

Kompromiss beim Wirkungsgrad?

Frequenzumrichter mit schlankem Zwischenkreis

Karl-Peter Simon

Elektromotoren sollen immer höhere Wirkungsgrade erreichen. Frequenzumrichter mit so genannten schlankem Zwischenkreis wirken dem Bestreben nach energieeffizienten Antrieben entgegen. Außerdem verursachen sie höhere Netzrückwirkungen.

Die CEMEP (European Commission of Electric Machinery and Power Electric Manufacturers) hat eine freiwillige Selbstverpflichtung der Motorenhersteller erwirkt, um den Wirkungsgrad der neu verkauften Elektromotoren von 1 kW bis 100 kW auf EFF2 oder EFF1 zu erhöhen. Man sollte daher erwarten, dass Frequenzumrichter ebenfalls wirkungsgradoptimiert gebaut werden.

Das Ziel der letzten Jahre lag darin, insbesondere Motoren mit dem Wirkungsgrad EFF3 vom Markt zu nehmen und durch EFF2 zu ersetzen. Dies ist mit Erfolg gelungen. Teilweise stehen auch schon Motoren mit der Wirkungsgradklasse EFF1 in Einsatz (Tabelle). Hier gibt es jedoch wirtschaftliche Grenzen, da die Wirkungsgradklasse EFF1 u.a. erfordert, dass sich die Dimensionierung der Drehstrom-Asynchronmotoren ändert, was insbesondere mehr Kupfer und damit Kosten bedeutet.

Dipl.-Ing. Karl-Peter Simon, Geschäftsführer der Danfoss GmbH Bereich Motion Controls, Offenbach/Main

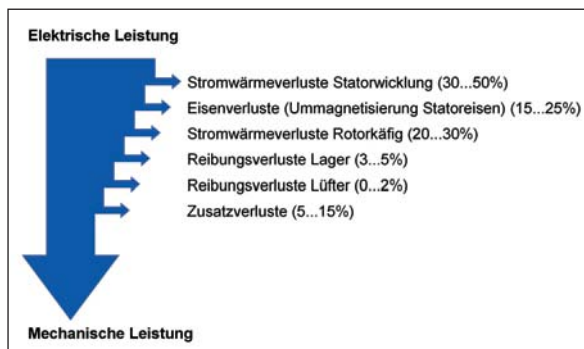


Bild 1: Aufteilung der Leistungsverluste in Drehstrom-Asynchronmotoren

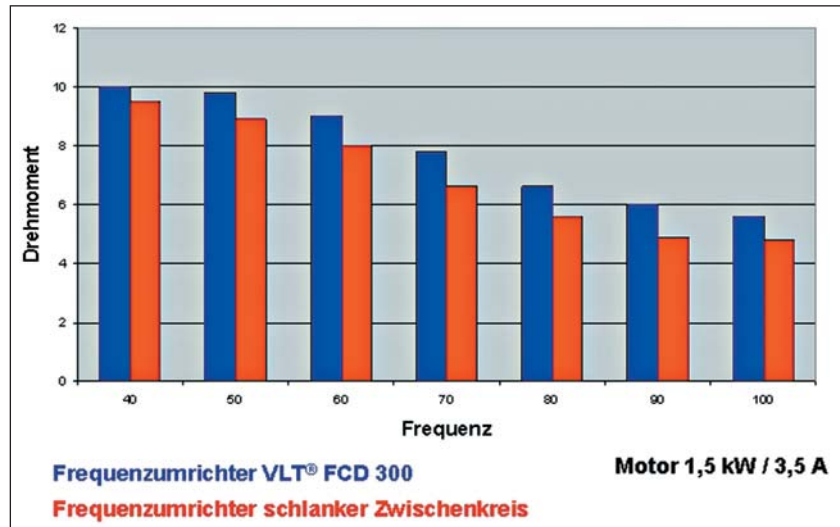


Bild 2: Vergleich des Drehmoments des Danfoss Frequenzumrichters »FCD 300« mit dem eines Umrichters mit schlankem Zwischenkreis

