

Die Untersynchrone Stromrichter-Kaskade – eine wirtschaftliche Antriebslösung zur Energieeinsparung

Das Sparpotenzial mit elektrischen Antrieben – in Deutschland verbrauchen sie ca. 60 % der elektrischen Gesamtenergie – ist zwar seit Ende der 70er quantitativ bekannt, so bleibt es trotzdem immer noch weitgehend ungenutzt. Deshalb kann selbst 2007 das klassische Beispiel der elektronisch verstellbaren Pumpe (etwa 1979 erstmalig von Exxon mit dem Alternating Current Synthesizer ACS vorgestellt) eindringlich zum Demonstrieren möglicher Energieeinsparung dienen. Da inzwischen die globale Situation zur Verbrauchssenkung zwingt, übt die EU mit ihrer Rahmenrichtlinie Energy using Products 2005/32/EC (EuP) [1] auch auf Hersteller und vor allem auf potenzielle Nutzer elektrisch-elektronisch steuerbarer Antriebe entsprechenden Druck aus.

Neben Systemen mit frequenzgesteuerten Asynchron- und Synchronmotoren stellen Kaskadenschaltungen eine wirtschaftliche Lösung zum verlustarmen, stufenlosen Regulieren der Drehzahl dar. Seit der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts (Kramer-, Scherbius-Kaskade) prägen sie die elektrische Antriebstechnik. Ist nämlich der verlangte Drehzahlstellbereich bei Arbeitsmaschinen wie Pumpen, Verdichtern u. ä. eingeschränkt, bietet sich für mittlere und obere Leistungen ihre netzfreundliche Ausprägung auf dem jeweils aktuellen technischen Niveau in Gestalt der untersynchronen Stromrichter-Kaskade (USK) an. Erhebliche Fortschritte bei eingesetzten Bauelementen, in der Steuerungstechnik sowie bei Elektromaschinen führen zu einer Renaissance dieses leistungselektronischen Antriebs.

Energiesparen

Die mittlerweile spürbar gewordene Erwärmung der Erdatmosphäre hat zu einer erhöhten Akzeptanz des Themas Energiesparen in der breiten Öffentlichkeit geführt. In Folge wurde sich im Laufe der letzten Jahre vermehrt auch seitens der nationalen, europäischen wie internationalen Politik mit diesem Thema auseinandergesetzt. Hierzu sollen kurz einige Beispiele genannt werden.

Die EuP ist eine Rahmenrichtlinie die besagt, dass Produkte so gestaltet werden sollen, dass eine Reduzierung der Umweltauswirkungen erreicht werden kann. Erst im zweiten Schritt sollen später detaillierte Anforderungen für einzelne Gerätegruppen festgelegt werden.

Nach dem Kyoto-Protokoll haben sich die EU-Mitgliedsstaaten verpflichtet, die Treibhausgas-Emissionen bis 2012 um 8% gegenüber dem Stand von 1990 zu senken [2]. Vor allem für einige osteuropäische Länder, mit zum damaligen Zeitpunkt noch geringem Energieumsatz, erscheint die tatsächliche Erfüllung dieser Vorgabe als zweifelhaft.

Das Umweltbundesamt forderte, die Energieproduktivität bis 2020 gegenüber 1990 zu verdoppeln [3]. Hierzu ein kleines Rechenbeispiel:

$$\text{Energieproduktivität} = \frac{\text{Energie}}{\text{Bruttoinlandsprodukt}} \left[\frac{\text{Ws}}{\text{€}} \right]$$

Berücksichtigt man eine Inflationsrate von 2,3 % für den Preis von beispielsweise 1 kg Brot, so ergibt sich innerhalb von 30 Jahren etwa eine Verdoppelung dessen Beitrags zum Bruttoinlandsprodukt und damit eine Halbierung der Energieproduktivität – bei gleichem Energieeinsatz.

