

DTC Direkte Drehmomentregelung

- die fortschrittlichste Technologie für AC-Antriebe



Inhalt

1	Einleitung	5
	Allgemeines	5
	Zweck dieses Handbuchs	5
	Verwendung dieses Handbuchs	5
2	Werdegang der Direkten Drehmomentregelung	6
	Was ist ein drehzahl geregelter Antrieb?	6
	Fazit	6
	DC-Motor-Antriebe	7
	Merkmale	7
	Vorteile	7
	Nachteile	8
	AC-Antriebe - Einleitung	8
	AC-Antriebe - Frequenzregelung mit PWM	9
	Merkmale	9
	Vorteile	10
	Nachteile	10
	AC-Antriebe - Flussvektorregelung mit PWM	10
	Merkmale	10
	Vorteile	11
	Nachteile	11
	AC-Antriebe - Direkte Drehmomentregelung (DTC)	12
	Regelgrößen	12
	Vergleich der drehzahl geregelten Antriebe	13
3	Fragen und Antworten	15
	Allgemeines	15
	Leistung	16
	Betrieb	22
4	Theoretische Grundlagen der DTC	26
	Wie funktioniert die DTC	26
	Drehmomentregelkreis	27
	Schritt 1 Messen von Spannung und Strom	27
	Schritt 2 Adaptives Motormodell	27
	Schritt 3 Drehmoment- und Flussvektorvergleich	28
	Schritt 4 Optimale Impulsvorwahl	28
	Drehzahlregelung	29
	Schritt 5 Drehmomentsollwert-Regler	29
	Schritt 6 Drehzahlregler	29
	Schritt 7 Fluss-Sollwert-Regler	29
5	Index	30

Kapitel 1 - Einleitung

Allgemeines Die Direkte Drehmomentregelung - oder DTC - ist die fortschrittlichste AC-Antriebs-Technologie aller Hersteller weltweit.

Zweck dieses Handbuchs In diesem Handbuch wird erklärt, was DTC ist, warum diese Technologie entwickelt wurde und wie sie sich entwickelt hat, welche Theorie diesem Erfolg zugrunde liegt sowie ihre Merkmale und Vorteile.

Dieses Handbuch soll so praxisgerecht wie möglich sein, jedoch ist ein Grundverständnis der Regelungsprinzipien von AC-Motoren erforderlich.

Dieses Handbuch richtet sich an die Entscheider in den Bereichen Planung, Entwicklung, Vertrieb, OEMs und Endkunden - auf allen Märkten wie Wasserwirtschaft, Chemie-Papier- und Zellstoffindustrie, Stromerzeugung, Materialbearbeitung und -transport, Klimatisierung und weitere Industriezweige.

Wer drehzahlgeregelte Antriebe (VSD) einsetzt und jeder, der die Vorteile der VSD-Technologie nutzen möchte, sollte diese Technische Anleitung als wichtige Standardlektüre lesen.

Verwendung dieses Handbuchs Dieses Handbuch wurde so aufgebaut, dass es auf logische Weise darstellt, warum und wie DTC entwickelt wurde.

Leser, die die Entwicklung der Antriebe von den ersten Anfängen der DC-Technik über AC bis hin zu DTC kennen lernen möchten, sollten mit Kapitel 2 (Seite 6) beginnen.

Leser, die sich für die Leistung der DTC, den Betrieb und die Anwendungsbereiche interessieren, können direkt mit Kapitel 3 (Seite 15) Fragen und Antworten beginnen.

Das Grundprinzip der DTC wird ab Seite 26 erläutert.

Kapitel 2 - Der Werdegang der Direkten Drehmomentregelung

Was ist ein drehzahl-geregelter Antrieb?

Um die Antwort auf diese Frage zu verstehen, muss man wissen, dass die Grundfunktion eines drehzahlgeregelten Antriebs (VSD) in der Regelung des Energieflusses vom Netz zum Prozess besteht.

Dem Prozess wird Energie über die Motorwelle zugeführt. der Status der Welle wird durch zwei physikalische Größen beschrieben: Drehmoment und Drehzahl. Um den Energiefluss zu regeln, müssen letztendlich diese Größen geregelt werden.

In der Praxis bedeutet dies, eine der beiden Größen wird geregelt. Man spricht entweder von "Drehmomentregelung" oder von "Drehzahlregelung". Wenn der VSD im Modus Drehmomentregelung läuft, wird die Drehzahl von der Last bestimmt. Gleichmaßen gilt, beim Betrieb im Modus Drehzahlregelung wird das Drehmoment von der Last bestimmt.

Anfangs wurden DC-Motoren als drehzahlgeregelte Antriebe (VSD) genutzt, da sie auf einfache Weise, ohne komplizierte Elektronik die erforderliche Drehzahl und das erforderliche Drehmoment erreichen.

Die technische Entwicklung der drehzahlgeregelten AC-Antriebe wurde teilweise von dem Wunsch bestimmt, die hervorragenden Eigenschaften des DC-Motors, wie schnelle Drehmomentanregelzeit und Drehzahlgenauigkeit bei Verwendung robuster, kostengünstiger und wartungsfreier AC-Motoren zu erreichen.

Fazit

In diesem Abschnitt wird die Entwicklung der DTC anhand von vier typischen Beispielen von drehzahlgeregelten Antrieben erläutert:

- DC-Motor-Antriebe 7
- AC-Antriebe, Frequenzregelung, PWM 9
- AC-Antriebe, Flussvektorregelung, PWM 10
- AC-Antriebe, Direkte Drehmomentregelung 12

Die einzelnen Antriebe werden der Reihe nach erläutert , um schließlich zu einem Gesamtbild zu gelangen, in dem die entscheidenden Unterschiede zwischen diesen Antrieben deutlich werden.

DC-Motor- Antriebe

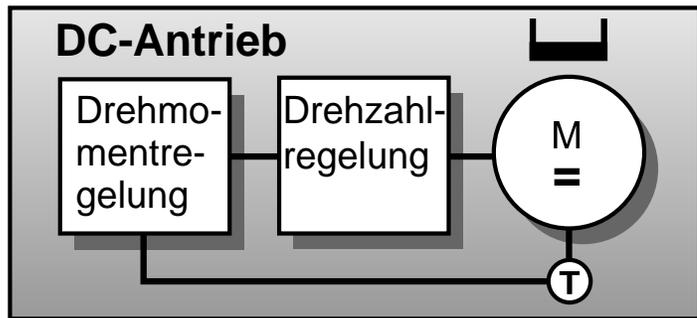


Bild 1: Regelkreis eines DC-Motor-Antriebs

- Merkmale**
- Feldorientierung über mechanischen Kommutator
 - Die Regelgrößen sind Ankerstrom und Feldstrom, die DIREKT am Motor gemessen werden
 - Die Drehmomentregelung wirkt direkt

Bei einem DC-Motor wird das Magnetfeld durch einen Strom, der durch die Feldwicklung des Stators fließt, erzeugt. Dieses Feld befindet sich immer im rechten Winkel zu dem durch die Ankerwicklung erzeugten Feld. Dieser als Feldorientierung bezeichnete Zustand wird zur Erzeugung des maximalen Drehmomentes benötigt. Die Kommutator-Bürsten-Einheit gewährleistet diesen Zustand unabhängig von der Position des Rotors.

Nach Erreichen der Feldorientierung kann das Drehmoment des DC-Motors leicht durch Ändern des Ankerstroms und Konstanthalten des Magnetisierungsstroms geregelt werden.

Der Vorteil von DC-Antrieben besteht darin, dass Drehzahl und Drehmoment - die beiden wichtigsten Größen für den Anwender - direkt durch den Ankerstrom geregelt werden: das heißt, das Drehmoment bildet den inneren Regelkreis und die Drehzahl den äußeren Regelkreis (siehe Bild 1).

- Vorteile**
- Exakte und schnelle Drehmomentregelung
 - Hochdynamische Reaktion der Drehzahl
 - Einfach zu regeln

Zunächst wurden DC-Antriebe für die Drehzahlregelung verwendet, da sie mit hoher Genauigkeit leicht eine gute Reaktion des Drehmoments und der Drehzahl erreichen konnten.

