

# Frequenzumrichter: damals – heute – morgen

**Ein Abriss über die Entwicklung und typische Anwendungen von Umrichtern**

Ende der 1960er-Jahre kamen die ersten in Serie gefertigten Frequenzumrichter auf den Markt. Heute sind sie unverzichtbar für den effizienten Betrieb von Motoren. Sie sind kompakter und leichter geworden, bedienen sich innovativer Werkstoffe und Technologien und sind mittlerweile in zahlreichen Ausführungen erhältlich. Doch das weite Feld der Frequenzumrichter birgt auch heute noch Potenzial für Innovationen.

Frequenzumrichter – der Begriff ist breitflächig bekannt und dennoch diffus. Starten wir deshalb mit einer einfachen Definition: „Grundsätzlich bezeichnet das Wort Frequenzumrichter ein elektronisches Gerät, das Motoren mit einer variablen Drehzahl antreiben soll“, so Rolf Gerhardt, Leiter Vertrieb Antriebselektronik bei Sieb & Meyer. Das Lüneburger Unternehmen entwickelt und fertigt seit Beginn der 1970er-Jahre Servoverstärker und Frequenzumrichter und gilt mittlerweile als führender Anbieter von Lösungen für den Hochgeschwindigkeitsbereich.

Erforderlich wurden Frequenzumrichter ursprünglich, weil an einem regulären Wechselstromnetz Motoren nur mit einer festen Drehzahl betrieben werden können. Das jedoch genügte angesichts der fortschreitenden industriellen Automatisierung nicht mehr. Um die Drehzahl stufenlos anwählbar zu machen und gleichzeitig den Drehzahlbereich zu erweitern, mussten neue Wege beschritten werden. „Ein Evolutionszweig waren die sogenannten rotativen Frequenzumrichter, die im Wesentlichen aus einem höherpoligen Generator bestanden“, so Rolf Gerhardt. „Diese wiederum wurden mit einem in der Regel zweipoligen Motor gekoppelt, welcher mit dem 50-Hz-Versorgungsnetz verbunden war.“ Als Resultat erhielt man am Generatorausgang eine Wechselspannung, die in Abhängigkeit der Generatorpoligkeit höher sein konnte als die Netzfrequenz. War der Generator 4-polig, ergab sich eine Ausgangsfrequenz von 100 Hz, was maximal 6.000 1/min entsprach. Bei 6-poligen Ausführungen ließen sich 150 Hz (rund 9.000 1/min) erreichen. Rotative Umrichter waren jedoch aufwendig, teuer und brachten nur wenig Flexibilität – Nachteile, die schlussendlich zum Aus dieser Technologie führten.

In den 1970er-Jahren kamen die ersten statischen Frequenzumrichter auf den Markt. Auch Sieb & Meyer präsentierte zu dieser Zeit die ersten statischen Frequenzumrichter für

Schnellaufspindeln. „Die Technik der statischen Frequenzumrichter besteht aus Leistungshalbleitern und einer Halbleiter-Logik, die die einzelnen Funktionen steuern“, so Rolf Gerhardt. „Prinzipiell hat sich an der Funktionsweise bis heute nichts wesentlich geändert.“ Das feste 50-Hz-Drehstromnetz wird im Umrichter zu einer DC-Spannung gleichgerich-

tet und in den sogenannten Endstufen wieder in eine Wechselspannung veränderlicher Amplitude und Frequenz gewandelt – also wechselgerichtet. Somit konnte man theoretisch beliebige Ausgangsfrequenzen beziehungsweise Drehzahlen erzeugen und auch lastabhängig Motorspannung sowie Motorstrom nachführen.



### Servoverstärker und Frequenzumrichter verschmelzen

Lange Zeit gab es im Bereich der statischen Frequenzumrichter zwei unterschiedliche Produktlinien: eine für Asynchronmotoren, die sich schlicht nur drehen mussten (zum Beispiel für Bohrmaschinen, Förderbänder, Kompressoren und Pumpen) und eine weitere für Syn-



Bei der Herstellung von Frequenzumrichtern erfolgen einige Arbeitsschritte nach wie vor in Handarbeit.

chronmotoren für Positionieranwendungen (beispielsweise Roboter und Werkzeugmaschinen) – meistens Servoverstärker genannt. Basis für Frequenzumrichter und Servoverstärker ist prinzipiell die gleiche Leistungselektronik, deren Logik und Regelungstechnik aber unterschiedlich ausgeprägt ist. Auch bei Sieb & Meyer wurde bis Anfang der 2000er-Jahre in diesen beiden Produktlinien gedacht.