Tatsächliches Energiesparen ist seit Bestehen der elektrischen Antriebstechnik ein integraler Bestandteil dieser Branche. Seit der Verfügbarkeit von drehzahlgeregelten Antrieben existieren zahllose Rechenbeispiele über die Einsparmöglichkeiten, trotz höherer Investitionskosten. Bei einem Mittelklassewagen sind beispielsweise die Investitionskosten etwa so hoch wie die in 10 Jahren anfallenden Benzinkosten (Anschaffungspreis: 20.000 €, Laufleistung: 20.000 km/Jahr, Verbrauch: 8 l auf 100 km, Benzinpreis: 1,30 €/l). Bei einem

Elektromotor im Dauereinsatz betragen die Investitions- gegenüber den Energiekosten im gleichen Zeitraum dagegen ca. 2 % (Normmotor 11 kW, = 90 %, Laufleistung: 3000 h/a). Einem energieeffizienten elektrischen Antriebssystem ist demzufolge aus ökonomischer Sicht wesentlich mehr Aufmerksamkeit zu schenken als einem verbrauchsarmen PKW.

Energieeffiziente Antriebssysteme

Zur Verbesserung der Energieeffizienz von Antrieben bestehen zahlreiche Möglichkeiten. Diese sind oft sehr speziell auf den konkreten Anwendungsfall zugeschnitten, weshalb transresch als Spezialist maßgeschneiderter Antriebslösungen oft besonders günstige Systeme anzubieten vermag. Einsparpotentiale bestehen beispielsweise durch:

- Antriebsregelung, z.B. statt Drosselklappe,
- Energieeffiziente Motoren,
- Blindleistungskompensation,
- Energierückspeisung, z.B. aktive Einspeisung statt Brems-Chopper sowie
- Prozessoptimierung, z.B. Energiebedarf senken.

Eine Darstellung der Anteile verschiedener Anwendungen an den elektrischen Antrieben ist in Abbildung 1 vorgenommen.

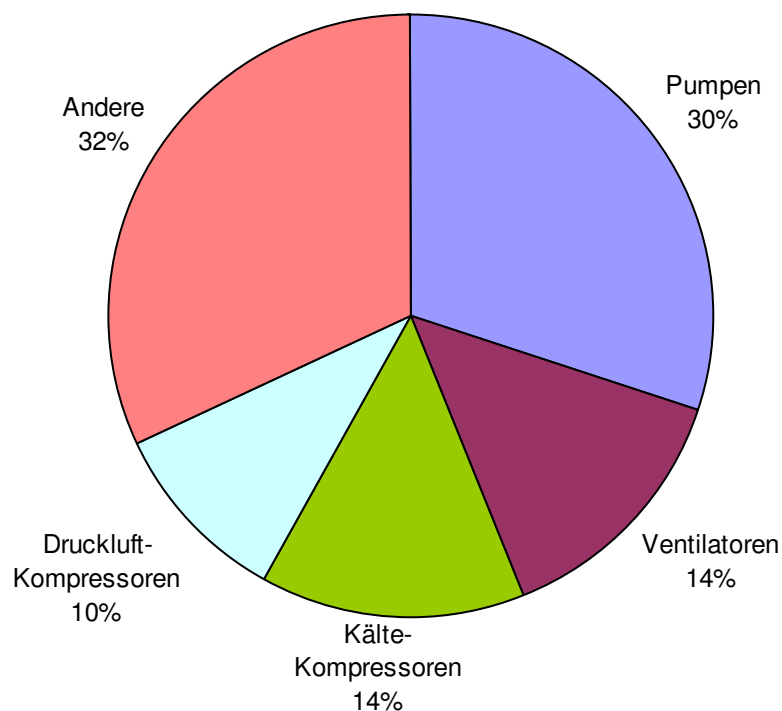


Abbildung 1: Anwendungen elektrischer Antriebe [4]

Berücksichtigt man, dass bislang nur ca. 12 % der elektrischen Antriebe elektronisch geregelt werden, ergibt sich allein in Deutschland ein Einsparpotential von 22 TWh / Jahr [5]. Neben der heutigen Standard-Variante der Drehzahlregelung durch Frequenzumrichter, kann bei Mittelspannungsantrieben im Einzelfall auch der Einsatz einer USK eine preisgünstige Alternative sein.

Die Untersynchrone Stromrichter-kaskade (USK)

Das Funktionsprinzip der USK ist das Gleichrichten und Rückspeisen der Rotorströme (siehe Abbildung 2), wodurch sich die Schlupfleistung energieeffizient zurückgewinnen lässt.

