

Energie sparen und Umwelt entlasten bei HVAC

H. Greiner, Aichwald

Seit der Einführung von Wirkungsgradklassen EFF1/EFF2 [1] für Drehstrommotoren und der Ankündigung von hocheffizienten Asynchronmotoren mit Kupfer-Pressgussläufern [2] wird das Thema „Energie sparende Antriebe“ vordergründig mit dem Wirkungsgrad des Antriebsmotors in Verbindung gebracht. So interessant ein Vergleich der Wirkungsgrade von Elektromotoren im Einzelfall auch sein mag: Das entscheidende Potential für eine Energieeinsparung liegt häufig in der Optimierung des Antriebssystems. Dies gilt vor allem auch für Anlagen im Bereich „HVAC“ (Heating, Ventilation, Air Conditioning).

1 Einsparpotential durch Drehzahlverstellung

Aus [3] wird zitiert: „Neben den ökonomischen Vorteilen für den Betreiber hat der Einsatz energetisch optimierter Antriebssysteme auch eine erhebliche umweltpolitische Bedeutung. Mit dem errechneten Einsparpotential in der Industrie von 18,7 Milliarden kWh/Jahr und einem mittleren CO₂-Ausstoß von 0,59 kg CO₂/kWh (Energimix) im Vergleichsjahr 1997 könnte allein in Deutschland jährlich die Emission von 11 Millionen Tonnen Kohlendioxid vermieden werden.“

Im „Environmental Statement“ der Danfoss Drives A/S wird errechnet, welche Ergebnisse allein im Bereich HVAC durch den Einsatz von Danfoss-Umrichtern erzielt wurden. Diesem im Bild 1 dargestellten Erfolg ist eine schon 1987 eingeleitete technische Entwicklung, intensive Beratung von Planern und Anwendern sowie die Fortentwicklung der Zuverlässigkeit vorausgegangen. Die Bemühungen hatten

einen positiven Effekt sowohl für die Stromrechnung der Kunden als auch für die Entlastung der Umwelt.

Energie sparen durch Drehzahlverstellung – dies scheint zunächst ein Widerspruch, weil keine Art von Drehzahlverstellung zum „Nulltarif“ zu haben ist. Auch bei günstigen Voraussetzungen treten bei der Drehzahlverstellung grundsätzlich Verluste auf – bei mechanischen Systemen etwa 5...25 %, bei elektrischen Lösungen für industrielle Anwendung etwa 5...20 %.

Trotz dieser im Antriebssystem begründeten zusätzlichen Verluste kann in vielen Arbeitsmaschinen eine erhebliche Einsparung von Energie erreicht werden, wenn der Prozessablauf durch Änderung der Drehzahl oder Geschwindigkeit optimiert wird.

Der Aufwand an Energie und Kosten für den Umrichter als unentbehrliches Element im Antriebssystem hat sich in den mehr als dreißig Jahren seit seiner industriellen Einführung erheblich vermindert (Bild 2).

unterschiedliche Stoffmengen benötigt. Da der Antrieb für den höchsten Bedarf ausgelegt sein muss, ist die Stoffmenge bedarfsgerecht zu regeln – technisch optimal durch Anpassung der Drehzahl. Solange keine preisgünstigen und wartungsarmen Antriebssysteme für stufenlos verstellbare Drehzahlen zur Verfügung standen und solange Energiekosten und Energieverbrauch noch keine große Rolle spielten, wurde die Stoffmengenregelung auf einfache Weise erzwungen: Verstellung von Ventilen, die wie ein erhöhter Gegendruck wirken und den Förderstrom drosseln (Drosselklappensteuerung, Bilder 3 und 4).

In dem in Bild 5 dargestellten Diagramm sind über dem Förderstrom Q die Kennlinien für den von der Pumpe P erzeugten und den von der Anlage A benötigten Druck (Förderhöhe) h dargestellt. Bei fester Drehzahl der Pumpe (z. B. n₁) stellt sich der Arbeitspunkt »1« mit 100 % Förderstrom bei einem Druck h₁ ein. Um einen kleineren Förderstrom – z. B. etwa 70 % – zu erhalten, wird die Drosselklappe verstellt. Die Pumpe arbeitet am Punkt »2'«; von dem hier erzeugten Druck wird der Teil h₂ in der Anlage benötigt, der Teil Δh fällt im Drosselorgan ab. Die Δh entsprechende Leistung wird als Drosselverlustleistung in Wärme umgesetzt, geht also dem Prozess verloren.

