

Sensorlos geregelt

>> Kompaktheit, Zuverlässigkeit, Genauigkeit: Um diese Ziele in Applikationen mit Permanentmagnet-Synchronmaschinen (PMSM) und bürstenlosen Gleichstrom-Motoren (BLDC-Motoren) auch ohne Hallsensoren, Encoder oder Resolver zu erreichen, bieten sich verschiedene Verfahren an. Bei sehr hohen oder sehr tiefen Drehzahlen und in Kombination mit Motoren mit hohem Trägheitsmoment gibt es jedoch einige Herausforderungen, die spezielle Lösungen erfordern.

Réglage sans capteur

>> Compacité, fiabilité, précision: pour atteindre ces buts aussi sans capteurs Hall, codeur ou résolveur dans des applications avec des machines synchrones magnétisées en permanence (PMSM) et des moteurs à courant continu sans collecteur (moteurs BLDC), différentes procédures peuvent être envisagées. Pour les nombres de tours très élevés ou très faibles en combinaison avec des moteurs ayant un moment d'inertie élevé, il existe un certain nombre de défis demandant des solutions spéciales.

Für eine feldorientierte Regelung bei PMSM- und BLDC-Motoren muss die Winkelposition des Rotor-Magnetfelds bekannt sein. Wo normalerweise Hallsensoren oder Encoder eingesetzt werden, kann mittels innovativer Sensorlos-Technologie von Celeroton aber auch auf Sensoren im Motor verzichtet werden. Dies hat viele Vorteile.

So kann speziell bei Kompaktmotoren auf die Anzahl Anschlusskabel und Steckkontakte verzichtet werden, was bei Werkzeugspindeln kleiner Leistung in der Mikromaterialbearbeitung oder in der Medizintechnik grosse Vorteile bringt. Zudem verbessern sich die mechanische Stabilität und Rotordynamik – und damit die Maximaldrehzahl, da für den Winkelpositionssensor keine zusätzlichen Scheiben oder Magnete auf der Welle benötigt werden. Da mit dem Sensor eine ausfallanfällige Komponente

weniger vorhanden ist, steigt die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems. Weitere Gründe, welche in gewissen Anwendungen für sensorlosen Betrieb sprechen, sind für Sensoren ungeeignete Umgebungsbedingungen oder auch Magnetlageranwendungen, bei denen die radiale Auslenkung des Rotors die Winkelsensorik zu stark beeinflusst.

Unterschiedliche Verfahren

Für den Betrieb der Motoren bei sehr niedriger Drehzahl oder gar ab Stillstand werden spezielle induktivitätsbasierte Verfahren der sensorlosen Positionsdetektion eingesetzt. Aber auch für den Betrieb bei höheren Drehzahlen bis zu einer Million Umdrehungen pro Minute oder für Motoren mit hohen Trägheitsmomenten existieren mittlerweile auf den Drehzahl- und Anwendungsbereich

hin optimierte Verfahren. Zudem werden verschiedene Sensorlos-Verfahren mit unterschiedlichen Modulationsverfahren des Wechselrichters kombiniert. Diese Kombinationen können bezüglich Realisierungsaufwand folgendermassen unterschieden werden:

Blockkommutierung (PAM) mit sensorloser Regelung (ZCD)

Bei diesem Verfahren wird der Rotor gesteuert (open-loop) auf eine Synchronisationsdrehzahl beschleunigt und oberhalb dieser Drehzahl sensorlos geregelt. Die Synchronisationsdrehzahl ist von der Gegenspannung des Motors abhängig, welche proportional zur Drehzahl ist. Typische Minimaldrehzahlen liegen daher bei 5 bis 10 Prozent der Nenn Drehzahl, darunter muss aufgrund der fehlenden Spannung gesteuert gefahren



Celeroton-Motor CM-2-500 mit Umrichter CC-75-500.

