

Permanentmagnetmotoren brauchen kein Getriebe

Jouni Ikäheimo

Jahrzehntelang wurde der Permanentmagnetmotor für Anwendungen mit hoher Drehzahl verwendet. Beispielsweise in der Computerindustrie, wo er wegen seines günstigen Leistungsgewichts besondere Vorteile bietet. Inzwischen hat ABB den Motor dahingehend weiterentwickelt, dass er auch in industriellen Anwendungen mit hohem Drehmomentbedarf bei niedriger Drehzahl eine hohe Genauigkeit und Betriebssicherheit gewährleistet. Dank dieser neuen Permanentmagnettechnik braucht der Motor in zahlreichen Branchen kein Getriebe mehr. Als erstes Einsatzgebiet wird die Papierindustrie ins Auge gefasst, weil für Papiermaschinen genaue, niedertourige Antriebe in großen Stückzahlen gebraucht werden.

Der Permanentmagnetmotor ist das Herzstück eines Antriebssystems mit der Bezeichnung Drive^{IT} Direct Drive Solution. Im Einzelnen besteht dieses Antriebssystem aus einem direkt an die Papiermaschine gekoppelten Drive^{IT} Permanentmagnetmotor, der von einem Drive^{IT} Niederspannungs-AC-Antrieb auf der Basis des ACS 600 Frequenz-

umrichters gespeist wird. Getriebe und Impulsgeber entfallen.

Der Permanentmagnetmotor von ABB ist als Synchronmotor ohne Schleifringe ausgeführt. Damit ermöglicht er eine höhere Genauigkeit als serienmäßige Asynchronmotoren (siehe Kasten Seite 25). Bei einem Asynchronmotor ändert sich der Schlupf mit der Dreh-

zahl und der Last. Bei einem Synchronmotor lässt sich die Drehzahl einfacher optimieren, während der Wegfall der Schlupfkompensation das dynamische Regelverhalten des Motors verbessert.

Der traditionelle Synchronmotor ist im Aufbau komplizierter als der Asynchronmotor und erfordert deshalb einen höheren War-

tungsaufwand. Allerdings vereinfachen die Permanentmagnete den Aufbau des neuen ABB-Motors, weil im Luftspalt ein konstanter Magnetfluss erzeugt wird und dadurch die für die Erregung bei Synchronmotoren notwendigen Läuferwicklungen und Bürsten entfallen.

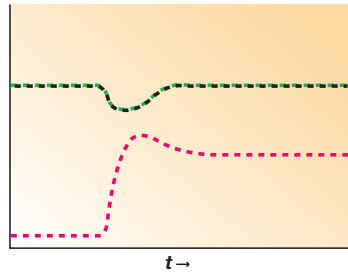
Damit hat ABB einen Motor geschaffen, der das erstklassige Betriebsverhalten des Synchronmotors mit der robusten Ausführung des Asynchronmotors vereint. Die Leistungselektronik speist direkt in den Ständer.

Darüber hinaus kann der Synchronmotor mit einer kleineren Baueinheit mehr Leistung liefern. Um Elemente einer Papiermaschine direkt mit einem herkömmlichen Asynchronmotor mit 220 bis 600 min^{-1} anzutreiben, wäre eine Baugröße notwendig, die erheblich über jener eines Motors für 1500 min^{-1} liegt. Der neue Motortyp hat in den meisten Fällen die gleiche Größe wie der jetzige Asynchronmotor, oder ist sogar noch kleiner.

Die Permanentmagnete bestehen aus Neodym-Eisen-Bor (NdFeB) – dem neuesten magnetischen Werkstoff, der auf dem Markt angeboten wird. NdFeB ist bei Raumtemperatur der leistungsfähigste magnetische Werkstoff, der derzeit zur Verfügung steht. Außerdem zeichnet er sich durch hohe Flussdichte bei sehr hoher Magnetisierung aus. Darüber hinaus ist NdFeB äußerst entmagnetisierungssicher, billiger und weniger spröde als Samarium-Kobalt, ein weiterer Seltenerde-Werkstoff, der in den 1980ern sehr beliebt war.