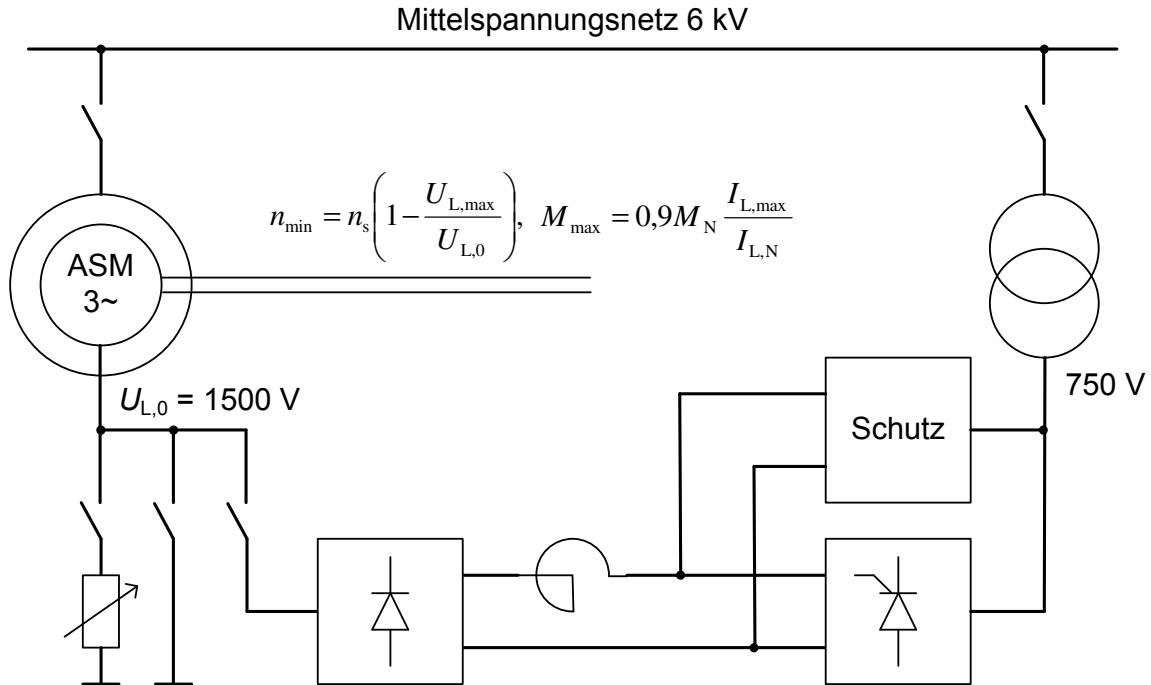


Abbildung 2: Funktionsprinzip der Untersynchronen Stromrichter-kaskade

Dieses Verfahren wird seit den 70er Jahren verwendet und stellte die erste leistungselektronische Lösungsmöglichkeit zur verlustarmen Drehzahlregelung von Drehstrommotoren dar. Ihr häufiges Einsatzgebiet sind Pumpen- und Lüfterantriebe, Verdichter, Bagger, Drehrohröfen, Pressen, Extruder sowie Bandanlagen die mit dem eingeschränkten Drehzahlbereich gute Prozesskennwerte erreichen.