Eine DC-Maschine ist in der Lage, ein Drehmoment zu erzeugen, das:

- **direkt** ist - das Drehmoment des Motors ist proportional zum Ankerstrom: damit kann das Drehmoment direkt und exakt geregelt werden.
- **schnell** ist - die Drehmomentregelung ist schnell; das Antriebssystem kann eine sehr hohe Drehzahldynamik besitzen. Das Drehmoment kann sich sofort ändern, wenn die Einspeisung des Motors von einer idealen Stromquelle aus erfolgt. Ein mit Spannung versorgter Antrieb hat immer noch ein schnelles Ansprechverhalten, da dies nur von der elektrischen Zeitkonstanten des Rotors bestimmt wird (d.h. der Gesamtinduktivität und dem Widerstand im Ankerkreis)
- **einfach** ist - die Feldorientierung wird mit einer einfachen Mechanik erreicht, die als Kommutator-Bürsten-Einheit bezeichnet wird, somit besteht für eine komplexe elektronische Schaltung, die nur die Kosten für einen Motorregler erhöhen würde, keine Notwendigkeit.

Nachteile

- Verminderte Zuverlässigkeit des Motors
- Regelmäßige Wartung
- Teurerer Motor
- Impulsgeber für die Rückmeldung erforderlich

Der entscheidende Nachteil dieser Technik liegt in der verminderten Zuverlässigkeit des DC-Motors, im Verschleiß der Bürsten und Kommutatoren, die regelmäßig gewartet werden müssen, dem eventuell hohen Kaufpreis der DC-Motoren und der zwingend notwendigen Impulsgeber für die Drehzahl- und Positionsrückmeldung.

Während ein DC-Antrieb ein leicht zu regelndes Drehmoment von Null bis zur Nenndrehzahl und darüber hinaus erzeugt, ist die Mechanik des Motors komplexer und erfordert eine regelmäßige Wartung.

AC-Antriebe - Einleitung

- Kleine Abmessungen
- Robust
- Einfacher Aufbau
- Leicht und kompakt
- Wartungsfreundlich
- Kostengünstig

Die Entwicklung der Technik der drehzahlgeregelten Antriebe wurde teilweise von dem Verlangen vorangetrieben, die Leistung von DC-Antrieben, wie schnelle Reaktion des Drehmoments und Drehzahlgenauigkeit, bei gleichzeitiger Ausnutzung der Vorteile der Standard-AC-Motoren zu erreichen.

AC-Antriebe - Frequenz- regelung mit PWM

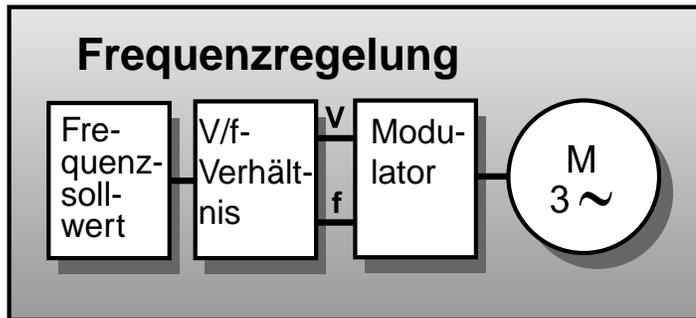


Bild 2: Regelkreis eines AC-Antriebs mit Frequenzregelung durch PWM

- Merkmale**
- Die Regelgrößen sind Spannung und Frequenz
 - Simulation variabler AC-Sinuswellen durch Modulator
 - Fluss mit konstantem V/f Verhältnis
 - Antrieb ohne Signlrückführung
 - Die Last gibt das Drehmoment vor

Im Gegensatz zum DC-Antrieb verwendet die Frequenzregelungstechnik für AC-Antriebe Parameter, die außerhalb des Motors als Regelgrößen erzeugt werden, nämlich Spannung und Frequenz.

Die Spannungs- und Frequenzsollwerte werden in einen Modulator eingegeben, der eine AC-Sinuswelle erzeugt und diese in die Statorwicklungen des Motors einspeist. Diese Technik nennt sich Pulsweitenmodulation (PWM) und nutzt die Tatsache, dass es netzseitig einen Diodengleichrichter gibt und die DC-Zwischenkreisspannung konstant gehalten wird. Der Wechselrichter regelt den Motor in Form einer PWM-Impulsfolge, die Spannung und Frequenz vorgibt.

Es ist zu beachten, dass bei diesem Verfahren keine Rückmeldeeinrichtung benötigt wird, die an der Motorwelle die Drehzahl oder die Position misst und den Wert als Rückmeldung an die Regelung überträgt.

Eine solche Anordnung ohne Rückmeldeeinrichtung heißt "Antrieb ohne Signlrückführung".

- Vorteile**
- Kostengünstig
 - Keine Rückmeldeeinrichtung erforderlich - einfach

Da es keine Rückmeldeeinrichtung gibt, bietet das Regelungsprinzip eine kostengünstige und einfache Lösung zur Regelung wirtschaftlicher AC-Induktionsmotoren. Dieser Antriebstyp eignet sich für Applikationen, bei denen keine hohe Präzision erforderlich ist, wie z.B. bei Pumpen und Lüftern.

- Nachteile**
- Die Feldorientierung wird nicht verwendet
 - Der Motorstatus wird ignoriert
 - Das Drehmoment wird nicht geregelt
 - Verwendung eines verzögernden Modulators

Bei dieser Technik, die auch als Skalarregelung bezeichnet wird, wird die Feldorientierung des Motors nicht verwendet. Stattdessen sind Frequenz und Spannung die wichtigsten Regelgrößen und wirken auf die Statorwicklung. Der Status des Rotors wird ignoriert, das heißt, es erfolgt keine Drehzahl- oder Positionsrückmeldung.

Deshalb kann das Drehmoment überhaupt nicht exakt geregelt werden. Darüber hinaus wird bei dieser Technik ein Modulator verwendet, der generell die Kommunikation zwischen den eingehenden Spannungs- und Frequenzsignalen und der Notwendigkeit des Motors, auf dieses sich ändernde Signal zu reagieren, verlangsamt.

AC-Antriebe - Flussvektor- regelung mit PWM

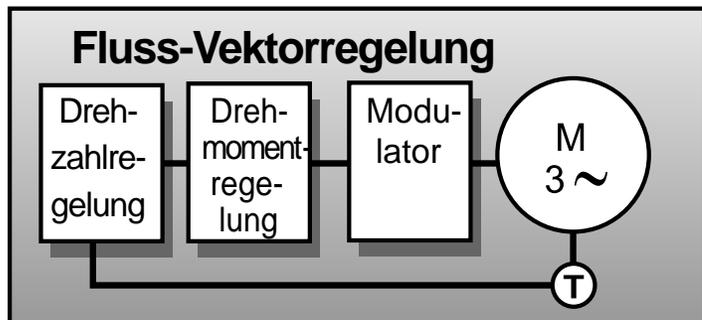


Bild 3: Regelkreis eines AC-Antriebs mit Flussvektorregelung mit PWM

- Merkmale**
- Feldorientierte Regelung - simuliert einen DC-Antrieb
 - Simulation der elektrischen Kennwerte des Motors - "Motormodell"
 - Antrieb mit Signalführung
 - INDIREKTE Drehmomentregelung

Um die magnetischen Betriebsbedingungen eines DC-Motors nachzubilden, d.h. um die Feldorientierung durchzuführen, muss der Flussvektor-Antrieb die räumliche Winkellage des Rotorflusses im AC-Induktionsmotor kennen.

Bei Flussvektor-PWM-Antrieben wird die Feldorientierung elektronisch und nicht durch die mechanische Kommutator/Bürsten-Einheit des DC-Motors realisiert.

Zunächst erhält man die Information über den Rotorstatus durch die Rückmeldung der Rotordrehzahl und der Winkellage relativ zum Statorfeld durch einen Impulsgeber. Ein Antrieb mit Drehzahlgeber wird als "Antrieb mit Signlrückführung" bezeichnet.