Mit Einzug von immer schnelleren Prozessoren und fortschrittlichen Leistungshalbleitern wurden die klassischen Servoantriebe und Frequenzumrichter wieder zu einem Gerät zusammengeführt – häufig einfach Umrichter oder Antriebsverstärker genannt. Der Unterschied besteht in der Software, mit der das Gerät an die spezifischen Anforderungen angepasst und für die jeweilige Anwendung fit gemacht wird. Zudem muss die Dimensionierung der Leistungselektronik in Bezug auf das Verhältnis Nenn- zu Spitzenstrom angepasst werden, eventuell sind darüber hinaus kleine Zusatzmodule notwendig. Applikationsbedingt sind Frequenzumrichter für eine hohe Dauerleistung konzipiert, wohingegen Servoverstärker auf dynamische Lastwechsel ausgerichtet sind. „Unsere aktuellen Produktgenerationen SD2x beziehungsweise SD4x ermöglichen den universellen Einsatz für beide Einsatzbereiche“, so Rolf Gerhardt. „Möglich wird das durch individuelle Parameteranpassungen.“

### Zwei-Level-Umrichter für Werkzeugmaschinen

Vom grundsätzlichen Aufbau her sind diese Geräte annähernd vergleichbar mit Standard-50-Hz-Umrichtern: Sie bewirken eine passive Gleichrichtung der Netzspannung und verfügen über einen festen DC-Zwischenkreis beziehungsweise eine B6-IGBT-Endstufe. Um

High-Speed-Motoren antreiben zu können, müssen jedoch schneller schaltende Leistungshalbleiter in der Endstufe eingesetzt werden, was PWM-Frequenzen bis 32 kHz ermöglicht. Zudem sind genauere und schnellere Strommessungen sowie leistungsfähigere Prozessorslösungen notwendig. „In diesem Bereich gilt: Performance geht vor Preis“, so Rolf Gerhardt. „Regelungstechnisch können geberlose und geberbehaltete Asynchron- und Synchronmotoren mit Drehzahlen bis 240.000 1/min angetrieben werden.“ Diese Motoren treiben zum Beispiel Werkzeugmaschinen mit einer oder zwei Bearbeitungsspindeln an, die zum Schleifen und Fräsen verwendet werden. Ein besonderes Augenmerk liegt auf der möglichst geringen Spindelerwärmung, denn sie beeinflusst die Bearbeitungsgüte sowie die Standzeit der Kugellager signifikant.

Aber auch in Turboverdichtern/-kompressoren im Leistungsbereich bis 30 kW kommen diese Umrichter zum Einsatz. In der Regel betreiben sie geberlose Synchronmotoren im Drehzahlbereich bis rund 180.000/1 min. Durch den Einsatz dieser hochdrehenden Motoren kann auf ein Getriebe verzichtet werden, was einen höheren Systemwirkungsgrad nach sich zieht. Von Relevanz ist weiterhin ein hoher Wirkungsgrad des Umrichters und geringe Motorverluste respektive eine geringe Motorerwärmung.

### Für spezielle Anwendungsfälle

Der aktuelle Stand der Technik sind Drei-Level-PWM-Umrichter, die Sieb & Meyer mit dem SD2M beziehungsweise SD4M im Programm hat. „Die Drei-Level-Endstufen-Topologie unterscheidet sich bezüglich der Kosten und dem Aufbau nennenswert von Zwei-Level-Umrichtern, da zwölf Leistungshalbleiter

Frequenzumrichter haben sich in über 50 Jahren weiterentwickelt. Heute sind sie kompakter und leichter geworden und bedienen sich innovativer Werkstoffe und Technologien.





Der aktuelle Stand der Technik sind Drei-Level-PWM-Umrichter, die Sieb & Meyer mit dem SD4M im Programm hat.

anstelle von sechs notwendig sind“, erläutert Rolf Gerhardt. „Der notwendige Mehraufwand kann seine Vorteile daher nur in speziellen Anwendungsfällen voll ausspielen.“ Dann aber können sich die Vorteile sehen lassen: Im Vergleich zu Zwei-Level-Systemen ergeben sich bei gleicher Schaltfrequenz nur 25 Prozent der PWM-Verluste. Das führt zu einer signifikanten Reduzierung der Motorverluste. Auf teure Motordrosseln/Sinusfilter kann dann verzichtet werden. Aufgrund der um 50 Prozent kleineren PWM-Schaltamplituden lässt sich zudem die Isolationsbeanspruchung der Motorwicklung senken.