Nach dem erfolgreichen Abschluss zweier Pilotprojekte wurde im August 2002 das erste Direct Drive System beim finnischen Papierhersteller M-Real auf der Fertigungslinie für Verpackungsmittel für die Pharma- und Kosmetikindustrie in Betrieb genommen.

Der Permanentmagnetmotor ist ein Synchronmotor, der ohne Läuferschlupf arbeitet. Da damit die Schlupfkompensation entfällt, weist er ein besseres Regelverhalten auf. Das Kurvenbild zeigt die gemessene/geschätzte Drehzahl (schwarz/grün) und das Drehmoment (rot).



Höherer Wirkungsgrad und geringere Wartung

Serienmäßige Asynchronmotoren, die normalerweise für den Betrieb bei 750–3000 min^{-1} ausgelegt sind, eignen sich nicht besonders gut für den Einsatz bei niedriger Drehzahl, da ihr Wirkungsgrad mit sinkender Drehzahl fällt. Unter Umständen sind sie auch nicht in der Lage, im gesamten niedrigeren Drehzahlbereich ein stoßfreies Drehmoment zu liefern.

Dieses Problem wird normalerweise durch Zwischenschalten eines Getriebes umgangen. Doch ist das Getriebe ein kompliziertes

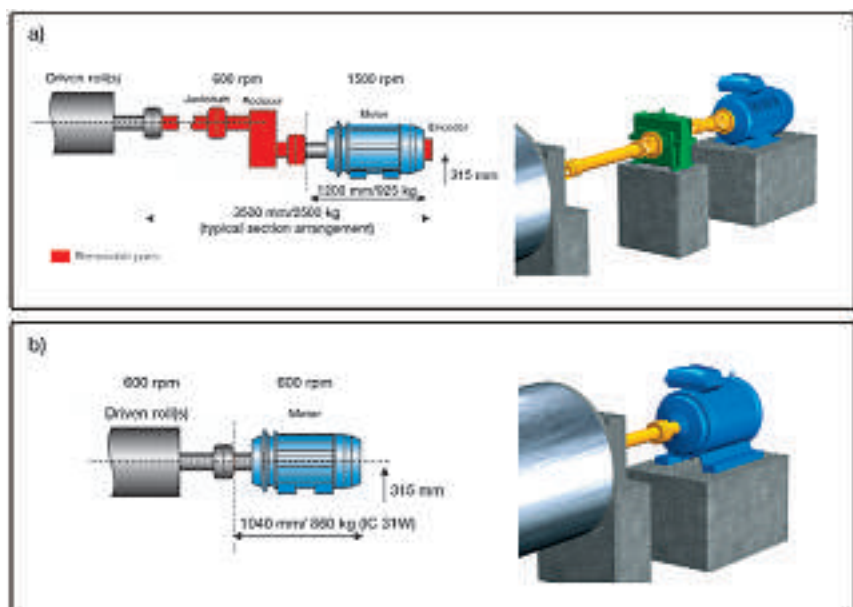
Maschinenelement, das Platz in Anspruch nimmt, in Stand gehalten werden muss und beträchtliche Mengen an Öl braucht.

Mit der neuen Lösung steht ein Antrieb mit hohem Drehmoment zur Verfügung, der direkt mit der Antriebsmechanik einer PM-Partie gekuppelt ist. Durch den Wegfall des Getriebes spart der Anwender Platz und Montagekosten, da er lediglich das Fundament für eine einzige Antriebsmaschine benötigt.

Außerdem kann er den Anlagenaufbau freizügiger planen. Mit dem Wegfall des Getriebes und der Bürsten verringert sich nicht nur der Wartungsbedarf, es wird auch Energie eingespart.

In manchen Fällen wird eine hohe Leistung bei niedriger Drehzahl gefordert, was durch den Einsatz eines Gleichstromantriebs erzielt werden kann. Gegenüber dieser Lösung ermöglicht die neue ABB-Lösung Einsparungen bei der Motorinstandhaltung, da der Permanentmagnetmotor sehr robust ist

Antriebskonfiguration bei a) einem herkömmlichen Asynchronmotorantrieb mit Getriebe und Antriebsspindel und b) einem Direct Drive



Der Direct Drive ist nicht nur wirtschaftlich, wartungsfreundlich und zuverlässig, sondern er hilft auch, die Platzprobleme bei den Papiermaschinen zu lösen.



und einen ähnlichen Instandhaltungsaufwand erfordert wie serienmäßige Drehstrom-Asynchronmotoren.