Darüber hinaus werden auch die elektrischen Kennwerte des Motors mit Hilfe von Mikroprozessoren mathematisch nachgebildet.

Der elektronische Regler eines Flussvektor-Antriebs erzeugt elektrische Größen wie Spannung, Strom und Frequenz, die als Regelgrößen dienen, und gibt diese über einen Modulator in den AC-Induktionsmotor ein. Deshalb erfolgt die Drehmomentregelung INDIREKT.

- Vorteile**
- Gutes Drehmomentverhalten
 - Exakte Drehzahlregelung
 - Volles Drehmoment bei Drehzahl Null
 - Leistung mit der eines DC-Antriebs vergleichbar

Bei der Flussvektor-Regelung wird bei Drehzahl Null das volle Drehmoment erreicht, wodurch eine Leistung ähnlich der eines DC-Antriebs möglich wird.

- Nachteile**
- Rückmeldung ist erforderlich
 - Kostenintensiv
 - Modulator wird benötigt

Um eine sehr gute Reaktion des Drehmoments und eine sehr hohe Drehzahlgenauigkeit zu erreichen, wird eine Rückmeldeeinrichtung benötigt. Diese kann kostenintensiv sein und erhöht die Komplexität des herkömmlichen, einfachen AC-Induktionsmotors.

Außerdem wird ein Modulator verwendet, der die Kommunikation zwischen den Spannungs- und Frequenzsignalen und der Reaktion des Motors auf das sich ändernde Signal verlangsamt.

Obwohl der Motor mechanisch einfach ist, ist der Antrieb elektrisch komplex.

**AC-Antriebe -
Direkte
Drehmoment-
regelung
(DTC)**

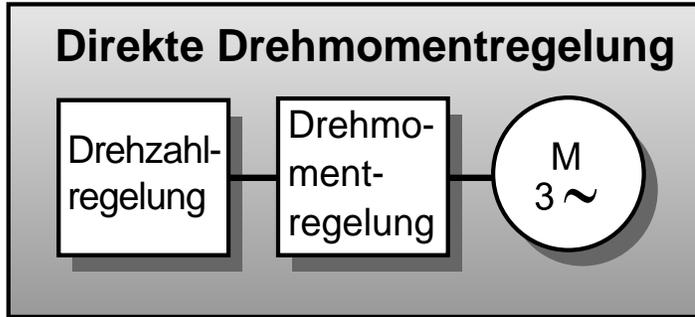


Bild 4: Regelkreis eines AC-Antriebs mit DTC

Regelgrößen

Mit der revolutionären, von ABB entwickelten DTC-Technik wird die Feldorientierung ohne Rückmeldung und ohne Modulation durch die innovative Motortheorie zur Berechnung des Motormoments direkt erreicht. Die Regelgrößen sind der **Magnetisierungsfluss** des Motors und das **Motormoment**.

DTC kommt ohne Modulator aus und benötigt keinen Drehzahlmesser und keinen Positionsgeber zur Rückmeldung der Drehzahl oder der Position der Motorwelle.

DTC verwendet die schnellste verfügbare Hardware für die Verarbeitung digitaler Signale und ein innovatives mathematisches Konzept über die Funktionsweise des Motors.

Das Ergebnis ist ein Antrieb mit einem Drehmoment, das typischerweise 10 Mal schneller ist als bei einem AC- oder DC-Antrieb. Die dynamische Drehzahlgenauigkeit der DTC-Antriebe ist um das 8 fache besser als bei AC-Antrieben ohne Signlrückführung und vergleichbar mit der eines DC-Antriebs mit Signlrückführung.

Mit DTC wird der erste "universell einsetzbare" Antrieb geschaffen, der in der Lage ist, wie ein AC- oder ein DC-Antrieb zu agieren.

In den folgenden Kapiteln dieses Handbuchs werden die Merkmale und Vorteile der DTC dargestellt.

Vergleich der drehzahl-geregelten Antriebe

Im Folgenden werden die einzelnen Regelblöcke betrachtet und einige Unterschiede hervorgehoben.

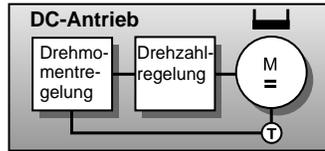


Bild 1: Regelkreis eines DC-Antriebs

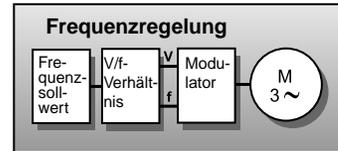


Bild 2: Regelkreis mit Frequenzregelung

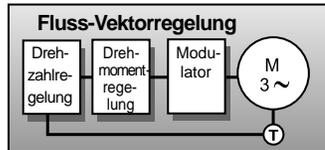


Bild 3: Regelkreis mit Flussvektor-Regelung

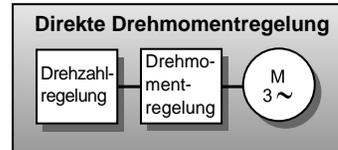


Bild 4: Regelkreis eines AC-Antriebs mit DTC

Als erstes fällt die Ähnlichkeit zwischen dem Regelblock des DC-Antriebs (Bild 1) und dem der DTC (Bild 4) auf.

In beiden Fällen werden Motorparameter zur Direkten Drehmomentregelung verwendet.

DTC verfügt jedoch über weitere Vorteile einschließlich dem Verzicht auf eine Rückmeldungseinrichtung. DTC hat alle Vorteile eines AC-Motors (siehe Seite 8) und benötigt keine externe Erregung.

ANTRIEB	REGELGRÖSSEN
DC-Antriebe	Ankerstrom, I_A Magnetisierungsstrom, I_M
AC-Antriebe (PWM)	Ausgangsspannung, U Ausgangsfrequenz, f
Direkt Drehmomentregelung	Motormoment, T Motor-Magnetisierungsfluss, Ψ

Tabelle 1: Vergleich der Regelgrößen

Wie in Tabelle 1 dargestellt, werden sowohl bei DC-Antrieben als auch bei DTC-Antrieben die tatsächlichen Motorparameter zur Drehmoment- und Drehzahlregelung verwendet. Daraus ergibt sich eine schnelle und einfache dynamische Leistung. Darüber hinaus kann mit DTC bei den meisten Applikationen auf einen Drehzahlmesser oder einen Impulsgeber zur Rückführung des Drehzahl- oder Positionssignals verzichtet werden.

Beim Vergleich von DTC (Bild 4) mit zwei anderen Regelblöcken für AC-Antriebe (Bild 2 und 3) werden mehrere Unterschiede deutlich. Der wesentliche Unterschied liegt darin, dass bei DTC kein Modulator erforderlich ist.

Bei AC-Antrieben mit PWM sind die Regelgrößen Frequenz und Spannung. Sie müssen mehrere Stufen durchlaufen, bis sie auf den Motor wirken können. Somit erfolgt bei PWM-Antrieben die Regelung im elektronischen Regler und nicht im Motor.

Kapitel 3 - Fragen und Antworten

Allgemeines

Was ist die Direkte Drehmomentregelung (DTC)?

Die Direkte Drehmomentregelung - auch DTC genannt - ist die bislang modernste, von ABB entwickelte Technologie für AC-Antriebe und ist dabei, die herkömmlichen PWM-Antriebe mit oder ohne Signlrückführung zu ersetzen.

Warum heißt das Verfahren Direkte Drehmomentregelung ?

Der Begriff Direkte Drehmomentregelung beschreibt, wie die Regelung des Drehmoments und der Drehzahl direkt auf dem elektromagnetischen Zustand des Motors basiert, ähnlich wie bei einem DC-Motor, jedoch grundlegend anders als bei den herkömmlichen PWM-Antrieben die Frequenz und Spannung verwenden. DTC ist die erste Technologie, mit der die "echten" Regelgrößen des Motors von Drehmoment und Fluss geregelt werden.

Worin liegen die Vorteile?

