspannungsantrieben der Stromverbrauch bei einem Motor höher als bei Mittelspannung. Wenn also das Kabel zwischen Motor und Wechselrichter lang ist, kann ein Mittelspannungsantrieb günstiger sein als ein Niederspannungsantrieb. Denn bei niedriger Stromstärke ist der Kabeldurchmesser kleiner, und damit sind die Kosten niedriger. Ein weiterer Vorteil ist, dass der Nennstrom anderer elektrischer Geräte im Netz, beispielsweise Leistungsschalter, reduziert wird. Wenn sich der Stromverbrauch in den Megawattbereich bewegt, sind Mittelspannungsantriebe vorzuziehen.

Technologie der Mittelspannungsantriebe

Es gibt zwei Arten von Halbleitern, die heute in Mittelspannungsantrieben zum Einsatz kommen: IGBTs und IGCTs. Bei sehr hohen Leistungen und Synchronmaschinen werden auch Thyristoren verwendet. Bis jetzt waren die Leistungsschalter in Mittelspannungs-VSDs entweder IGBTs oder GTOs.

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) – sowohl IGBTs mit niedriger als auch höherer Spannung finden in Mittelspannungsantrieben Verwendung. IGBTs schalten schnell, aber die Verluste im Mittelspannungsbereich sind hoch. Darüber hinaus ist eine komplizierte Verbindung von mehreren IGBTs erforderlich. Das erhöht die Anzahl der Komponenten, während sich die Zuverlässigkeit verschlechtert, wodurch die Antriebe grösser und teurer werden.

Hochspannungs-IGBTs haben im Vergleich zu Niederspannungs-IGBTs weniger in Reihe geschaltete Elemente, aber die Verluste sind vergleichsweise höher.

GTO (Gate Turn off Thyristor) – ist zuverlässig, und die Verluste im Mittelspannungsbereich sind akzeptabel. Das Problem ist jedoch, dass inhomogenes Schalten eine zusätzliche Schaltungsunterbrechung erfordert, wodurch die Anzahl der Komponenten erhöht, die Zuverlässigkeit verschlechtert und die Antriebe teurer werden. Deswegen wurde in den letzten acht Jahren der GTO durch IGCTs ersetzt.

IGCT (Integrated Gate Commutated Thyristor) – schaltet schnell und hat niedrige Verluste. Das Bauteil weist eine transparente Anode auf der Silikonschalterebene und eine induktionsarme Treiberschaltung der Steuerelektrode auf. Dies bedeutet, dass das Gerät schnell und ohne Dämpfer geschaltet werden kann, der ansonsten erforderlich wäre, um die nominale Spannungsänderung innerhalb definierter Grenzwerte zu halten. Leistungsschaltgerät und Steuerelektrodentreiber befinden sich in einer kompakten Einheit, was Kosten spart. Bei Verwendung mit Spannungszwischenkreisumrichter (VSI) ist der Antrieb weniger komplex, effizienter und zuverlässiger.

Ein Umrichter in IGCT-Technologie erfordert weniger Halbleiter als ein Mittelspannungsantrieb mit Hochspannungs-IGBTs. Somit ist er zuverlässiger als ein

