

Funktion der Drehzahlregelung mit Frequenzumrichtern

Prozesse optimieren - Energiekosten sparen

Michael Burghardt, Produktmanager



Elektronische Drehzahlregelungen erobern immer mehr die Welt der Produktionsanlagen und der Gebäudeautomatisierung. Kaum ein Bereich, der nicht über Frequenzumrichter versucht, seine Produktionsprozesse zu optimieren und – mit Blick auf die steigenden Energiekosten und die Umweltdebatte – seine Anlagen so energieeffizient wie möglich zu betreiben. Doch wie arbeitet ein Frequenzumrichter?

◀ *Moderne Frequenzumrichter im Leistungsbereich von 0,18 bis 1200 kW (Werkfoto: Danfoss VLT®)*

PRINZIPELLER AUFBAU

Seit Einführung serienreifer Produkte vor 40 Jahren hat sich der prinzipielle Aufbau ebenso wenig verändert wie seine primäre Aufgabe: Die Regelung der Drehzahl eines Drehstromasynchronmotors, Abb.1.

Zwischen der Frequenz des speisenden Netzes und der Drehzahl des angeschlossenen Asynchronmotors besteht ein direkter Zusammenhang. Die Idee ist nun, die Frequenz der Speisung zu variieren und damit die Drehzahl des Motors zu regeln. Damit eine solche Regelung funktionieren kann, muss der Frequenzumrichter neben der Frequenz auch die Höhe der Ausgangsspannung anpassen. Soll beispielsweise

ein Motor, der für 400V/50Hz ausgelegt ist, mit 25 Hz betrieben werden, senkt er auch die Spannung auf die Hälfte ab. Bei Geräten, die dieses sogenannte U/f-Verhältnis konstant halten, sprechen Fachleute von spannungsgeführten Umrichtern. Demgegenüber halten sog. stromgeführte Umrichter im größeren Megawattbereich das Strom-Frequenz-Verhältnis (I/f) konstant. Bis in den unteren Megawattbereich hinein sind heute spannungsgeführte Varianten Stand der Technik.

Der Gleichrichter übernimmt die Aufgabe, aus der Wechselspannung, im europäischen Raum meist mit einer Frequenz von 50 Hertz, eine Gleichspannung zu generieren. Der sich daran anschließende Zwischenkreis stabilisiert und glättet die

Frequenzumrichter haben einen großen Einfluss auf die moderne Antriebstechnik. Nicht zuletzt waren sie es, die die kostengünstigen, robusten und wartungsarmen Drehstromasynchronmaschinen zum Standardmotor in vielen Anwendungen machten. Und elektronische Drehzahlsteuerung machte an vielen Stellen eine Prozessoptimierung, die Steigerung der Produktqualität und eine bessere Auslastung der Produktionslinien überhaupt erst möglich. Die Miniaturisierung in der Elektronik half, kompaktere Anlagen zu bauen und eine Vielzahl neuer Funktionen im Sicherheits- und Steuerungsbereich bereitzustellen.

Im Augenblick zählen moderne Frequenzumrichter zu den effektivsten Mitteln, um für die in der Diskussion um Klimawandel und Erderwärmung geforderte Energieeinsparung zu sorgen.