Da Drehmoment und Fluss Parameter des Motors sind, die direkt geregelt werden, besteht keine Notwendigkeit für einen Modulator, wie er bei PWM-Antrieben zur Regelung der Frequenz und der Spannung verwendet wird. Hierdurch entfällt eine Zwischenstation und die Reaktion des Antriebs auf Änderungen des erforderlichen Drehmoments wird deutlich beschleunigt. DTC ermöglicht außerdem eine präzise Drehmomentregelung ohne Rückmeldeeinrichtung.

Warum ist eine andere Technologie für AC-Antriebe erforderlich?

DTC ist nicht nur eine andere Technik für AC-Antriebe, die Industrie stellt weitergehende Forderungen und die vorhandene Technologie kann diese Forderungen nicht erfüllen.

Die Industrie fordert z.B.:

- Eine bessere Produktqualität, die teilweise durch eine verbesserte Drehzahlgenauigkeit und eine schnellere Drehmomentregelung erreicht werden kann.
- Geringere Ausfallzeiten, d.h. ein Antrieb löst nicht unnötigerweise aus; einen Antrieb, dessen Aufbau nicht durch teure Rückmeldeeinrichtungen kompliziert wird, und einen Antrieb, der nicht sehr anfällig für Störungen wie Oberwellen und HF-Störungen ist.
- Weniger Produkte. Ein Antrieb, der alle Anforderungen der Applikation erfüllt, egal ob AC, DC oder Servoantrieb. Das ist in der Tat ein "Universal"-Antrieb.

- Eine angenehme Arbeitsumgebung durch einen Antrieb, der weniger Lärm erzeugt.
Dies sind nur einige Forderungen aus der Industrie. DTC liefert Lösungen für alle diese Forderungen und bietet darüber hinaus zusätzliche Vorteile für viele Standardapplikationen.

Wer hat DTC erfunden?

ABB hat seit 1988 Forschungsarbeit im Bereich DTC geleistet, nachdem die Theorie 1971 und 1985 von Dr. Blaschke und seinem Kollegen Depenbrock veröffentlicht wurde. DTC lehnt sich an die Theorie der feldorientierten Regelung bei Induktionsmaschinen und an die Theorie der direkten Selbstregelung an. ABB hat für die Entwicklung dieser Technologie mehr als 100 Mannjahre aufgewendet.

Was sind die wesentlichen Vorteile der DTC-Technik verglichen mit der traditionellen Technik für AC-Antriebe?

Leistung

Die DTC-Technik bietet viele Vorteile. Am wichtigsten ist jedoch, dass Antriebe mit DTC-Technik über folgende, herausragende dynamischen Eigenschaften verfügen, von denen viele ohne Impulsgeber oder Drehzahlmesser zur Überwachung der Drehzahl oder der Position der Motorwelle realisiert werden können:

- **Drehmomentanregelzeit:** - *Wie schnell kann der Antriebsausgang bei einem Sollwertsprung von 100 % des Nennmoments den vorgegebenen Wert erreichen.*
Bei DTC liegt eine typische Drehmomentanregelzeit bei **1 bis 2ms** unter 40Hz verglichen mit 10-20ms sowohl bei Flussvektor- als auch DC-Antrieben mit Impulsgeber. Bei PWM-Antrieben ohne Signalführung (siehe Seite 9) liegt die Anregelzeit bei deutlich über 100ms. Mit dieser Reaktion des Drehmoments hat DTC die natürliche Grenze erreicht. Bei der vorhandenen Spannung und dem vorhandenen Strom kann die Reaktionszeit nicht kürzer sein. Selbst bei den neueren "geberlosen" Antrieben liegt die Reaktion des Drehmoments bei **mehreren Hundert Millisekunden**.
- **Exakte Drehmomentregelung bei niedrigen Frequenzen** sowie volles Lastmoment bei Drehzahl Null ohne Rückmeldungseinrichtungen wie Impulsgeber oder Drehzahlmesser. Mit DTC kann die Drehzahl bis zu Frequenzen unter 0,5 Hz geregelt werden und trotzdem noch **100% Drehmoment** bis zur Drehzahl Null bieten.
- **Wiederholbarkeit des Drehmoments** : - *Wie gut wiederholt der Antrieb sein Ausgangsmoment bei demselben Drehmomentsollwertbefehl.*
DTC kann ohne Impulsgeber eine Wiederholbarkeit von

1 bis 2% des Nennmomentes über den Drehzahlbereich bieten. Dies ist die Hälfte dessen, was AC-Antriebe ohne Signalmrückführung liefern und entspricht AC- und DC-Antrieben mit Signalmrückführung .

- **Statische Drehzahlgenauigkeit des Motors:** - Fehler zwischen dem Drehzahl Sollwert und dem Istwert bei Konstantlast.

Bei DTC liegt die Drehzahlgenauigkeit bei 10% des Motorschlupfes, der bei einem 11kW Motor 0,3% der statischen Drehzahlgenauigkeit entspricht.

Bei einem 110kW Motor beträgt die Drehzahlgenauigkeit 0,1% ohne Impulsgeber (ohne Signalmrückführung). Dieser Wert erfüllt bei 95% der Antriebsapplikationen in der Industrie die Anforderungen an die Genauigkeit. Um jedoch mit einem DC-Antrieb diese Genauigkeit zu erreichen, ist ein Impulsgeber erforderlich.

Bei frequenzgeregelten PWM-Antrieben liegt die statische Drehzahlgenauigkeit typischerweise zwischen 1 und 3%. Somit ist das Potential für Verbesserungen des Prozesses beim Kunden bei Standardantrieben mit DTC-Technik deutlich höher.

Ein DTC-Antrieb mit einem Impulsgeber mit 1024 Impulsen/Umdrehung kann eine Drehzahlgenauigkeit von 0,01% erreichen.

- **Dynamische Drehzahlgenauigkeit:** - Zeitintegral der Drehzahlabweichung bei einer Nennmoment(100%)-Drehzahl. Die dynamische Drehzahlgenauigkeit ohne Signalmrückführung liegt zwischen 0,3 und 0,4%sec. Dies hängt von der Einstellung der Reglerverstärkung ab, die auf die Prozessanforderungen eingestellt werden kann.

Bei anderen AC-Antrieben ohne Signalmrückführung ist die dynamische Genauigkeit 8-mal geringer und liegt in der Praxis bei ca. 3%sec.

Wenn der DTC-Controller mit einem Impulsgeber ausgestattet wird, beträgt die dynamische Drehzahlgenauigkeit 0,1%sec, dieser Wert entspricht dem eines Servoantriebs.

Was sind die praktischen Vorteile dieser Werte?

- **Schnelle Drehmomentanregelzeit:** - hiermit wird die Drehzahlabfallzeit beim Lastübergang deutlich verringert, wodurch die Prozessführung verbessert wird und eine konsistentere Produktqualität erreicht wird.
- **Drehmomentregelung bei niederen Frequenzen:** - Dies ist besonders bei Kranen und Hebezeugen vorteilhaft, bei denen die Last ruckfrei angefahren und gestoppt werden

muss. Auch bei Wickelmaschinen kann eine Zugspannungsregelung ab Drehzahl Null bis zur Maximaldrehzahl erreicht werden. Im Vergleich zu PWM-Antrieben mit Flussvektor-Regelung bietet DTC einen Kostenvorteil, da kein Drehzahlmesser benötigt wird.

- **Linearität des Drehmoments:** - Dieser Aspekt ist bei Präzisionsanwendungen wie Wickelmaschinen, die in der Papierindustrie verwendet werden, wo ein gleichmäßiges Wickeln entscheidend ist, wichtig.
- **Dynamische Drehzahlgenauigkeit:** - Nach einem plötzlichen Lastwechsel kann sich der Motor erstaunlich schnell stabilisieren.