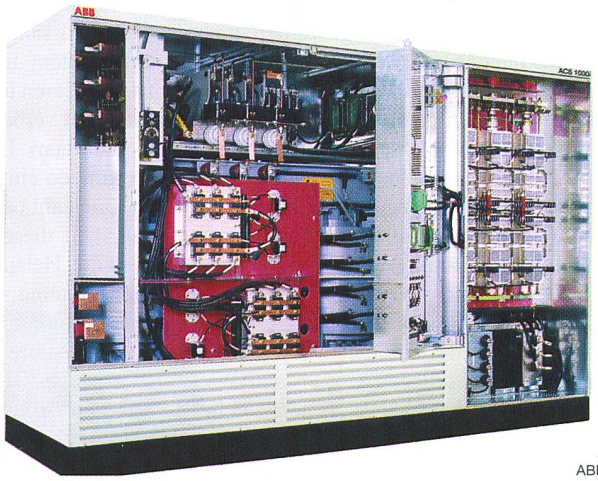
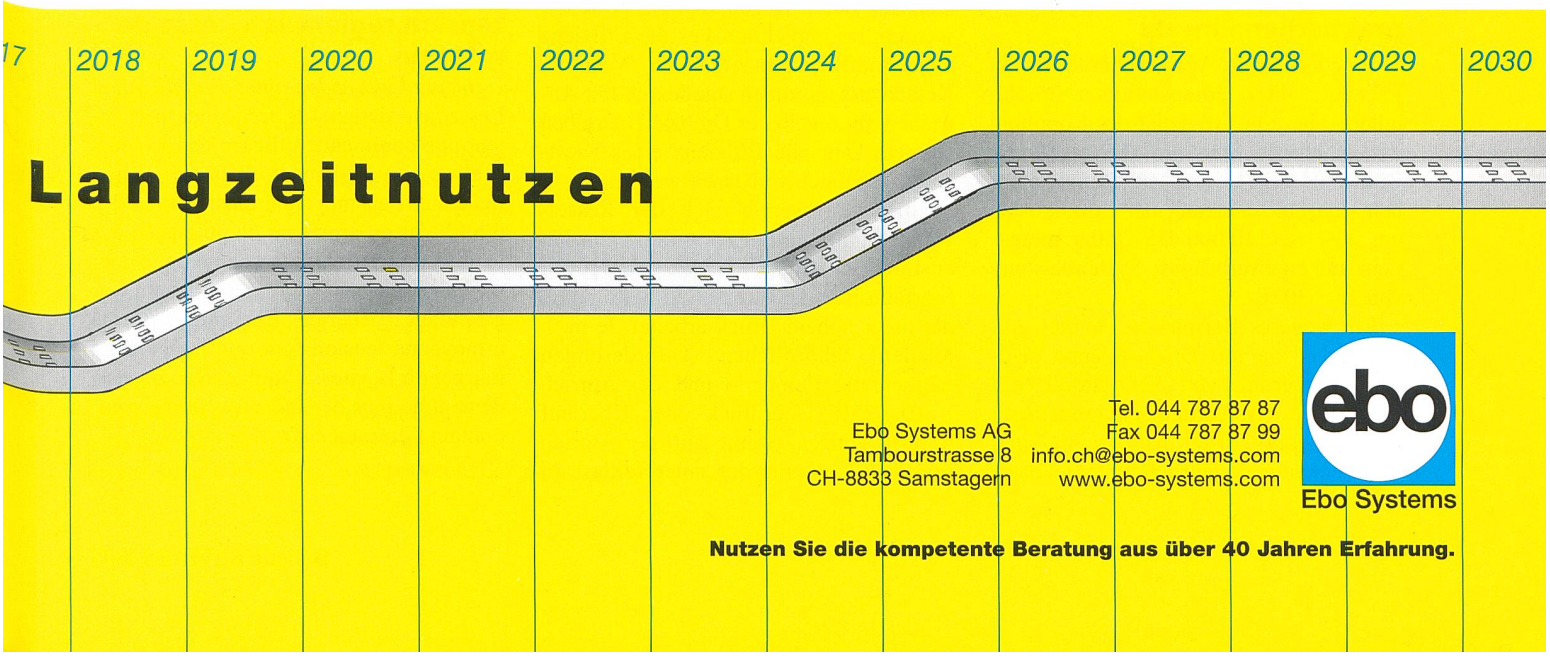


Bild 4 Mittelspannungsantrieb für Motoren von 315 bis 1800 kW mit Spannungen von 3,3 ... 6,6 kV