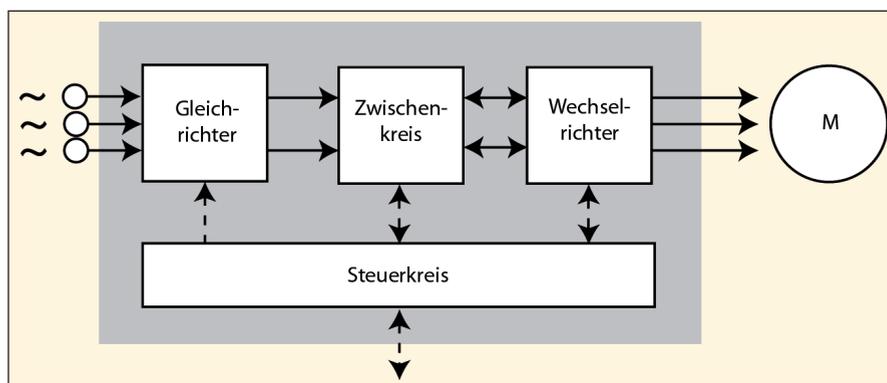


Abb.1: Prinzipdiagramm eines modernen Frequenzumrichters

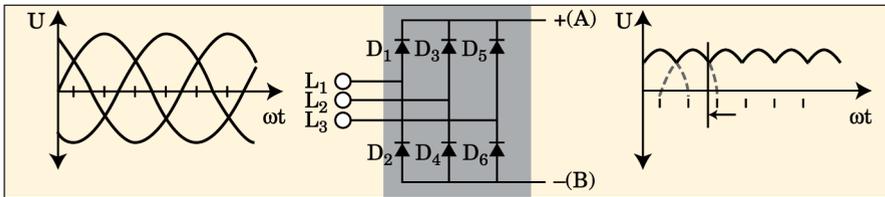


Abb.2: Aufbau und Wirkungsweise des ungesteuerten B6-Gleichrichters

Gleichspannung. In der Anfangszeit der Umrichter wurde zusätzlich die Amplitude der Zwischenkreisspannung variiert. Seit Anfang der 90er Jahre kommen fast ausschließlich Geräte mit konstanter Amplitude zum Einsatz. Für die notwendige Ausgangsfrequenz sorgt dann auf der Motorseite der Wechselrichter. Er erzeugt in Abhängigkeit von der geforderten Motordrehzahl das benötigte Spannungs-/Frequenzverhältnis.

Über all diesen Baugruppen sitzt die Steuerkarte, die über Feldbuschnittstelle oder Steuerklemmen die Vorgabe oder notwendige Informationen zur Berechnung der zu erzeugenden Drehzahl erhält. Daneben überwacht die Steuerkarte kritische Parameter und die Funktion der einzelnen Baugruppen, um im Fehlerfall eine entsprechende Warnmeldung auszugeben und den Frequenzumrichter vor einer vollständigen Zerstörung zu schützen.

GLEICHRICHTER

Die Versorgungsspannung ist eine Dreiphasen-Wechselspannung oder eine einphasige Wechselspannung mit fester Frequenz (z.B. 3 x 400 V/50 Hz oder 1x 240 V/50 Hz). Der Gleichrichter des Frequenzumrichters besteht entweder aus Dioden, Thyristoren oder einer Kombination dieser Halbleiter.

Daher unterscheiden Fachleute zwischen ungesteuerten, halbgesteuerten oder vollgesteuerten Gleichrichtern. Im kleineren Leistungsbereich kommen vor allem die ungesteuerten Typen zum Einsatz. Mit steigender Leistung (ab ca. 100A) wechselt zum Schutz der Zwischenkreiskondensatoren die Technik zu halbgesteuerten Gleichrichtern.

Wie bei einem Dimmer fahren sie die Ladespannung der Kondensatoren langsam hoch und begrenzen so den Ladestrom. Sollen Umrichter bei einem Generatorbetrieb des Motors Energie zurück ins

Netz speisen können, sind vollgesteuerte Gleichrichter notwendig. Der ungesteuerte B2-Gleichrichter wandelt mittels Diodenschaltung eine Wechselspannung in eine pulsierende Gleichspannung. Auch bei einer Dreiphasen-Wechselspannung resultiert aus der Gleichrichtung eine pulsierende Gleichspannung. Abb.2 zeigt den ungesteuerten B6-Dreiphasen-Gleichrichter, bestehend aus zwei Diodengruppen. Die eine Gruppe besteht aus den Dioden D₁, D₃ und D₅, die andere aus D₂, D₄ und D₆. Jede Diode leitet 1/3 der Periodenzeit (120°). In beiden Gruppen lösen sie sich wechselweise ab. Perioden, in denen beide Gruppen leiten, sind zeitmäßig um 1/6 der Periodenzeit T (60°) zueinander verschoben.