Senkung der Verluste

Durch eine Senkung der Stromwärmeverluste in der Statorwicklung lässt sich der Gesamtwirkungsgrad weiter verbessern (Bild 1). Will man den Wirkungsgrad weiter wirtschaftlich erhöhen, sollte man den gesamten Antriebsstrang genauer betrachten und z.B. ein Schneckengetriebe statt eines Kegelradgetriebes mit hohem Wirkungsgrad einsetzen. Außerdem verstärkt sich der Trend, Drehstrommotoren mit Frequenzumrichtern zu betreiben, was insbesondere bei Lüfter- und Pumpenanwendungen zu erheblichen Energieeinsparungen beiträgt. Heute werden ca. 15 % aller neu verkauften Drehstrom-Asynchronmotoren mit einem Frequenzumrichter betrieben. So schätzt z.B. das Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung den Energieverbrauch für Ventilatoren auf weit über 200 Mrd. kWh für Europa. Das Institut analysierte den europäischen Markt für Ventilatoren im Leistungsbereich von 750 W bis 750 kW. In den Berechnungen geht man davon aus, dass Energieeinsparungen zwischen 10 % und 20 % erreichbar sind,

was die Energiekosten (Bild 2) jährlich um 2,6 Mrd. € reduzieren würde. Zugleich wird die jährliche industrielle CO₂-Emission jährlich um 19 Mio. t reduziert. Der Einsatz von Frequenzumrichtern macht dies möglich.

Zwischenkreis beeinflusst Netzrückwirkungen

Der zunehmende Einsatz von Frequenzumrichtern führt vermehrt zu Netzrückwirkungen, welche auf dem Versorgungsnetz Probleme aufwerfen. Daher begrenzt man z.B. die 5. Harmonische des Stromes auf einen Wert von ca. 40 %.

Bei Frequenzumrichtern entstehen Netzrückwirkungen vor allem durch den Zwischenkreiskondensator, hervorgerufen durch die Stromnachladung in der Spannungsspitze einer Halbwelle. Das übliche Verfahren zur Senkung dieser Netzrückwirkungen besteht im zusätzlichen Einbau von Drosseln, entweder im Zwischenkreis (Bild 3) oder am Eingang des Frequenzumrichters (Bild 4).

Dieses Verfahrens bietet den Vorteil, dass man eine sehr hohe Zwischenkreisgleichspannung mit einer sehr geringen Spannungswelligkeit erreicht. Die dämpfende Wirkung der Drosseln reduziert die Netzrückwirkungen und erhöht die Lebensdauer des Kondensators. Weiterhin verbessert sich die Spannungsfestigkeit des Frequenzumrichters bei Netztransienten. Der Nachteil dieses

Verfahrens liegt darin, dass die Drossel Platz beansprucht und zusätzlich Geld kostet.

Schlanker Zwischenkreis als Kompromisslösung

Um diesen Nachteil zu kompensieren, entwickelten verschiedene Hersteller in den letzten Jahren vermehrt Frequenzumrichter mit einem so genannten schlanken Zwischenkreis. Bei diesem Verfahren setzt man die Kapazität des Kondensators im Zwischenkreis herab, was dazu führt, dass die Zwischenkreisspannung eine hohe Welligkeit aufweist (300 Hz) und der Mittelwert der Zwischenkreisspannung sinkt (Bild 5).

Damit sich die Welligkeit der Zwischenkreisspannung nicht auf die Qualität der Drehzahlregelung des Motors auswirkt, wird diese durch ein spezielles Verfahren mit der Pulsweitenmodulation kompensiert. Da jedoch die Zwischenkreisspannung im Vergleich zu dem bisher angewendeten Verfahren pulsiert, bedeutet dies, dass auch die Ausgangsspannung für den Motor den Netzspannungsnennwert nicht erreicht. Dies hat zur Folge, dass der Drehstrom-Asynchronmotor im Nennbetrieb einen bis zu 10 % höheren Strom als Motornennstrom aufnimmt und somit seine Motortemperatur ansteigt. Damit schadet dieses Verfahren nicht nur dem Ge-