ABB



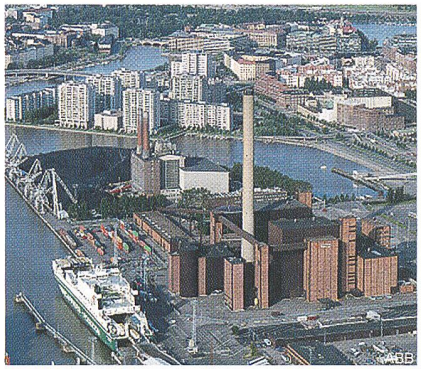


Bild 5 Kraftwerk Hanasaari B der Helsinki Energy

Antrieb mit IGBT, und durch den geringeren Verlust sind weniger Kühlgeräte erforderlich.

Auswahl des Antriebs

Die Hauptkriterien beim Kauf eines Mittelspannungs-VSD sind Leistung, Kosten und Zuverlässigkeit. Die Anwender sollten bei Mittelspannungsantrieben auf einen Gesamtwirkungsgrad von ca. 97% achten, inklusive Trafo, Leistungsfaktor-Korrekturgerät und Oberwellenfilter, sofern erforderlich. Besonderes Augenmerk sollte auf die Gesamtleistung des Antriebssystems gelegt werden, nicht nur auf die des VSD selbst.

Mittelspannungs-VSDs auf IGCT-Basis sind mit einer Verfügbarkeit von mindestens 99,9% äusserst zuverlässig. Die Kosten sind aber ein ebenso wichtiger Faktor. Hier zu beachten sind die Stellfläche, Installation und Inbetriebnahme, Einweisung, Energieverbrauch, Zuverlässigkeit, Wartung, Ersatzteile, Kundendienst und Entsorgung. Die Anschaffungskosten sind nicht der einzige Aspekt. Die laufenden Kosten und Wartung müssen ebenso über die gesamte Lebensdauer berücksichtigt werden.

Mittelspannungsantriebe im praktischen Einsatz

Eine asiatische Wasserbehörde hat die Effizienz ihrer Pumpstationen erhöht, indem sie eine Wirbelstrom-Kopplung mit 1200-kW-Antrieben mit regelbarer Drehzahl ausgetauscht hat. Daraus ergaben sich eine Senkung der Stromkosten um 20% (ca. 10 000 US-Dollar monatlich) und eine verbesserte Systemleistung von 15…30 %.

Ein weiteres Beispiel ist ein Zementwerk, das die mit Drosselklappe geregelte Steuerung von Ventilatoren mit einem 735-kW-Antrieb mit regelbarer Drehzahl aufgerüstet hat. Damit spart das Zementwerk jährlich Energiekosten von ca. 260 000 Dollar. Der Wartungsaufwand reduziert sich von 12 Tagen pro Jahr auf 8 Stunden und die Jahresproduktion steigt um ca. 42 000 Tonnen. Die Amortisationszeit betrug sechs Monate.

Ein Beispiel dafür, wie Antriebe mit regelbarer Drehzahl in Versorgungsunternehmen genutzt werden können, lässt sich am Fall von Helsinki Energy zeigen, einem der grössten Strom- und Fernwärmeerzeuger in Finnland. Die Energie wird hauptsächlich in den firmeneigenen kombinierten Wärme- und Stromerzeugungswerken erzeugt. Ein grosser Anteil der Brennstoffenergie wird für Fernwärme verwendet, statt als Kühlwasser wie in konventionellen Werken, die ausschliesslich Strom erzeugen.

Eines der Kraftwerke ist Hanasaari B, ein kombiniertes Wärme- und Stromerzeugungswerk in Helsinki. Als das Werk gebaut wurde, wurde es mit der besten Technologie ausgestattet, um die Anforderungen an hohe Verfügbarkeit und Effizienz zu erfüllen. Seit das Werk erbaut wurde, hat die Technologie der Antriebe mit regelbarer Drehzahl jedoch einen grossen Sprung nach vorne getan. Obwohl die alten ASEA- und Strömberg-Motoren mit gewickeltem Rotor und Schlupfkontrolle sehr gut funktionierten, entschied sich Helsinki Energy dazu, sie aufzurüsten, um den Wartungsaufwand zu reduzieren und die Effizienz des Werks weiter zu verbessern.