Kompressoren

Kolben- und Schraubenkompressoren

von 2.2 kW
bis 30 kW



8/10/13 bar



**Kraftvoll und
Energieeffizient**



Bild: Celeroton

Tiefe Verluste im Motor in Kombination mit dem gesteuerten Anfahren einer Position für den automatischen Werkzeugwechsel ohne Verwendung von Encodern und Hallsensoren machen Sensorlos-Verfahren interessant für den Betrieb von Werkzeugspindeln im Maschinenbau.

werden. Mit diesem Verfahren können Drehzahlen von 1 Million U/min und mehr erreicht werden. Das Verfahren eignet sich insbesondere für sehr hochdrehende Motoren mit geringer Phaseninduktivität. Die Verluste im Umrichter sind tendenziell tiefer als bei PWM, die Motorverluste bei niederinduktiven Motoren (zum Beispiel Luftspaltwicklungen, eisenlosen Wicklungen oder genuteten Statorn mit grossen Luftspalten) sind ebenfalls typischerweise geringer als bei PWM. Einzig bei genuteten Motoren für Drehzahlen unterhalb 100 000 bis 200 000 U/min ist mit höheren Rotorverlusten zu rechnen als mit PWM. Das Verfahren wird als Standardverfahren von Celeroton angeboten und ist entsprechend auf allen Umrichtern implementiert.

Sinuskommütierung (PWM) mit sensorloser Regelung (Observer)

Ähnlich zur Blockkommütierung wird der Rotor gesteuert (open-loop) auf eine Synchronisationsdrehzahl beschleunigt und oberhalb dieser Drehzahl sensorlos geregelt. Die Synchronisationsdrehzahl ist motorabhängig und liegt im Bereich von 4000 U/min. Die maximale Drehzahl ist durch die Schaltfrequenz und Rechenleistung der Umrichter definiert. Bei den gegenwärtig von Celeroton angebotenen Umrichtern beträgt sie circa 150 000 U/min. Das Verfahren eignet sich insbesondere für Motoren mit (elektrischen) Drehzahlen im Bereich von 10 000–150 000 U/min und für Motoren mit höherer Phaseninduktivität (zum Beispiel genutete Motoren), da es dort typischerweise zu tieferen Verlusten im Stator und Rotor führt als Blockkommütierung.

Blockkommütierung (PAM) mit sensorloser Regelung ab Stillstand

Dieses Verfahren erlaubt die sensorlose Drehzahlregelung ab Stillstand mit einer Winkelauflösung von 30°. Daher ist dieses Verfahren geeignet für Anwendungen, die volles Moment beim Anlauf ab Stillstand erfordern unter Inkaufnahme einer minimalen Drehmomentunterbrechung und daher eines minimalen Drehmomenttripels und Geräusches. Der zu betreibende Motor muss gewisse Anforderungen erfüllen, um für dieses Verfahren geeignet zu sein, insbesondere muss eine gewisse Asymmetrie in den Induktivitäten (Ld-Lq) vorhanden sein.

Sinuskommütierung (PWM) mit sensorloser Regelung ab Stillstand

Dank PWM und keiner Drehmomentunterbrechung erlaubt dieses Verfahren die sensorlose Drehzahlregelung ab Stillstand bei gleichzeitig sehr geringem bis gar nicht vorhandenem Drehmomenttripel und Geräusch. Die höhere Winkelauflösung erlaubt zuverlässige und ruckfreie Drehzahlregelung auch bei tiefsten Drehzahlen und Stillstand. Die maximal mögliche Drehzahl wird durch einen zusätzlichen Ausgangsfilter definiert.

Herausforderungen bei extremen Betriebsbedingungen

Bei Standardantrieben funktionieren ZCD- und Observer-Verfahren meist gut. Jedoch kommen diese Standardverfahren bei gewissen Herausforderungen schnell an ihre Grenzen:

- Bei sehr schnellen Beschleunigungen sind Nulldurchgänge bei Standard-ZCD aufgrund hoher Ströme (und daher langer Kommutierungswinkel) und wechselnder Drehzahlen innerhalb



von 7.5 kW
bis 90 kW

8/10/13 bar

Schraubenkompressoren



von 15 kW
bis 110 kW

5-13 bar

**Wassereingespritzt und
absolut ölfrei**

- Drucklufttrockner
- Druckluftfilter
- Kondensattechnik
- Druckluftzubehör
- Kundendienst/Revisionen
- Analysen und Planung

Aarauerstrasse 69, 5200 Brugg
Tel/Fax: 056 460 03 90/99
www.zumtech.ch, info@zumtech.ch

Filiale:
St. Gallerstrasse 119
8404 Winterthur

*Druckluft ist
unser Metier*



Bild: Celeroton

Sensorlos-Technologie bringt Vorteile für die Medizintechnik, da im Motor auf Anschlusskabel für Hallsensoren verzichtet und somit die Zuverlässigkeit gesteigert werden kann.