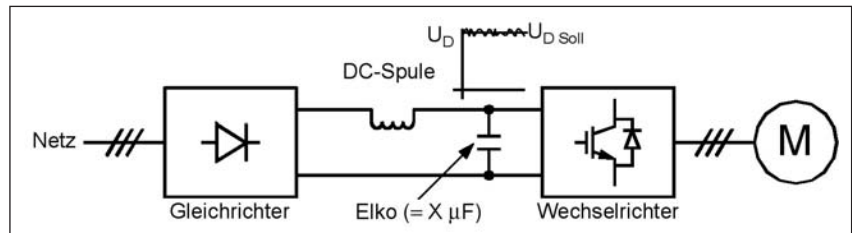


Bild 3: Prinzip des Frequenzumrichters mit Zwischenkreisdrossel

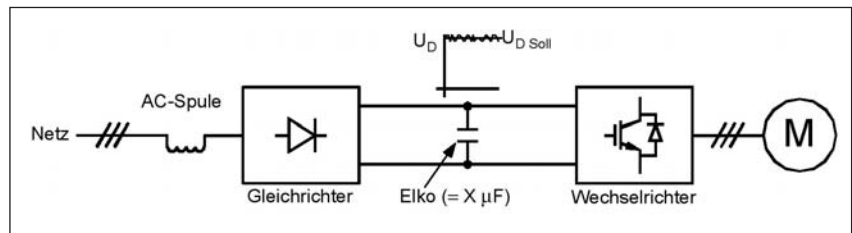


Bild 4: Prinzip des Frequenzumrichters mit Netzdrossel

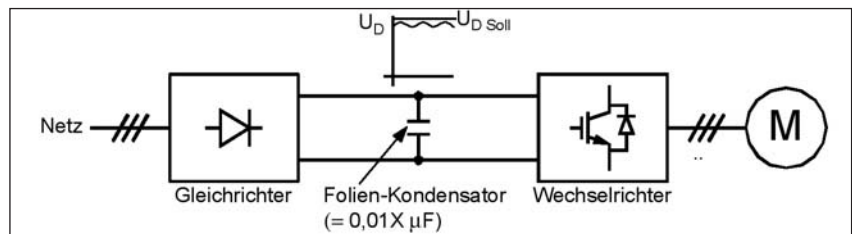


Bild 5: Prinzip des Frequenzumrichters mit schlankem Zwischenkreis

samtwirkungsgrad. Man muss auch in Abhängigkeit der Anwendung eine entsprechende Überdimensionierung des Motors vornehmen. Eine zu niedrige Motorspannung wirkt sich ebenfalls nachteilig im Feldschwächungsbereich aus, was dazu führt, dass das Drehmoment quadratisch zu der fehlenden Spannung zurückgeht und die Drehzahl belastungsabhängig stärker absinkt. Benötigt der Anwender eine konstante Drehzahl, so muss er in diesem Fall eine zusätzliche Drehzahlrückführung vorsehen, um die Drehzahl auszuregulieren. Ein weiterer Drehmomentverlust durch die zu niedrige Spannung entsteht auch beim Start des Frequenzumrichters. Als Startmoment wird teilweise nur das Nennmoment erzielt und nicht wie bisher üblich, 150...160 % des Nennmomentes.

Qualität spart langfristig Kosten

Wegen der erheblichen Nachteile des Verfahrens mit schlankem Zwischenkreis hat Danfoss beschlossen, für alle Um-

richterreihen – ob zentral oder dezentral – auch zukünftig das Verfahren der Netzurückwirkungsreduktion mit Drosseln beizubehalten. In der Zwischenzeit setzen jedoch immer mehr Hersteller von Frequenzumrichtern das Verfahren mit dem schlanken Zwischenkreis ein. Es tauchte anfangs vorwiegend für die dezentrale Antriebstechnik bei Getriebemotoren auf. Jetzt gibt es auch zentrale Umrichter, die speziell für Pumpen- und Lüfteranwendungen dieses Verfahren beinhalten. Dies führt zur Verschlechterung des Systemwirkungsgrades. Wenn Anwender durch die Aktivität der CE-MEP zunehmend High-Efficiency-Motoren mindestens nach EFF2 einsetzen, sollte man erwarten, dass Frequenzumrichter ebenfalls wirkungsgradoptimiert arbeiten. Danfoss verfolgt den Weg, dass der Nennwert der Frequenzumrichter-Ausgangsspannung vergleichbar sein muss mit Netzbetrieb. Damit lassen sich Antriebe ohne Überdimensionierung projektieren, was zu niedrigeren Motor-, Schaltgeräte- und Installationskosten führt und gleichzeitig einen sehr hohen Systemwirkungsgrad gewährleistet. Sonst läuft der Endkunde in die Falle, dass er günstigere Gerätepreise mit höheren laufenden Betriebskosten langfristig teurer bezahlen muss.

Wirkungsgrade

Nennleistung kW	eff2-Motoren hN	eff1-Motoren hN
1,1	Σ 76,2	Σ 82,8
1,5	Σ 78,5	Σ 84,1
2,2	Σ 81,0	Σ 85,6
3	Σ 82,6	Σ 86,7
4	Σ 84,2	Σ 87,6
5,5	Σ 85,7	Σ 88,6
7,5	Σ 87,0	Σ 89,5
11	Σ 88,4	Σ 90,5
15	Σ 89,4	Σ 91,3
18,5	Σ 90,0	Σ 91,8
22	Σ 90,5	Σ 92,2
30	Σ 91,4	Σ 92,9
37	Σ 92,0	Σ 93,3
45	Σ 92,5	Σ 93,7
55	Σ 93,0	Σ 94,0
75	Σ 93,6	Σ 94,6
90	Σ 93,9	Σ 95,0

Wirkungsgradklassen für zweipolige Motoren; Motoren mit niedrigerem Wirkungsgrad als eff2 gehören der Wirkungsgradklasse eff3 an