„Unsere Drei-Level-Umrichter SD2M/SD4M können ihre Vorteile zum Beispiel im Bereich von Turboverdichtern und Turbokompressoren voll ausspielen“, so Rolf Gerhardt. „Einerseits ist hier die geringe Motorerwärmung in Kombination mit dem hohen Systemwirkungsgrad von Nutzen. Letzterer führt bei dem gewissermaßen 24/7-Volllast-Betrieb zu nennenswerten Energieeinsparungen und kurzen Return-on-Investment-Zeiten. Im Weiteren bewirkt der Wegfall von Motordrosseln beziehungsweise Sinusfiltern ein kompakteres Bauvolumen und geringere Herstellungskosten des Gesamtsystems.“

**Quo Vadis, Frequenzumrichter?**

Für die Zukunft ist kein wirkliches Limit für die Umrichtertechnik abzusehen. Derzeit werden weitere große Applikationsfelder wie die Elektromobilität erobert. Zudem drängen neue Technologien wie die sogenannten IPM-Motoren (Interior Permanent Magnet) auf den Markt. Sie machen einerseits einen zusätzlichen Regelungsaufwand notwendig, erfüllen aber andererseits mehr Aufgaben und ermöglichen eine umweltfreundliche und energiesparende Technik.



Der Frequenzumrichter SD4S ist eines der neuesten Produkte von Sieb & Meyer.

Gleichzeitig führt die zunehmende Vielfalt der Applikationsfelder zu einer immer stärkeren Spezialisierung bei den Frequenzumrichtern. So ermöglichen Standard-50-Hz-Umrichter kostengünstig eine einfache Regelung der Drehzahl. Ihre Aufgabe ist es, die Prozesse flexibler zu gestalten und eine Effizienzsteigerung beziehungsweise Energieeinsparung in vorher unregelmäßigen Systemen zu bewirken. „In diesem Produktbereich sehen wir einen Trend zu einer höheren Schaltungsintegration, die sich in einer Kostenreduzierung auswirkt“, so Rolf Gerhardt. „Zudem stellen die Hersteller zunehmend IIoT-Kommunikationsschnittstellen bereit.“

**Weiterentwicklung von mobilen und High-Speed-Umrichtern**

High-Speed-Umrichter für stationäre Applikationen erlauben den Antrieb von Motoren mit Drehzahlen von bis zu 300.000 1/min. Der Fokus liegt dabei auf dem Betrieb dieser Spezialmotoren mit geringen Motorverlusten und einem hohen Systemwirkungsgrad, welcher sich zum Beispiel durch den Wegfall von Getrieben realisieren lässt. Sinnvoll ist aber auch der Einsatz von modernen Halbleitern auf Basis von SiC (Silicon Carbide) und GaN (Gallium Nitride) respektive von Multi-Level-Topologien. Zudem liegt ein Schwerpunkt auf der funktionalen Erweiterung – das betrifft zum Beispiel integrierte Sicherheitsfunktionen oder schnelle Ethernet-basierte Feldbus- und IIoT-Schnittstellen.

Bei Frequenzumrichtern für mobile Applikationen stehen neben dem guten Wirkungsgrad vor allem die mechanischen Eigenschaften im Vordergrund – zum Beispiel hinsichtlich Bauform, Gewicht und Robustheit gegenüber extremen Umweltbedingungen. Erreichen lässt

sich dieses Ziel vor allem mit passenden Leistungshalbleitern. Moderne Komponenten auf Basis von SiC (Silicon Carbide) und GaN (Gallium Nitride) ermöglichen hohe Schaltfrequenzen bei geringen Schaltverlusten.

„Die Beispiele zeigen: Die Möglichkeiten im Bereich der Frequenzumrichter sind noch lange nicht ausgeschöpft“, so Rolf Gerhardt abschließend. „Die Anforderungen an diese Geräte werden sich in Zukunft weiter verändern, sodass sich die Umrichtertechnologien stetig anpassen müssen.“ Wie das aussehen kann, machen die Lüneburger Experten vor: Auf Basis der neuen Entwicklungsplattform SD4x hat Sieb & Meyer eine Geräteserie entwickelt, die in jeder Hinsicht zukunftsfähig ist. Die Geräte unterstützen neue Schnittstellen und bieten eine Reihe von zusätzlichen Funktionen. Anwender profitieren von einer optimierten Performance, höheren Drehzahlen sowie einer geringeren Motorerwärmung ohne Sinusfilter. Die Verbesserungen machen es möglich, die Produktionsqualität bei bestehenden Anwendungen zu verbessern und zudem neue Einsatzbereiche zu erschließen.

**Autor**  
Torsten Blankenburg,  
Vorstand Technik

**Kontakt**  
Sieb & Meyer AG, Lüneburg  
Tel.: +49 4131 203 0 · [www.sieb-meyer.de](http://www.sieb-meyer.de)