Die Diodengruppe D_{1,3,5} leitet die positive Spannung. Wenn diese in Phase L₁ den positiven Scheitelwert erreicht, nimmt die Klemme A den Wert von Phase L₁ an. Über den beiden anderen Dioden liegen Sperrspannungen der Größen U_{L1,2} und U_{L2,3}. Entsprechendes gilt für Diodengruppe D_{2,4,6}. Hier nimmt Klemme B die negative Spannung der Phasen an. Wenn zu einem Zeitpunkt L₃ den negativen Scheitelwert erreicht, leitet die Diode D₆. An den beiden anderen Dioden liegen Sperrspannungen

DER GLEICHSPANNUNGS-ZWISCHENKREIS MIT KONSTANTER AMPLITUDE

Die Aufgabe des Zwischenkreises liegt in der Glättung der Gleichspannung und dem Ausgleich von Laststößen, so bei Anlauf oder plötzlicher Laständerung. Der Zwischenkreis dient daher als eine Art Speicher, aus dem der Motor über den Wechselrichter seine Energie holen kann. Moderne Frequenzumrichter arbeiten mit einem Gleichspannungszwischenkreis mit konstanter Amplitude. Als Energiespeicher nutzen sie in der Regel Elektrolytkondensatoren, die gleichzeitig die pulsierende Gleichspannung glätten, Abb.3.

In der Praxis lassen sich im Leerlauf des Umrichters typischerweise Zwischenkreisspannungen von ca. $\sqrt{2}$ x Netzspannung messen. Bei belastetem Motor sinkt die Spannung ab, bei generatorischem Betrieb speist er elektrische Energie in den Zwischenkreis zurück, die Spannung steigt an. Erreicht die Zwischenkreisspannung einen kritischen Wert, schaltet der Umrichter den Motor frei und verhindert so seine Zerstörung. Im Gegensatz zu einer rein ohmschen Last ist der Aufnahme Strom durch die kapazitive Glättung der Spannung nicht sinusförmig. Dies erzeugt sogenannte Netzurückwirkungen. Bei einem Drehstromnetz liegen diese Störungen in einem Frequenzbereich bis zu ca. 2 kHz. Als Gegenmaßnahme kommen z.B. Drosseln zum Einsatz. Bei Umrichtern können diese vor das Gerät oder direkt in den Zwischenkreis geschaltet werden. Weiterer

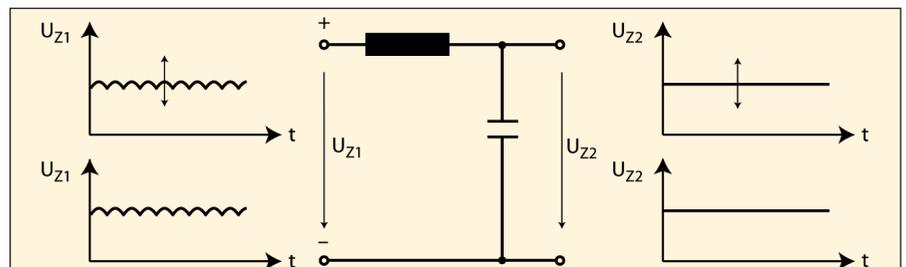


Abb.3: Konstanter Gleichspannungszwischenkreis

der Größen U_{L3,1} und U_{L3,2}. Die Ausgangsspannung des ungesteuerten Gleichrichters hat die Differenz der Spannungen der beiden Diodengruppen. Der Mittelwert der pulsierenden Gleichspannung ist 1,35 x Netzspannung.

Vorteil von Drosseln im Zwischenkreis: Sie glätten den Ladestrom des Kondensators und verlängern dadurch seine Lebensdauer, Abb.4.