Weniger Komponenten in Verbindung mit einer einfacheren Konfiguration senken den Zeitaufwand für das Anlagenengineering, erleichtern den Einbau, ermöglichen eine effizientere Nutzung des verfügbaren Platzes und vereinfachen die Ersatzteilhaltung.

Die einfachere Konfiguration steigert auch die Verfügbarkeit der Produktionsanlagen. Weniger Instandhaltung bedeutet weniger Produktionsunterbrechungen und Wiederinbetriebsetzungen, geringere Verschwendung von Rohstoffen, höhere Qualität des Endproduktes und geringerer Verschleiß bei den Produktionsanlagen. Außerdem können Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten rascher ausgeführt werden.

Die Drive^{IT} Direct Drive Solution Technologie verbessert die Regelbarkeit des Antriebs und ermöglicht einen Papiermaschinenantrieb

ohne Impulsgeber, da synchronisierte Motoren ohne Rückführung eine genaue Regelung sicherstellen. Die Genauigkeit entspricht der eines drehzahlregulierten Asynchronmotors im geschlossenen Regelkreis. Das bedeutet, dass auf den Impulsgeber verzichtet werden kann, was den Instandhaltungsaufwand weiter verringert. Dies ist besonders in der Papierindustrie von Vorteil, wo unzuverlässig arbeitende Regler zu Produktionsstillständen führen können. Ferner sinkt der Planungsaufwand, weil die Regler in manchen Fällen schwer in das System zu integrieren sind oder an schwer zugänglichen Stellen montiert werden müssen.

Der höhere elektrische Wirkungsgrad des neuen Antriebs schlägt sich unmittelbar im Energieverbrauch nieder. Mit zunehmender Reduzierung der Drehzahl steigen die Energieeinsparungen ganz erheblich.

Vertrauter Motortyp für neue Aufgaben

Obwohl es den Permanentmagnetmotor schon seit vielen Jahren gibt, kommt diese Technologie erst jetzt bei Großmotoren zum Einsatz. Bisher wurden Permanentmagnetmotoren wegen ihrer kleinen Baugröße und hohen Genauigkeit vorzugsweise in Armbanduhren und Festplattenlaufwerken von Computern eingesetzt. Heute bringt der größte Permanentmagnetmotor sieben Tonnen auf die Waage.

Der Motor selbst ist als Radialflussmaschine mit Luft- oder Wasserkühlung und Permanentmagnetläufer ausgeführt. Er deckt einen Leistungsbereich von 27 bis 1800 kW ab, und die Motorspannung beträgt typischerweise 400/690 VAC. Die Temperatur des Permanentmagnetläufers bleibt naturgemäß niedrig, wodurch eine höhere Leistungsdichte zulässig ist.

Wie alle Synchronmotoren kann der Motor nur mit Hilfe eines drehzahleregelten Antriebs betrieben werden. Darüber hinaus muss die Synchronmotorregelung speziell für Permanentmagnetflussregelung ausgelegt sein. Zu diesem Zweck hat jetzt ABB ihr Direct Torque Control-Verfahren weiterentwickelt.

Als Basis für das Direct Drive System dienen die ACS 600 Frequenzumrichter von ABB. Die Motorregelung verwendet die selben mit Luft oder Wasser gekühlten Umrichter wie für die Asynchronmotorregelung.

Die Wasserkühlung ermöglicht eine höhere Leistungsdichte und kompakte Antriebs-schränke, während die Gehäuse mit höherer Schutzklasse dem Planungingenieur mehr Spielraum bei der Anordnung des Antriebs bieten, weil sie die Antriebskomponenten stärker schützen.