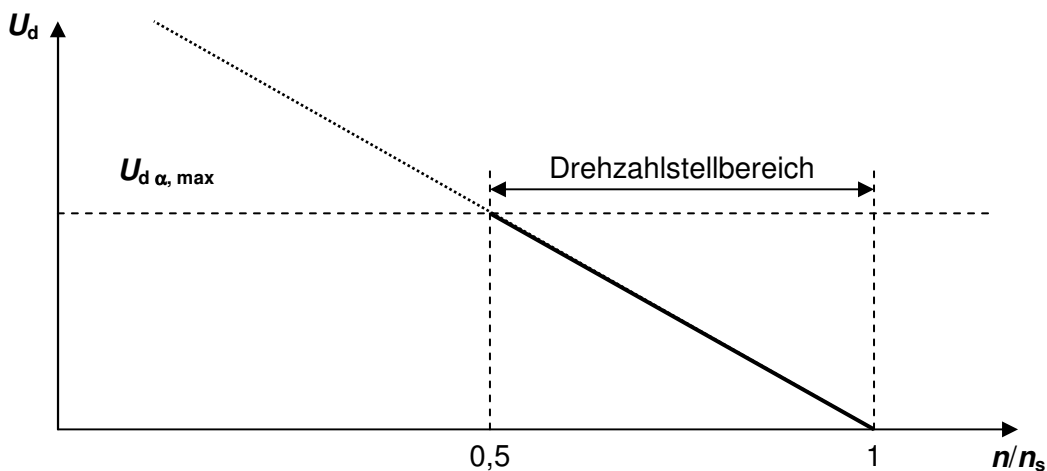


Abbildung 3: Spannung im Gleichstromzwischenkreis

Die installierte Stromrichterleistung kann im Gegenzug entsprechend kleiner als die Motorleistung gewählt werden. Wesentliche Vorteile dieser Antriebs-Variante sind:

- stufenlose Drehzahlregelung,
- kostengünstige Anschaffung (insbesondere bei Erneuerung) sowie
- robuste, wartungsarme Ausführung.

Als wesentliche Nachteile sind dagegen zu nennen:

- notwendige Blindleistungskompensation,
- eingeschränkter Drehzahlstellbereich sowie
- Gefahr von Wechselrichterkippen bei Netzausfall.

Insbesondere der letzte Punkt führt i.d.R. zum Sicherungsfall und damit zu längeren Stillstandzeiten. Durch den Einsatz von geeigneten Schutzeinrichtungen kann diese Störung jedoch zuverlässig vermieden werden, weshalb seit einiger Zeit ein Trend zum kostengünstigen Retrofit bereits bestehender Anlagen beobachtet werden kann. Die Entwicklung einer solchen Schutzeinrichtung wurde von der Firma *Siemens* durchgeführt und als Converter Commutation Protector (*CCP*) bezeichnet. Das Funktionsprinzip besteht in der Übernahme des Kurzschluss-Stromes und dessen anschließender Löschung. Eine Vervollkommnung der Zuverlässigkeit der Funktionsweise konnte durch *transresch* in Zusammenarbeit mit *Siemens/ Wien* durch geeignete externe Beschaltung erreicht werden. Somit ist bei kurzzeitigem Netzausfall ein automatischer Wiederanlauf innerhalb von 5 s (typisch) realisierbar. Mit dieser Technik ist auch die Nachrüstung bestehender, nicht – oder nur bedingt (z.B. Schnellschalter) - geschützter Anlagen realisiert worden.

Erfolgreiche Industrieinsätze zusammen mit VEM-Maschinen bestätigen dieses Konzept, Die auf diesem Gebiet langjährig erfahrene *transresch Antriebssysteme Berlin GmbH* teilt sich den internationalen Markt dieser weiterentwickelten Alternative lediglich mit wenigen Spezialisten. In der nachfolgenden Tabelle sind 3 Beispiele zum ausgeführten Retrofit von USK-Anlagen vergleichbarer Leistung (in Deutschland, innerhalb der letzten 2 Jahre) mit unterschiedlichem Lieferumfang aufgeführt.

Motorleistung [MW]	2	2	2
Mittelspannungsschaltanlage	x	-	-
Trafo	-	-	x
Motor	-	-	-
Flüssigkeitsanlasser	x	x	x
Gleichrichter	x	x	x
Drossel	x	x	x
DC-Stromrichter	x	x	x
Schutzeinrichtung	x	x	x
Verpackung	x		x
Transport	x		x
Montage	x		x
Inbetriebnahme	x		x
Kosten [T€]	200	130	160

Neuer DC-Stromrichter mit Wasserkühlung

Neuentwicklungen in der DC-Technik gibt es jedoch nicht nur im Bereich der Schutzeinrichtungen. Auf der Messe SPS/ Drives 2006 stellte *transresch* ein gemeinsam mit der Firma *Ixys* entwickeltes Leistungsteil mit potentialfreier Wasserkühlung vor (Abbildung 4). In dem 120 cm breiten Schrank finden 7,3 MW Dauerleistung (1000 V / 7,3 kA) Platz. Dieser Stromrichter fand seinen Einsatz bislang ausschließlich in DC-Antrieben von Walzwerken. So konnte durch Ablösung der zuvor verwendeten Ilgner-Umformer bei der Firma *Hoesch Spundwand und Profile GmbH* in Dortmund eine Verbesserung des Wirkungsgrades der 10.3 MW-Anlage um über 10 % erzielt werden [6]. Eine Drehstromantriebslösung in Form von Frequenzumrichtern mit Synchronmotoren hätte in diesem Falle 3-fach höhere Investitionskosten verursacht.