Zur Optimierung der Netzurückwirkungen reduzieren einige Hersteller die Kapazität



Abb.4: Eingebaute Drosseln reduzieren die Netzrückwirkungen und schützen die Kondensatorarten des Zwischenkreises

der Zwischenkreis-Kondensatoren oder verzichten ganz auf sie. Dies eliminiert die netzseitigen Störungen nicht, sondern verschiebt sie nur in andere Frequenzbereiche (bis ca. 10kHz), die durch die derzeitigen Normen nicht betroffen sind. Durch die verringerte bzw. fehlende Glättung der Gleichspannung entstehen aber Probleme. So steht nur eine reduzierte Motorspannung am Ausgang der Geräte zur Verfügung, was beim Voll-Lastbetrieb des Motors zu höheren Strömen für dieselbe Leistung führt. Eine größere Motorerwärmung ist die Folge.

DER WECHSELRICHTER – FREQUENZ OPTIMAL ANPASSEN

Der Wechselrichter ist das letzte Glied im Frequenzumrichter vor dem Motor. Hier erfolgt die Anpassung der Ausgangsspannung und der Ausgangsfrequenz. Dem Wechselrichter fällt die Aufgabe zu, die gleichgerichtete Netzspannung wieder in eine Wechselgröße zur Versorgung des Motors zu wandeln. Mit anderen Worten, der Wechselrichter muss die Frequenz der Motorspannung und die Spannungshöhe erzeugen.

Beim Anschluss des Motors direkt an das Versorgungsnetz entstehen ideale Betriebsverhältnisse im Nennbetriebspunkt. Der Frequenzumrichter garantiert dagegen gute Betriebsbedingungen im gesamten Regelbereich durch die Anpassung

der Ausgangsspannung und -frequenz an die aktuellen Belastungsbedingungen. Die kontinuierliche Regelung des U/f-Verhältnisses macht es möglich, den Motor immer optimal zu magnetisieren.

Die Hauptkomponenten des Wechselrichters sind sechs IGBTs (früher Thyristoren oder Transistoren), die paarweise auf drei Zweigen angeordnet sind. Unabhängig vom eingesetzten Halbleitertyp ist die Funktion im Prinzip gleich. Die Halbleiter des Wechselrichters leiten und sperren die gleichgerichtete Zwischenkreisspannung je nach Ansteuerung von der Steuerkarte.

In den Anfangszeiten nutzte der Umrichter zur Bildung einer sinusförmigen Motorspannung einzelne Spannungsimpulse unterschiedlicher Amplitude. Diese Puls-Amplituden-Modulation genannten Verfahren benötigte eine variable Zwischenkreisspannung. Heute arbeiten Wechselrichter fast ausschließlich mit einer festen Zwischenkreisspannung.

Sie variieren die Motorspannung dadurch, dass die Zwischenkreisspannung über längere oder kürzere Zeit auf die Motorwicklungen gelegt wird. Gleichzeitig verändern sie die Frequenz, indem sie die Spannungspulse der einen Halbperiode positiv und der anderen negativ in der Zeitachse kombinieren. Dieses Prinzip ändert somit die Breite der Spannungspulse und wird daher als „Puls-Weiten-Modulation“ (PWM) bezeichnet, Abb.5. Zur Berechnung der optimalen Schaltpunkte sind verschiedene Steuerverfahren im Einsatz, die sich in der Qualität der erreichbaren Motorkontrolle unterscheiden. Je besser die Kontrolle über den Motor, desto größer ist der Rechenaufwand im Prozessor. Sehr einfache Verfahren sind beispielsweise nicht in der Lage, die volle Motorspannung zu erzeugen. Auch hier ist eine größere Motorerwärmung die Folge. Komplexere Steuerverfahren ermöglichen das Erreichen der vollen Motorspannung. Stark vereinfacht unterteilen Fachleute sie in ein Spannungsvektor- und Stromvektor-