MERKMAL	ERGEBNIS	VORTEIL
Gute Genauigkeit der Motordrehzahl ohne Drehzahlmesser.	Ermöglicht eine Regelung der Drehzahl präziser als 0.5%. In 95% aller Applikationen ist kein Drehzahlmesser erforderlich.	Spart Investitionskosten. Verbessert die Zuverlässigkeit. Bessere Prozessführung. Höhere Produktqualität. Echter Universalantrieb.
Herovorragende Drehmomentregelung ohne Drehzahlmesser.	Antrieb für anspruchsvolle Applikationen. Ermöglicht jederzeit das geforderte Drehmoment. Wiederholbarkeit des Drehmoments 1%. Drehmomentanregelzeit weniger als 5ms.	Ähnliche Leistung wie DC, jedoch ohne Drehzahlmesser. Weniger mechanisch bedingte Ausfälle. Weniger Ausfallzeiten. Geringere Investitionen.
Volles Drehmoment bei Drehzahl Null mit oder ohne Drehzahlmesser/ Impulsgeber.	Keine mechanische Bremse erforderlich. Stoßfreier Übergang zwischen Antrieb und Bremse. Antrieb kann in herkömmlichen DC-Antriebsapplikationen eingesetzt werden.	Spart Investitionskosten. Bessere Lastregelung. AC-Antrieb und Motor anstelle eines DC-Antriebs möglich. Standard-AC-Motor bedeutet geringerer Wartungsaufwand und niedrigere Kosten.
Regelung bis zu Drehzahl Null und Position Impulsgeber.	Leistungsfähigkeit eines Servoantriebs.	Kostengünstig, Hochleistungs-Drehmomentantrieb; Positionsregelung und verbesserte statische Genauigkeit. Hochpräzise Regelung mit Standard-AC-Motor.

Tabelle 2: Dynamik und Vorteile der DTC-Technik

Hat die DTC-Technik neben den hervorragenden dynamischen Werten noch weitere Vorteile?

Ja. Es gibt viele Vorteile. So brauchen DTC-Antriebe z.B. keinen Drehzahlmesser oder Impulsgeber zur Überwachung der Position und Drehzahl der Motorwelle, um die schnellste jemals von einem AC-Antrieb erreichte Drehmomentanregelzeit zu erreichen. Dies spart Investitionskosten.

MERKMAL	ERGEBNIS	VORTEIL
Schnelle Regelung der DC-wischenkreisspannung.	Durchlauf bei Netzausfall.	Antrieb löst nicht aus. Weniger Ausfallzeiten. Vermeidung von Prozessunterbrechungen. Weniger Ausschuss im kontinuierlichen Prozess.
Automatischer Start (direkter Wiederanlauf).	Start mit Restinduktanz des Motors. Keine Verzögerung des Wiederanlaufs erforderlich.	Start in einen laufenden Motor ohne Warten auf das Abklingen des Flusses möglich. Umschalten des Motors vom Netz auf den Antrieb möglich. Kein Neustart. Keine Unterbrechung.
Automatischer Start (fliegender Start).	Synchronisiert sich auf den drehenden Motor.	Keine Prozessunterbrechung. Stoßfreie Regelung der Maschine. Wiederaufnahme der Regelung in allen Situationen.
Flussbremsung.	Geregeltes Bremsen zwischen zwei Drehzahlpunkten.	Spart Investitionskosten. Bessere Prozessführung. Keine Verzögerung wie beim DC-Bremsen erforderlich. Kann zur Verzögerung auf eine Drehzahl ungleich Null verwendet werden. Bremschopper und -widerstand nicht unbedingt nötig.
Flussoptimierung.	Motorverluste minimiert. Geringeres Motorgeräusch.	Geregelter Motor.
Selbstidentifikation/Selbstabstimmung.	Abstimmen des Motors auf den Antrieb für Topleistung.	Leichtes und exaktes Einrichten. Keine Parameterabstimmung nötig. Schnelle Inbetriebnahme. Garantiertes Startmoment. Bei allen AC-Systemen leicht nachzurüsten.
Kein vorgegebenes Schalmuster für Leistungsgeräte.	Geräuscharm. Kein fester Träger, deshalb akzeptables Geräusch aufgrund des "weißen" Geräuschspektrums.	Kostenersparnis beim Lärmschutz empfindlicher Applikationen. Keine schädlichen mechanischen Resonanzen. Geringere Belastung von Getrieben, Lüftern, Pumpen.
Keine Begrenzung der maximalen Beschleunigungs- und Verzögerungsrate.	Kann schnellstmöglich ohne mech. Einschränkungen verzögern.	Bessere Prozessführung.

Tabelle 3: Merkmale und Vorteile der DTC-Technik für den Kunden

Ein DTC-Antrieb ist auch in der Lage, bei jedem elektromagnetischen oder mechanischen Zustand des Motors schnell zu starten. Der Motor kann sofort, ohne Verzögerung gestartet werden.

DTC-Antriebe sind für anspruchsvolle und Hochleistungs-Antriebsapplikationen am besten geeignet. Welche Vorteile bringt DTC für Standardantriebe?

Drehzahlgeregelte Antriebe kommen bei 70% aller Standardapplikationen in der Industrie zum Einsatz. Zwei der häufigsten Anwendungsfälle sind Lüfter und Pumpen in den Bereichen Heizung, Lüftung und Klimatisierung, Wasser, Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie.

Bei diesen Applikationen bietet DTC Lösungen bei Problemen mit der Oberwelligkeit und Lärmbelastung.

Zum Beispiel kann die DTC-Technik eine Regelungsmöglichkeit für die Rückspeisung auf der Einspeiseseite des Antriebs bieten, wo eine konventionelle Diodenbrücke durch eine geregelte Brücke ersetzt wird.

Hierdurch kann die Oberwelligkeit mit einer DTC-geregelten Einspeisebrücke deutlich reduziert werden. Die Verzerrung des Stroms bei einer DTC-geregelten Brücke ist geringer als bei einer konventionellen 6-Puls- oder 12-Puls-Ausführung und es wird ein Leistungsfaktor bis zu 0,99 erreicht.

In Standardapplikationen hält DTC sehr hohen und plötzlichen Lastmomenten, die von schnellen Prozessänderungen verursacht werden, problemlos ohne Über- oder Unterspannungsabschaltung stand.

Bei einem kurzzeitigen Ausfall der Einspeisespannung muss der Antrieb erregt bleiben. Die DC-Zwischenkreisspannung darf nicht unter den niedrigsten Wert für die Regelung von 80% fallen. Um dies zu gewährleisten, hat DTC einen Regelungszyklus von 25 Mikrosekunden.

Welche Wirkung hat DTC bei der Pumpenregelung?

DTC hat bei allen Arten von Pumpen seine Wirkung. Da DTC ein Universalantrieb ist, können nun alle Pumpen, ob Kreiselpumpen oder Pumpen mit Konstantmoment (Schaubepumpen) mit einer Antriebskonfiguration geregelt werden, wie es bei Lüftern und Förderern der Fall ist. Mit der DTC-Technik kann sich ein Antrieb selbst auf die sich ändernden Anforderungen der Applikation einstellen.

Beispielsweise kann sich ein Antrieb mit DTC-Technik bei Schraubenpumpen selbst auf das erforderliche Startmoment einstellen, um den Start zu gewährleisten.

Ein verbesserter Durchlauf bei Netzausfall verbessert die Verfügbarkeit der Pumpen bei kurzzeitigem Spannungsausfall.

Die Drehmomentregelung der DTC-Technik ermöglicht eine Begrenzung des Drehmoments, um eine mechanische Belastung der Pumpen und Leitungen zu vermeiden.

Welchen Einfluss hat die DTC-Technik auf die Einsparung von Energie?

Die Motorflussoptimierung der DTC trägt zur Energieersparnis bei.

Hierdurch wird die Effizienz des gesamten Antriebs (d.h. Regler und Motor) bei Lüfter- und Pumpenapplikationen erheblich verbessert.

Bei einer Last von 25% beispielsweise ergibt sich eine Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz von bis zu 10%. Bei einer Last von 50% ist eine Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz von 2% möglich.

Dies wirkt sich direkt auf die Betriebskosten aus. Außerdem werden Motorgeräusche erheblich reduziert verglichen mit dem Geräusch, das durch die Schaltheufigkeit eines herkömmlichen PWM-Antriebs entsteht.

Wurde die DTC-Technik bisher in vielen Anlagen eingesetzt?

Ja. Es gibt hunderttausende von Anlagen. Einer der weltgrößten Rotationsmaschinenhersteller beispielsweise hat bei einer Wickelmaschine für die Abschlussbearbeitung von Folien die DTC-Technik getestet.