Hanasaari B setzte Kesselspeisewasserpumpen ein, die von Motoren mit fester Drehzahl bei Teillast angetrieben wurden. Um diese Situation zu verbessern, bestellte Helsinki Energy vier neue Antriebssysteme mit Wasserkühlung sowie neue Motoren und 3-Wicklung-Speisetransformatoren.

Kesselspeisewasserpumpen sind die grössten Energieschlucker in einem Kraftwerk. Wenn sie von Motoren mit fester Drehzahl angetrieben und mit Teillast entweder durch Drosseln oder mechanisch durch Regelkupplung gesteuert werden, beeinträchtigt dies die Effizienz eines Kraftwerks massgeblich. Wenn die Kesselwasserpumpen stattdessen mit Antrieben mit regelbarer Drehzahl betrieben werden, kann die Effizienz eines Kraftwerks erheblich verbessert werden.

Über den Nennbereich der Kesselwasserpumpe hinaus muss die Kapazität ausreichen, um seltene, aber mögliche Störfälle in einem Kessel zu bewältigen, der unter hohem Druck arbeitet. Je nach lokalen behördlichen Anforderungen müssen die Pumpe – und der Antrieb – 10…25% Überdruck oder Überlauf bringen können. Somit läuft der Antrieb praktisch kontinuierlich unter Teillast. In einem solchen Fall bietet ein Antrieb mit regelbarer Drehzahl den bestmöglichen Wirkungsgrad.

Der von Helsinki Energy gewählte Mittelspannungsantrieb bietet einen Wirkungsgrad von über 98%. Die VSDs werden durch die Direct Torque Control Technik geregelt (DTC, Drehmomentregelungstechnik). Durch direkte Steuerung des Motorflusses und des Drehmoments bietet DTC eine wesentlich schnellere Reaktion als andere Techniken zur Antriebsregelung.

Geringer Wartungsaufwand

Das Projekt für Helsinki Energy zeigte, dass der Einsatz von modernen Antrieben mit regelbarer Drehzahl als Niveauregulierung für Speisewassertrommeln die Wartung von bestehenden Speisewasserdrosselventilen reduzieren kann, weil sie nicht mehr dem vollen Druckdifferenzial ausgesetzt sind, das entsteht, wenn der Fluss durch Motoren mit fester Drehzahl gedrosselt wird. Weitere Einsparungen können erzielt werden, wenn ein neues Verteilernetz für Speisewasserpumpen einer Generatoreneinheit entwickelt wird, die mit Umrichter betrieben werden.

Antriebe mit regelbarem Drehmoment an sich wirken als Softstarter und verursachen keine Stromstösse beim Anlaufen. Moderne Antriebe können mit den gängigsten Feldbus-Systemen verbunden werden.

Angaben zum Autor

Per Wikström arbeitet seit 1971 für ABB. Anfangs als Projektleiter für die Chemie-Industrie, später leitete er Entwicklungs- und Marketinggruppen für Antriebssysteme. Heute ist er Director of Strategic Marketing für Mittelspannungsantriebe in Turgi (Baden).
ABB Schweiz AG, 5400 Baden,
per.wikstroem@ch.abb.com

Résumé

Les entraînements à moyenne tension règlent la vitesse de rotation

Technologie et domaines d'application. Les convertisseurs de fréquence permettent une commande efficace des moteurs – et ce non seulement en basse tension mais aussi en moyenne tension de 2,3 à 6,6 kV. Jusqu'à présent, la puissance des ventilateurs et pompes était réduite mécaniquement, ce qui représentait un pur gaspillage d'énergie. Les entraînements à moyenne tension font que les moteurs tournent à la vitesse voulue avec un rendement de plus de 80% du système comprenant l'entraînement et le moteur.