Mit einer reduzierten Drehzahl n₂ würde sich der Arbeitspunkt »2« ergeben: Der Druckverlust Δh und der entsprechende Leistungsverlust werden vermieden.

Das Potential der Energieeinsparung wird aus Bild 6 deutlich, zumal Antriebe dieser Art oft mehrschichtig im Einsatz sind.

Seit es möglich ist, die Drehzahl von Käfigläufermotoren einfach, betriebssicher und verschleißfrei über Frequenzumrichter stufenlos zu verstellen, werden die geschilderten Stoffmengenregelungen zunehmend durch umrichter-gesteuerte Motoren ersetzt.

Autor

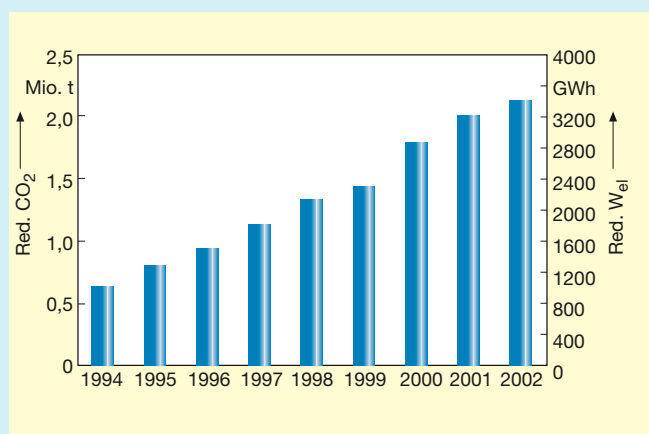
Obering. Helmut Greiner, Aichwald, war Mitglied in verschiedenen DKE- und IEC-Gremien und ist heute als beratender Ingenieur tätig.

2 Regelung der Fördermenge bei Pumpen und Lüftern

Bei vielen Prozessen werden je nach Produkt und Auslastung der Anlage von einem bestimmten Fördersystem (z. B. Pumpe, Lüfter)

3 Beispiel: Heizungspumpe im Privathaus

Ungeregelte Heizungspumpen gehören nach Angaben der Fa. Wilo [7] mit einem Anteil von



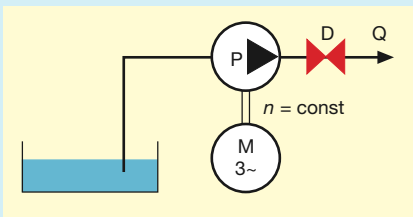
1 Reduzierung von Schadstoffausstoß (CO₂) und Energieverbrauch (W_{el}) durch den Einsatz von Danfoss-Umrichtern im Bereich HVAC

Quelle: Danfoss Environmental Statement

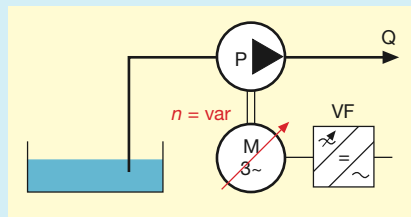


2 Vergleich von Größe und Gewicht von Umrichtern verschiedener Generationen

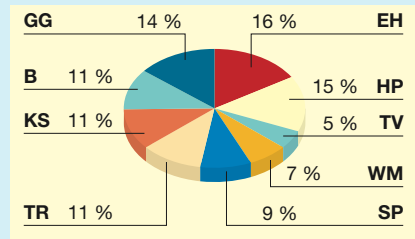
Quelle: Danfoss



③ Prinzip der Drosselklappensteuerung (D) zur Stoffmengenregelung (Q) einer Pumpe (P)



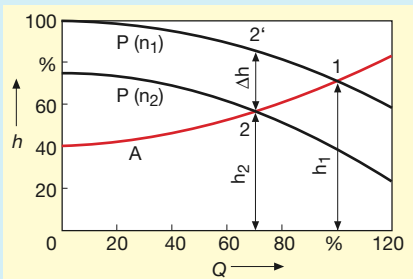
④ Prinzip der über Umrichter mit variabler Frequenz (VF) regelbaren Motor-drehzahl zur Anpassung der Fördermenge (Q) einer Pumpe (P)