Die Anforderung:

Exakte Drehmomentregelung in der Wickelmaschine zur Herstellung hochwertiger Rollenfolien.

Die Lösung:

DTC-Antriebe ohne Signalrückführung haben die traditionellen DC-Antriebe und die AC-Antriebe mit Flussvektorregelung an den Achsantrieben in der Umspulstation ersetzt.

Betrieb

Die Vorteile:

Die Konstruktion der Wickelstation konnte vereinfacht und die Zuverlässigkeit verbessert werden. Die Kosten für einen Drehzahlmesser und die dazugehörige Verdrahtung entsprechen denen eines 30kW AC-Motors. Hieraus ergibt sich ein wesentliches Einsparpotential bei den Investitionskosten.

Worin liegt der Unterschied zwischen DTC und den bisherigen PWM-Verfahren?

• Frequenzregelung PWM und Flussvektor PWM

Herkömmliche PWM-Antriebe verwenden die **Ausgangsspannung** und die **Ausgangsfrequenz** als primäre Regelgrößen. Diese müssen jedoch vor der Eingabe in den Motor mit der Pulweitenmodulation aufbereitet werden.

Durch diese Modulatorstufe wird die Signalverarbeitungszeit verlängert und begrenzt die Drehmoment- und Drehzahlregelzeit des PWM-Antriebs.

Typischerweise benötigt ein PWM-Modulator für die Reaktion auf eine Änderung zehnmal mehr Zeit als DTC.

• DTC-Regelung

Durch DTC können das **Drehmoment** und der **Statorfluss** des Motors als primäre Regelgrößen verwendet werden, beide stammen direkt vom Motor. Deshalb besteht bei DTC keine Notwendigkeit für einen separaten spannungs- und frequenzgeregelten PWM-Modulator. Ein weiterer großer Vorteil des DTC-Antriebs ist, dass bei 95 % aller Antriebsapplikationen keine Rückmeldeeinrichtung erforderlich ist.

Warum benötigt DTC keinen Drehzahlmesser und keinen Positionsgeber, um jederzeit präzise die Position der Motorwelle zu kennen?

Hierfür gibt es im wesentlichen vier Gründe:

- Die Genauigkeit des Motormodells (siehe Seite 27).
- Die Regelgrößen kommen direkt vom Motor (siehe Seite 27).
- Die hohen Verarbeitungsgeschwindigkeiten der DSP- und Optimum Pulse Selector-Hardware (siehe Seite 28).
- Kein Modulator erforderlich (siehe Seite 12).

Wenn die obengenannten Merkmale in einem DTC-Antrieb realisiert werden, entsteht ein Antrieb, der in der Lage ist, 40.000 Mal pro Sekunde die ideale Schaltspannung zu errechnen. Er ist schnell genug, um einzelne Schaltimpulse zu regeln. Ganz einfach, dies ist die höchste jemals erreichte Geschwindigkeit.

Alle 25 Mikrosekunden erhalten die Halbleiter des Wechsrichters ein optimales Schaltmuster, um das erforderliche Drehmoment zu erzeugen. Diese Aktualisierungsrate liegt deutlich unter allen Zeitkonstanten des Motors. Somit ist nun der Motor die begrenzende Komponente und nicht der Wechselrichter.

Worin besteht der Unterschied zwischen DTC und anderen geberlosen Antrieben auf dem Markt?

Zwischen DTC und vielen anderen geberlosen Antrieben bestehen extreme Unterschiede. Der Hauptunterschied liegt darin, dass DTC selbst bei niederen Drehzahlen und bis auf Drehzahl Null ohne Impulsrückführung eine exakte Regelung ermöglicht. Bei niedrigen Frequenzen kann ein Nenndrehmomentsprung in weniger als 1 ms erfolgen. Dies ist der beste Wert von allen.

Wie erreicht ein DTC-Antrieb die Leistung eines Servoantriebs?

Das ist ganz einfach. Der Motor ist nun die Grenze für die Leistung und nicht der Antrieb selbst. Eine für einen Servoantrieb typische dynamische Drehzahlgenauigkeit ist 0,1%. Ein DTC-Antrieb kann diese dynamische Genauigkeit mit der optionalen Drehzahlrückmeldung vom Drehzahlmesser erreichen.

Wie erreicht DTC diese elementaren Verbesserungen gegenüber der bisherigen Technik?

Der deutlichste Unterschied liegt in der sehr hohen Geschwindigkeit, mit der DTC arbeitet. Wie bereits erwähnt, bietet DTC die schnellste Drehmomentanregelzeit überhaupt.

Um einen schnellen Drehmomentregelkreis zu realisieren, hat ABB die modernste Hochgeschwindigkeits-Signalverarbeitungstechnik eingesetzt und 100 Mannjahre für die Entwicklung des innovativen Motormodells aufgewendet, das exakt die tatsächlichen Motorparameter im Regler simuliert.

Für ein tiefer gehendes Verständnis der DTC-Regelungstheorie, siehe Seite 26.

Wird bei einem DTC-Antrieb innerhalb des Regelkreises eine Fuzzy Logic verwendet?

Nein. Bei bestimmten Antrieben wird eine Fuzzy Logic verwendet, um den Beschleunigungsstrom innerhalb der Stromgrenzwerte zu halten und damit eine unnötige Auslösung des Antriebs zu verhindern. Da DTC das Drehmoment direkt regelt, kann der Strom unter allen Betriebsbedingungen innerhalb dieser Grenzen gehalten werden.

Von einem Antrieb mit DTC-Technik sagt man, dass er auslöschungsfrei ist. Wie wird das erreicht?

Viele Hersteller haben Jahre darauf verwandt, Auslösungen während der Beschleunigungs- und Verzögerungsphase zu vermeiden. Das hat sich als äußerst schwierig erwiesen. DTC erreicht einen auslöschungsfreien Betrieb durch die Regelung des Ist-Motormoments.

Die Drehzahl und Genauigkeit eines Antriebs, der sich auf errechnete anstatt auf gemessene Regelparameter verlässt, kann niemals realistisch sein. Wenn nicht auch die Welle berücksichtigt wird, ergibt sich kein vollständiges Bild. Gilt dies auch bei DTC?

DTC kennt das vollständige Bild. Wie bereits erklärt, weiß ein DTC-Antrieb dank des detaillierten Motormodells und der Fähigkeit, 40.000 Berechnungen pro Sekunde durchzuführen, genau, was die Motorwelle macht. Über den Zustand des Motors gibt es niemals einen Zweifel. Dies spiegelt sich in der außergewöhnlich starken Reaktion des Drehmoments und den Angaben über die Drehzahlgenauigkeit (Seite 16 und 17) wider.

Im Gegensatz zu den herkömmlichen AC-Antrieben, bei denen bis zu 30% aller Schaltvorgänge überflüssig sind, kennt ein Antrieb mit DTC-Technik exakt die Position der Welle und vermeidet so unnötige Schaltvorgänge.

DTC ist für 95% aller industriellen Applikationen geeignet. Eine Ausnahme bilden hauptsächlich jene Applikationen, bei denen eine extrem genaue Drehzahlregelung erforderlich ist. In solchen Fällen wird eine Rückmeldeeinrichtung eingesetzt, um eine Signalarückführung zu erhalten. Dieses Gerät kann jedoch einfacher sein als die bei den konventionellen Antrieben mit Signalarückführung verwendeten Geber.

Auch bei den schnellsten Halbleitern entsteht eine gewisse Totzeit. Wie exakt ist deshalb die Selbstabstimmung eines DTC-Antriebs?

Die Selbstabstimmung wird beim ersten Identifikationslauf eines DTC-Antriebs verwendet (siehe Seite 27). Die Totzeit wird gemessen und vom Motormodell bei der Berechnung des Istflusses berücksichtigt. Im Vergleich zu einem PWM-Antrieb liegt das Problem bei der PWM im Bereich von 20-30 Hz, in dem sich eine Welligkeit des Drehmoments ergibt.

Wie stabil ist ein DTC-Antrieb bei geringeren Lasten und niedrigen Drehzahlen?