- eines Sektors nicht mehr detektierbar.
- Bei hohen Drehzahlen steigt auch die absolute Minimaldrehzahl (relativ bleibt sie zum Beispiel bei 10 Prozent).
- Observer-Verfahren können bei Beschleunigungen Vorteile bringen, jedoch steigt mit der Drehzahl auch die benötigte Rechenkapazität.
- Erfolgt der sensorlose Betrieb ab einer Minimaldrehzahl oder gar ab Stillstand, kann der Motor beim Anfahren aus dem Tritt fallen, da noch kein Positionssignal vorhanden ist. Besonders bei langen Beschleunigungszeiten ist dies zu vermeiden.
- Falls mit dem gleichen Motor sehr hohe und tiefe Drehzahlen sensorlos geregelt werden sollen, muss eine induktivitätsbasierte Methode zum Einsatz kommen. Motoren für hohe Drehzahlen sind jedoch symmetrisch aufgebaut und zeigen nur minimale Induktivitätsänderungen, was sehr genaue Messungen und Regelalgorithmen erfordert.

Vom Forschungslabor in die Industrie

In den letzten Jahren wurden von Celeroton verbesserte ZCD-Verfahren entwickelt, welche sowohl bei hohen (bis Weltrekord 1 Million U/min) als auch tiefen Drehzahlen (je nach Motor bis auf 1 Prozent Nenndrehzahl) funktionieren. Zudem sind die verbesserten Lösungen auch sehr schnellen Beschleunigungen und hohen Strömen gewachsen.

Observer-Verfahren werden in der Forschung seit einigen Jahren intensiv bearbeitet und bei Standarddrehzahlen auch industriell eingesetzt. Neue, vereinfachte Observer funktionieren bis 150 000 U/min. Dieser Drehzahlbereich und die tiefen Verluste, die bei diesem Verfahren im Stator und Rotor auftreten, machen das Verfahren sehr interessant für den Betrieb von Werkzeugspindeln im Maschinenbau. In Kombination mit dem gesteuerten Anfahren einer Position für den automatischen Werkzeugwechsel ohne Verwendung von Encodern und Hall-

sensoren können somit auch bei Systemen mit kleiner Leistung die Kosten signifikant reduziert werden.

Neuartige induktivitätsbasierte Verfahren ermöglichen eine Positionsdetektion und damit das Beschleunigen und Regeln ab Stillstand auch bei Motoren mit sehr grosser Symmetrie (kleine Schenkligkeit), was bis anhin eher in der Forschung als im industriellen Umfeld ein Thema war, jetzt aber auch von Celeroton industriell angeboten wird.

Zusammenfassung

Zusammenfassend ermöglichen die sensorlosen Regelungsverfahren die Erkennung der Winkelposition von Stillstand bis Maximaldrehzahl. Somit kann über den ganzen Drehzahlbereich volles Moment gefahren werden, und zwar ohne Hallsensoren oder Encoder. Auch ein Wechsel zwischen den einzelnen Verfahren mit dem gleichen Umrichter und ohne Ruckeln ist möglich. Dies vereinfacht das Motordesign und erhöht die Zuverlässigkeit der Applikation. Für eine einfache Inbetriebnahme von verschiedenen Motoren und Anwendungen kommen zudem heute Autotuning-Routinen zum Einsatz, welche die Regelparameter der Drehzahlregelung automatisch aus den ermittelten Werten berechnen. <<

Autor:
Georg Oberholzer, Celeroton AG

Information:
Celeroton AG
8604 Volketswil
info@celeroton.com
www.celeroton.com

Anzeige

Schneller am Ziel!





- Projektierung
- Hard-/Software Entwicklung
- Produktion SMT/THT
- Prüfung
- Aftersales

styromat.ch

individuelle Elektronik

ISO 9001 +41 (0)71 414 04 40