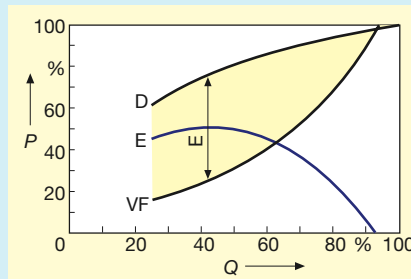
⑦ Relativer Anteil der durchschnittlichen jährlichen Energiekosten in einem Privathaushalt (drei Personen)

HP Heizungspumpe
EH Elektroherd
GG Gefriergerät
B Beleuchtung
KS Kühlschrank
TR Trockner
SP Geschirrspülmaschine
WM Waschmaschine
TV Fernseher
(Rechenwerte gerundet)

Quelle : WILLO AG [7]



⑤ Kennlinien für Druck (Förderhöhe) h über dem Förderstrom Q für die Pumpe P bei Drehzahlen n_1 oder n_2 und für die Anlage A .
Druckverlust Δh = Leistungsverlust bei Drosselklappenregelung zur Verminderung des Förderstromes auf etwa 70 %



⑥ Relativer Leistungsbedarf (P) und Energieeinsparung (E) bei Stoffmengenregelung über Drosselklappensteuerung (D) oder Umrichter-Motoren (VF)

etwa 15 % zu den größten Energieverbrauchern im Privathaushalt (Bild 7).

Bei einer Laufzeit von etwa 5500 Betriebsstunden entstehen in den meist noch konventionell ausgestatteten Haushalten Stromkosten bis zu etwa 150 € pro Jahr. Mit der neuen, geregelten Pumpengeneration (Bild 8) lassen sich diese Kosten um etwa 50 % reduzieren – bei besonders effizienten Lösungen sogar um deutlich mehr. Die Investition amortisiert sich nach etwa drei bis vier Jahren.

4 Beispiel: Kühlturm-Ventilator im Hochhaus oder Bürogebäude

Die nachfolgende Beschreibung ist eine kurzgefasste Übersetzung aus [5]. Die besonderen Anforderungen an Getriebemotoren zum Antrieb von Kühlturmventilatoren wurden in [6] ausführlich behandelt.

4.1 Anwendung

Kühlturmventilatoren dienen zur Rückkühlung von Kondensatorwasser in Kühlsystemen. Wassergekühlte Rückkühler sind um 20 % effizienter als luftgekühlte Systeme. Kühltürme kühlen das Wasser nach dem Verdunstungsprinzip. Das Wasser wird oben im Kühlturm auf die Füllstücke (Waben) gesprüht, um dadurch seine Oberfläche zu vergrößern. Der Ventilator saugt unten Luft an und bläst sie durch Füllstücke und Sprühwasser, um so die Verdunstung zu verstärken. Durch die Verdun-

stung wird dem Wasser Energie entzogen und seine Temperatur wird gesenkt. Das gekühlte Wasser läuft in ein Sammelbecken und wird von dort in den Rückkühler gepumpt; der Kreislauf wiederholt sich.

4.2 „Regelung“ über die Einschalt-dauer oder Polumschaltung

Mit der Absicht Energie zu sparen und die Regelung zu verbessern, wird bei herkömmlichen Kühlturmantrieben eine Ein/Aus-Steuerung oder Polumschaltung sowie in Einzelfällen eine Flügelradverstellung verwendet. Abhängig von der Temperatur, mit der das Kühlwasser den Kühlturm verlässt, kann der Ventilator gesteuert werden. Um die Schalthäufigkeit und damit die thermische und mechanische Beanspruchung des Antriebes niedrig zu halten, muss ein breites Temperaturband festgelegt werden. Die Beanspruchung des Rückkühlers und die Umgebungstemperatur bestimmen das Betriebsprofil des Kühlturms. Wenn Umgebungstemperatur und Beanspruchung zurückgehen, wird eine niedrigere mittlere Ventilatordrehzahl benötigt (Bild 9).