Die Stabilität bis zur Drehzahl Null ist gut und sowohl die Drehmoment- als auch die Drehzahlgenauigkeit kann bei sehr niedrigen Drehzahlen und geringen Lasten erhalten werden. Die jeweilige Genauigkeit ist, wie folgt, definiert:

Drehmomentgenauigkeit: Innerhalb des Drehzahlbereichs 2-100% und eines Lastbereichs von 10-100% beträgt die Drehmomentgenauigkeit 2%.

Drehzahlgenauigkeit: Innerhalb eines Drehzahlbereichs von 2-100% und eines Lastbereichs von 10-100% beträgt die Drehzahlgenauigkeit 10% des Motorschlupfes. Der Schlupf eines 37kW Motors beträgt ca. 2%, das ergibt eine Drehzahlgenauigkeit von 0,2%.

Wo liegen die Grenzen der DTC?

Wenn mehrere Motoren in einem DTC-geregelten Wechselrichter parallel geschaltet sind, arbeitet diese Anordnung wie ein großer Motor. Es gibt keine Angaben über den Status eines einzelnen Motors. Falls die Anzahl der Motoren schwankt oder die Motorleistung unter 1/8 der Nennleistung bleibt, sollte das Skalarregelungsmakro vorgezogen werden.

Eignet sich DTC für jeden Typ von Induktionsmotor?

Ja. Für jeden Typ von Käfigläufer-Asynchronmotoren.

Kapitel 4 - Theoretische Grundlagen der DTC

Wie funktioniert die DTC

In Bild 5 wird das vollständige Blockschaltbild für die Direkte Drehmomentregelung (DTC) dargestellt.

Gehen Sie die einzelnen Blöcke durch.

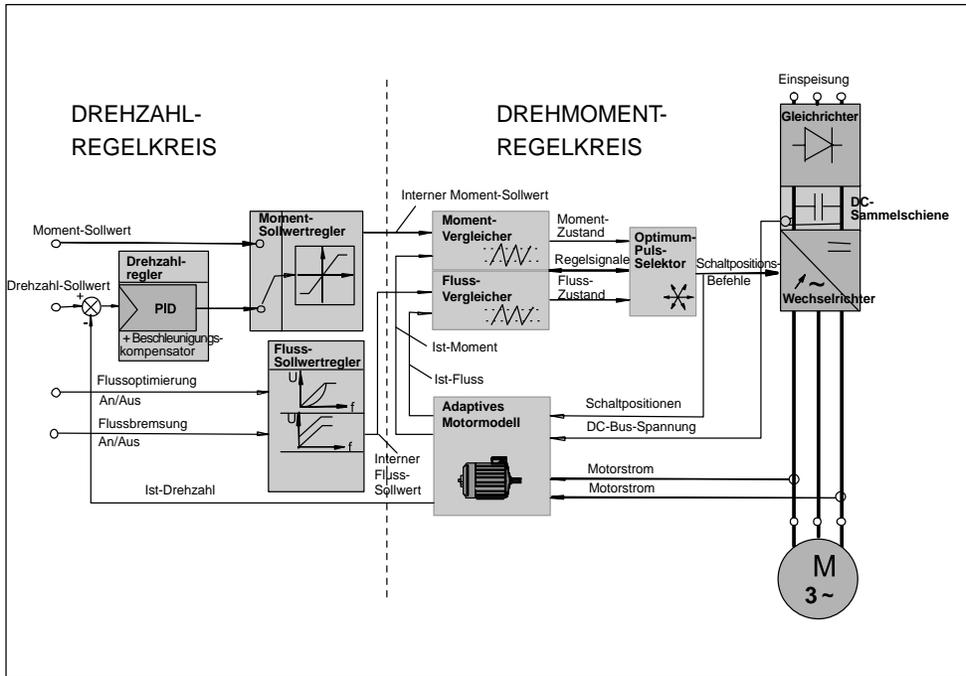
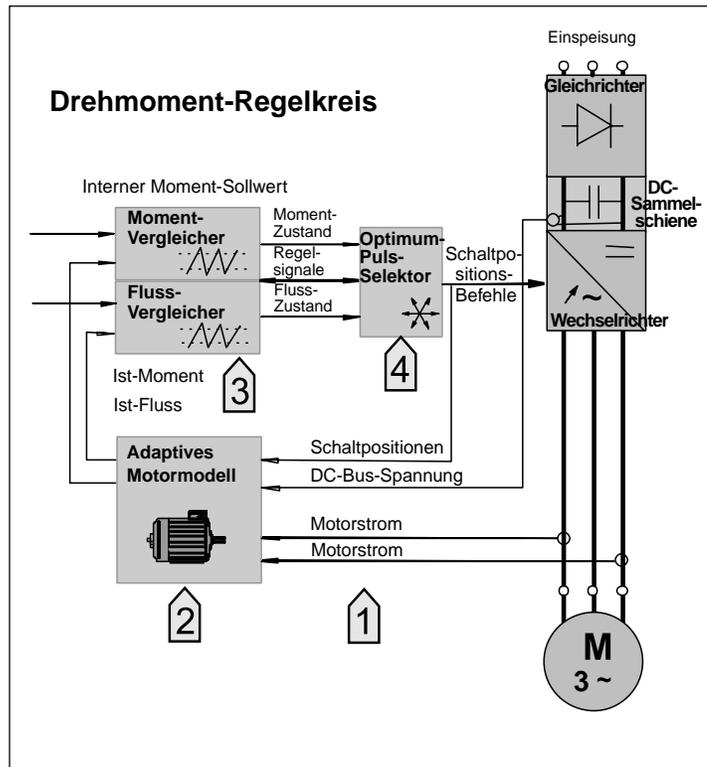


Bild 5: DTC umfasst zwei zentrale Blöcke: die Drehzahlregelung und die Drehmomentregelung

Das Blockschaltbild verdeutlicht, dass DTC zwei wesentliche Abschnitte umfasst: den Drehmomentregelkreis und den Drehzahlregelkreis. Schauen Sie sich diese Blöcke nun an, lernen Sie die einzelnen Stufen kennen und sehen Sie, wie diese ineinander greifen.

Beginnen wir mit dem Drehmomentregelkreis der DTC.

Drehmomentregelkreis



Schritt 1 Messen von Spannung und Strom

Beim Normalbetrieb werden die Phasenströme des Motors und die Spannung der DC-Sammelschiene einfach zusammen mit der Schaltstellung des Wechselrichters gemessen.

Schritt 2 Adaptives Motormodell

Die am Motor gemessenen Daten werden in das adaptive Motormodell eingegeben.

Dieses komplexe Motormodell liefert präzise Daten über den zu berechnenden Motor. Vor dem Betrieb des DTC-Antriebs werden in das Motormodell Daten über den Motor eingegeben, die beim Identifikationslauf des Motors erfasst wurden. Dieser Vorgang nennt sich **Selbstabstimmung** und Daten, wie Statorwiderstand, die Koeffizienten für gegenseitige Induktanz und Sättigung werden zusammen mit der Trägheit des Motors bestimmt. Die Identifikation der Motormodell-Parameter kann ohne drehende Welle erfolgen. Dadurch kann die DTC-Technik auch gut bei Nachrüstungen eingesetzt werden. Die extreme Feinabstimmung des Motormodells wird dann erreicht, wenn beim Identifikationslauf für einige Sekunden auch die Motorwelle dreht.

Bei einer statischen Drehzahlgenauigkeit von mehr als 0,5%, wie sie bei den meisten industriellen Applikationen vorliegt, besteht keine Notwendigkeit für eine Rückführung der Drehzahl oder der Position durch Drehzahlmesser oder

Impulsgeber. Dies ist ein deutlicher Fortschritt gegenüber anderen AC-Antriebstechniken. Das Motormodell ist der Schlüssel zu der hervorragenden Leistung der DTC bei niederen Drehzahlen.

Das Motormodell gibt Regelsignale aus, die direkt das Istmoment des Motors und den Ist-Flus des Stators wiedergeben. Darüber hinaus wird die Wellendrehzahl im Motormodell errechnet.