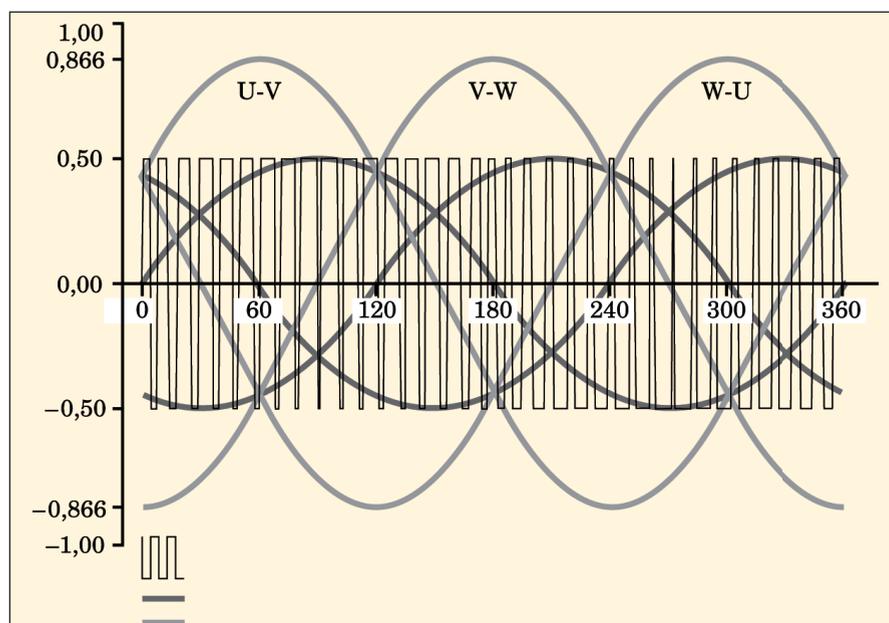


Abb.5: Ausgangsspannung bei sinusgesteuerter Puls-Weiten-Modulation

verfahren. Das Spannungsvektorverfahren verwendet den Verlauf der Spannung in der Statorwicklung, das Stromvektorverfahren den Verlauf des Stroms im Rotor als Berechnungsgrundlage, Abb. 6.

ABSOLUTE KONTROLLE – STEUERKARTE SORGT FÜR ZUVERLÄSSIGEN BETRIEB

Die Steuerkarte ist der vierte Hauptblock im Frequenzumrichter. Er hat folgende Hauptaufgaben:

- ▶ Steuerung der Halbleiter des Frequenzumrichters
- ▶ Datenaustausch zwischen Frequenzumrichter und Peripherie
- ▶ Störmeldungen erfassen und anzeigen
- ▶ Ausführung von Schutzfunktionen für Frequenzumrichter und Motor

Mit leistungsfähigeren Prozessoren übernimmt der Umrichter mehr Funktionen, von integrierten PID-Reglern (proportional-integral-derivative) über Energiesparfunktionen bis hin zu SPS-Funktionalitäten (speicherprogrammierbare Steuerung). Die Hautaufgabe der Steuerkarte ist und bleibt die Ansteuerung des Motors. Bei Danfoss ist in allen Geräten das auf dem Spannungsvektor beruhende VVC+ Verfahren (englisch: voltage vector control) verfügbar. VVC+ steuert Amplitude und Frequenz des Spannungsvektors mit Last-