In der Azipod-Technik im Einsatz

Mit der Drive^{IT} Direct Drive Solution wird zunächst die Papierindustrie angesprochen, weil diese Branche bei niedertourigen Antrieben in besonderem Maße auf hohe Genauigkeit und Zuverlässigkeit angewiesen ist. Allerdings befindet sich die Permanentmagnetetechnik bereits seit geraumer Zeit im Einsatz, so z. B. in Servomotoren und Bahnmotoren. Ein weiteres sehr bekanntes Einsatzbeispiel für Permanentmagnetmotoren ist das Azipod-Schiffsantriebssystem. Der Direct Drive ist jetzt die erste serienmäßige Lösung für niedertourige Industrieanwendungen.

Dank des Permanentmagnetmotors ist die Azipod-Lösung sehr kompakt und damit auch für kleinere Schiffe geeignet. Die mit den Permanentmagnetmotoren im Azipod gesammelten Erfahrungen wurden bei der Entwicklung

des Direct Drive für die Zellstoff- und Papierindustrie berücksichtigt.

Windturbinengeneratoren sind ein Anwendungsgebiet, das für den Permanentmagnetmotor immer interessanter wird. Da diese Generatoren mit niedriger Drehzahl laufen, könnten sie vom Wegfall der Getriebe profitieren. Skilifte und Aufzüge sind weitere mögliche Anwendungsbereiche.

Mit dem breiteren Einsatz von Permanentmagnetmotoren ist zu erwarten, dass die heute verhältnismäßig hohen Preise für die magnetischen Werkstoffe fallen werden. Dann wird es auch möglich sein, Permanentmagnetmotoren in normalen Industrieantrieben einzusetzen; dort würden sie wegen ihres besseren Wirkungsgrades Energie einsparen, weil ihre Verluste erheblich niedriger sind.

Derzeit sind die Investitionskosten für den Direct Drive wegen der hohen Materialkosten mit denen einer herkömmlichen Antriebsanlage mit Getriebe vergleichbar. Wie bereits erwähnt, liegen seine Vorzüge im geringeren Instandhaltungsaufwand, im geringeren Platzbedarf, im höheren energetischen Wirkungsgrad und in der höheren Zuverlässigkeit. Diese Technologie wird zunächst auf Spezialanwendungen wie Papiermaschinen und den Azipod beschränkt bleiben. Aber es gibt keinen Grund, weshalb der Permanentmagnetmotor in den nächsten Jahren nicht auch in Fabriken ein vertrauter Anblick werden sollte.

Läuferschlupf

Der Hauptunterschied zwischen einem Synchronmotor und einem Asynchronmotor ist der, dass der Läufer des ersteren magnetisiert wird und mit der gleichen Drehzahl läuft wie das magnetische Drehfeld.

Die synchrone Drehzahl eines Motors ist die Drehzahl, die der Motor theoretisch erreichen würde, wenn die Drehzahl nur von der Netzfrequenz und der Anzahl der Pole des Motors bestimmt würde. Im Idealfall würde der Läufer genau dem magnetischen Drehfeld im Ständer folgen. Allerdings sorgt bei einem Drehstromasynchronmotor die Last dafür, dass der Läufer gegenüber dem magnetischen Drehfeld im Ständer einen Schlupf aufweist, der durch die Reibung im Motor noch verstärkt wird. Dieser Schlupf kann bis zu 5 % betragen.

Um diesen Schlupf zu reduzieren, sind einige Frequenzumrichter mit einer Schlupfkompensation ausgerüstet. Damit kann der Drehzahlabfall auf ungefähr 10 % des Nennschlupfes reduziert werden. Wenn eine sehr hohe Regelgenauigkeit verlangt wird, wird ein Drehzahlregler mit Impulsgeber verwendet.

Der Läufer des Synchronmotors ist mit Elektromagneten oder Permanentmagneten ausgestattet. Diese blockieren den Läufer in einer bestimmten Position, wenn ein anderes Magnetfeld auf sie einwirkt. Daher lässt sich die Drehzahl eines Synchronmotors innerhalb eines großen Drehzahlbereichs mit hoher Genauigkeit regeln, indem er über einen Frequenzumrichter gespeist wird. Eine Rückführung ist dabei nicht notwendig.

Autor

Dr. Jouni Ikäheimo

ABB Oy
PO box 633
FI-65101 Vaasa
Finnland
jouni.ikaheimo@fi.abb.com