Schritt 3
Drehmoment-
vergleich und
Flussvergleich

Die Angaben zur Ansteuerung der Leistungsschalter werden im Drehmoment- und Flussvergleich ermittelt.

Sowohl das Ist-Moment als auch der Ist-Fluss werden in die Vergleichler eingegeben und dort alle 25 Mikrosekunden mit dem Drehmoment- und dem Fluss-Sollwert verglichen. Die Statussignale für Drehmoment und Fluss werden nach einem zweistufigen Verfahren für die Hystereseregulung berechnet.

Diese Signale werden dann in die optimale Impulsvorwahl (optimum pulse selector) eingegeben.

Schritt 4 Optimale
Impulsvorwahl

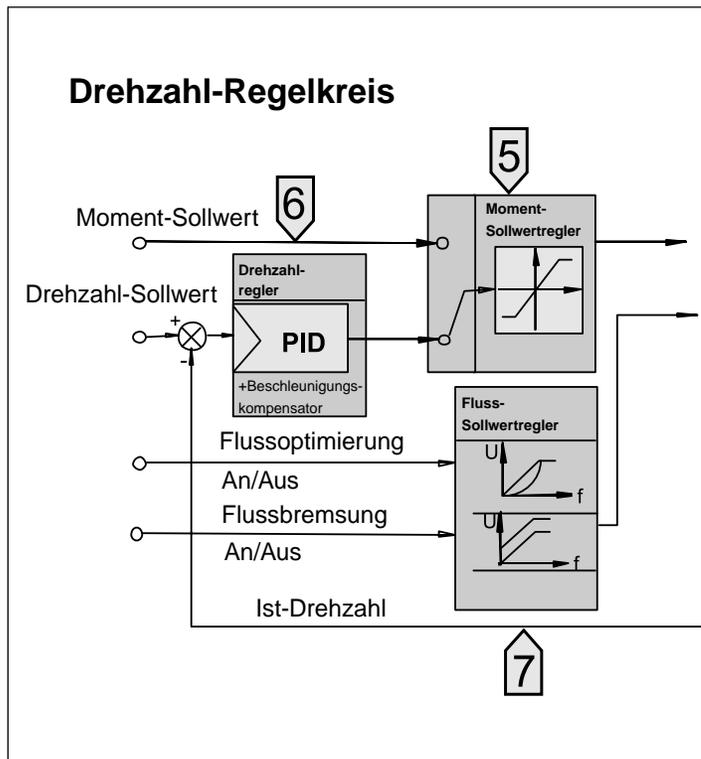
In der optimalen Impulsvorwahl sollen der neueste 40MHz Digitalsignalprozessor (DSP) und die ASIC-Hardware die Schaltungslogik bestimmen. Außerdem werden alle Regelsignale wegen der hohen Übertragungsgeschwindigkeit über LWL-Verbindungen übertragen.

Diese Konfiguration bewirkt eine enorme Verarbeitungsgeschwindigkeit, so dass alle 25 Mikroskunden die Halbleiter-Schaltelinrichtungen des Wechselrichters einen optimalen Impuls zum Erreichen oder Erhalten eines exakten Motor-moments erhalten.

Die korrekte Schaltkombination wird in jedem Regelzyklus bestimmt. Es gibt kein vorbestimmtes Schaltmuster. DTC wurde als "just-in-time"-Schaltung bezeichnet, im Gegensatz zu PWM-Antrieben, bei denen bis zu 30% aller Schaltvorgänge überflüssig sind. Bei DTC wird jeder Schaltvorgang benötigt und verwendet.

Diese hohe Schaltgeschwindigkeit ist entscheidend für den Erfolg von DTC. Die für die Motorregelung wesentlichen Parameter werden 40.000 Mal pro Sekunde aktualisiert. Hierdurch ist eine extrem schnelle Reaktion an der Welle möglich und ist auch notwendig, damit das Motormodell (siehe Schritt 2) diese Information aktualisieren kann.

Die Verarbeitungsgeschwindigkeit ermöglicht diese hohen Leistungswerte einschließlich einer statischen Drehzahlgenauigkeit von $\pm 0,5\%$ ohne Impulsgeber und einer Drehmomentanregelzeit von weniger als 2ms.

Drehzahlregelung

Schritt 5
Drehmoment-
sollwert- Regler

Im Drehmomentsollwert-Regler wird der Drehzahlregelungs-
 ausgang durch die Drehmoment-Grenzwerte und die DC-
 Sammelschienenspannung begrenzt.

Dazu gehört auch die Drehzahlregelung in Fällen, in denen
 ein externes Drehmomentsignal verwendet wird. Der interne
 Drehmoment-Sollwert aus diesem Block geht in den
 Drehmomentvergleicher ein.

Schritt 6
Drehzahlregler

Der Drehzahlregler-Block besteht aus einem PID-Regler und
 einem Beschleunigungskompensator. Das externe
 Drehzahlsollwertsignal wird mit der vom Motormodell erzeugten
 Ist Drehzahl verglichen. Das Fehlersignal wird dann sowohl an
 den PID-Regler als auch den Beschleunigungskompensator
 übertragen. Das Ausgangssignal ist die Summe beider
 Ausgänge.

Schritt 7
Fluss-Sollwert-
Regler

Ein Absolutwert für den Statorfluss kann vom Fluss-Sollwert-
 Regler an den Fluss-Vergleicher-Block weitergegeben werden.
 Die Regelung und Änderung dieses Wertes ist ein einfacher
 Weg, viele Wechslerichterfunktionen wie Fluxoptimierung und
 Flussbremsung zu realisieren (siehe Seite 19).

Kapitel 5 - Index

A

AC-Antrieb 1, 5,6,8,9,10,
12,13,14,15,16,17,18,19,24,28

AC-Antrieb mit
Flussvektorregelung 10
AC-Antrieb mit DTC 12,13
AC-Induktionsmotor 11
AC-Motor 5,6,13,18
Ankerstrom 7
ASIC 28

B

Blaschke 16

D

DC-Antrieb 7, 8, 9,10,12,13,
14,18
DC-Motor 6, 7, 8,11,15
DC-Motor-Antrieb 6
DC-Zwischenkreisspannung
19,20
Depenbrock 16
Direkte Drehmomentregelung
1,5,6,15
Drehmoment 7,10,16,17,18,
25, 27, 28, 29
- Anregelzeit 18
- Regelung 7,10
- Wiederholbarkeit 18
Drehmomentvergleich 28
Drehzahl 6,11,17, 25, 26, 29
Drehzahlgenauigkeit 25
DSP 22, 28
DTC 5,6,12,13,14,15,16,17,
18,19, 20, 21, 22, 23, 24, 25,
26, 27, 28
Dynamische
Drehzahlgenauigkeit 12,17,
18, 23

E

elektronischer Regler 14
externer Drehzahlsollwert 29

F

Feldorientierung 7, 8
Flussbremsung 19
Flussoptimierung 19, 29
Flussvektor 6, 11, 22
Flussvektorregelung 6, 11

Flussvergleich 28
Frequenzregelung 22
Fuzzy Logic 24

K

Kosten 19

M

Modulator 10
Motormodell 10, 22, 23, 27, 28

O

OEMs 5

P

PID-Regler 29
Pumpe 20
PWM 6, 9, 10, 11, 14, 15,
17, 21, 22, 25, 28
PWM-AC-Antrieb 11, 14,
21, 22, 25, 28

R

Regelkreis 7, 9, 10, 13, 22, 27

S

Selbstabstimmung 19
Servoantrieb 18,23
Spannung 27
Start 19
statische Motordrehzahl 17
Stator 10

U

universal 12

V

VSD 5, 6



ABB Automation Products

Standard Drives

Dudenstrasse 44 - 46

D-68309 Mannheim

DEUTSCHLAND

Hotline Vertrieb 0180-33 22 400

Telefax 0621-381 1777

Internet <http://www.abb.de/automation>



Copyright©ABB Automation Group Ltd, 2000 3BFE 6431 4670 R0103 Änderungen ohne Vorankündigung vorbehalten.
DE 23.3.2000