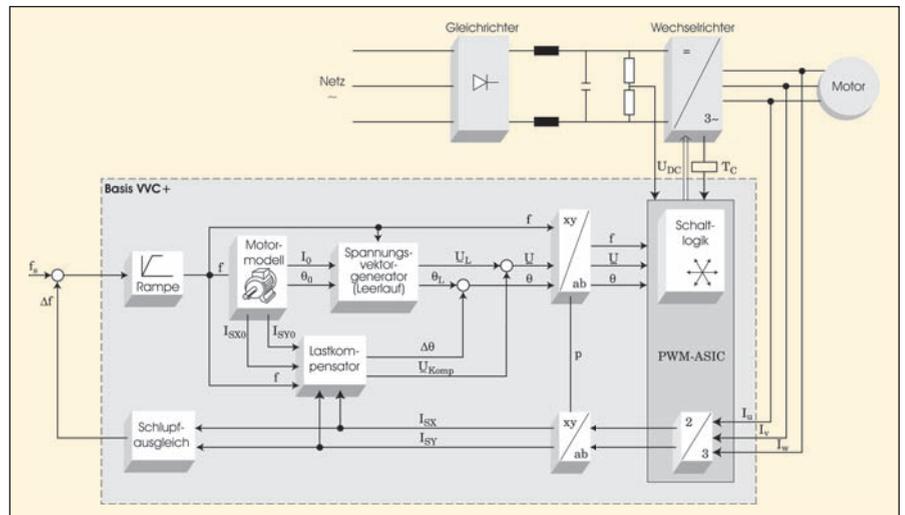


Abb.6: Basis der VVC+-Steuerung

und Schlupfkompensation. Der Winkel des Spannungsvektors wird in Abhängigkeit der eingestellten Motorfrequenz (Sollwert) sowie der Taktfrequenz festgelegt. Einige Eigenschaften dieses Verfahrens:

- ▶ Volle Motornennspannung bei Motornennfrequenz
- ▶ Drehzahlstellbereich: 1:25 ohne Rückführung
- ▶ Drehzahlgenauigkeit: ±1% der Nenn-drehzahl ohne Rückführung
- ▶ Robustheit gegen Lastsprünge

Zusätzlich zu den Eigenschaften des VVC-Prinzips bietet dieses Steuerverfahren unter anderem Folgendes:

- ▶ Gute dynamische Eigenschaften im niedrigen Drehzahlbereich (0 Hz-10 Hz)
- ▶ Optimale Motormagnetisierung
- ▶ Drehzahlstellbereich: 1:100 ohne Rückführung
- ▶ Drehzahlgenauigkeit: ±0,5 % der Nenn-drehzahl ohne Rückführung
- ▶ Aktive Resonanzdämpfung
- ▶ Drehmomentsteuerung
- ▶ Betrieb in der Stromgrenze.

Der VLT® AutomationDrive FC-300 von Danfoss bietet zusätzlich das auf dem Stromvektor beruhende FLUX-Verfahren. Durch dieses Verfahren lassen sich im Vergleich zu VVC+ noch dynamischere Motorsteuerungen realisieren, Abb. 7.

MODERNE TECHNIK FÜR OPTIMALE PROZESSE

Frequenzumrichter haben sich einen festen Platz in der Automatisierungstechnik, der Wasser/Abwassertechnik sowie der Gebäudeautomation erobert. Nicht nur, dass sie Energie einsparen können und Prozesse optimieren, sie übernehmen auch als Stand-alone-Lösungen immer mehr Funktionen. Um dies alles aber zu erreichen, müssen sie für die jeweilige Applikation richtig ausgelegt sein.

*Autor
Michael Burghardt, Produktmanager
Danfoss VLT Antriebstechnik, Offenbach/M.
Fotos / Grafiken: Danfoss
www.danfoss.com*



Abb.7: In großen Anlagen sorgen viele hundert Frequenzumrichter für eine reibungslose Steuerung der Produktionslinien

Die Welt ist keine Scheibe - Ihre Anzeigen auch nicht [...]



innovatools

Werkzeuge für den Erfolg

Fach.**Journal**

Fachzeitschrift für Erneuerbare Energien & Technische Gebäudeausrüstung

[Hier mehr erfahren](#)



innovapress

*Innovationen publik machen
schnell, gezielt und weltweit*

Filmproduktion | Film & Platzierung | Interaktive Anzeige | Flankierende PR | Microsites/Landingpages | SEO/SEM | Flashbühne