Prinzipiell ist dieser Stromrichter jedoch auch für einen Einsatz in USK's geeignet.

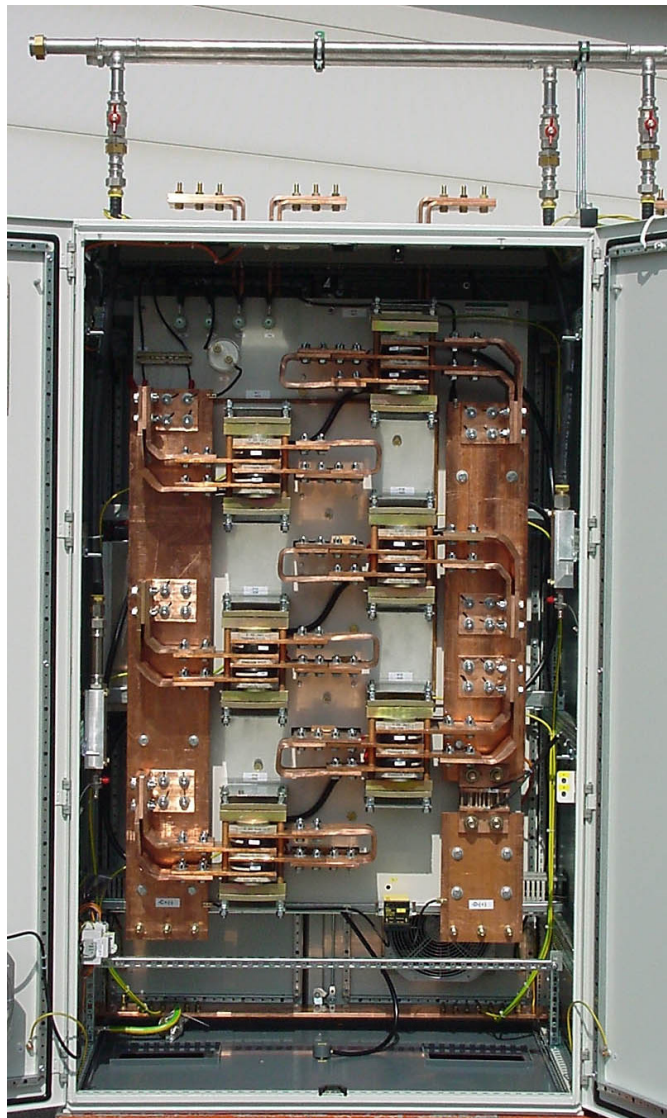


Abbildung 4:
Wassergekühlter
Stromrichter 1000V / 7,3 kA

Doppeltgespeiste ASM

Für die Ausrüstung von Neuanlagen kann der Einsatz einer USK jedoch nur im Ausnahmefall empfohlen werden. In ihrer moderneren Ausführung übernimmt ein Frequenzumrichter mit Gleichspannungszwischenkreis die Regelung der Schlupfleistung. Hierbei können beide Energie-Richtungen realisiert und somit unter- und übersynchrone Drehzahlen erreicht werden. Gemeinsam mit der USK ist diesem Konzept die gegenüber der Motorleistung reduzierte, zu installierenden Umrichterleistung (bei den oben erwähnten Anwendungen). Diese, in der Windenergienutzung weit verbreitete Technik wird als doppelt gespeiste Asynchronmaschine bezeichnet. Die Möglichkeiten des Einsatzes dieses Konzepts im industriellen Umfeld wird durch *transresch* derzeit untersucht.

Quellen

- [1] Richtlinie 2005/32/EG (EuP)
- [2] UNFCCC: Kyoto Protocol - Status of Ratification
- [3] Jahresbericht 1997 des Umweltbundesamtes
- [4] Fraunhofer ISI, Karlsruhe, EU-15
- [5] ZVEI: Energiesparen mit elektrischen Antrieben
- [6] Stahl und Eisen, 2006