4.3 Regelung über Frequenzverstellung

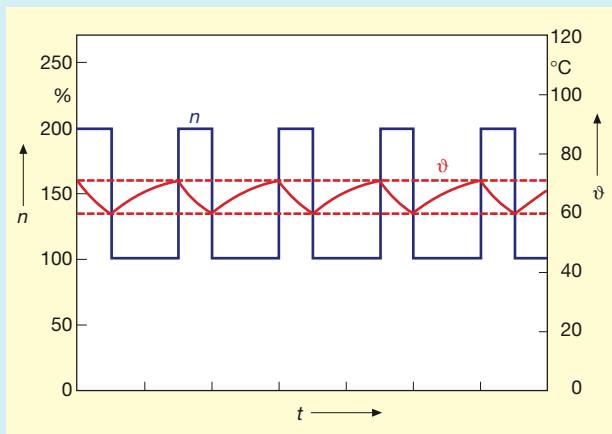
Mit einem Frequenzumrichter kann die Drehzahl der Kühlturmventilators so geregelt werden, dass die benötigte Kühlwassertemperatur eingehalten wird. Da der Einfluss der Ventilatordrehzahl auf den Kühleffekt bei nie-

drigen Drehzahlen vernachlässigbar klein wird, kann es notwendig sein, eine Mindestdrehzahl von z. B. 40...50 % der Bemessungsdrehzahl einzustellen. Die vom Anwender einstellbare, entsprechende Mindestfrequenz wird auch eingehalten, wenn das Rückführsignal einen niedrigeren Wert verlangt. Wahlweise kann der Antrieb abgeschaltet werden, bis wieder eine höhere Drehzahl benötigt wird. Falls der Ventilator bei bestimmten Drehzahlen Resonanzschwingungen aufweist, können die entsprechenden Frequenzen umgangen werden (Bild 10).

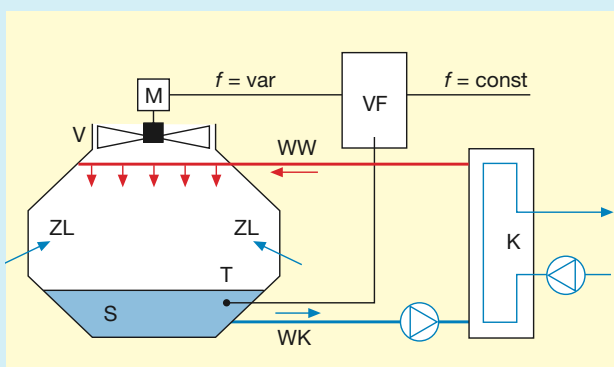


8 Energiesparpumpe der neuen Generation mit angebautem Frequenzumrichter zur stufenlosen und programmierbaren Regelung der Drehzahl

Quelle : WILLO AG

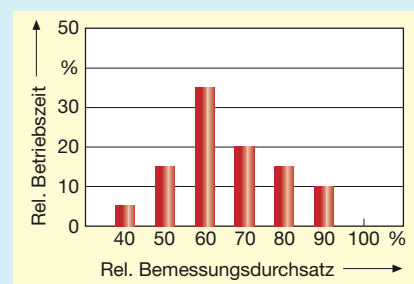


9 Prinzipieller Verlauf der Drehzahl (n) und der Kühlwassertemperatur (θ) bei „Regelung“ der mittleren Drehzahl eines 1 : 2 polumschaltbaren Ventilators



10 Prinzip der Kühlturnregelung unter Verwendung von umrichter gespeisten Motoren

- VF Umrichter
- M Motor
- K Rückkühler
- V Ventilator
- f Frequenz
- ZL Zuluft
- T Temperaturfühler
- WW Warmwasser
- S Sammelbecken
- WK Kaltwasser



11 Typisches Lastprofil eines Kühlturns. Relative Betriebszeiten bei verschiedenen relativen Auslastungsgraden

Tafel 1 Energiebilanz eines polumschaltbaren (PU) und eines umrichter gespeisten Motors (VF)

Durchsatz %	rel. Laufzeit %	Laufzeit h	Leistungsabgabe		Energieaufnahme	
			PU-Motor kW	VF-Motor kW	PU-Motor kWh	VF-Motor kWh
40	5	438	12,8	2,67	5606	1169
50	15	1314	12,8	4,83	16819	6347
60	35	3066	12,8	7,85	39245	24068
70	20	1752	30	11,93	52560	20901
80	15	1314	30	17,27	39420	22693
90	10	876	30	24,16	26280	21164
100	0	0	0	0	0	0
gesamt:	100 %	8760 h			179930	96342

Einsparpotential : 179930 – 96342 = 83588 kWh

Bei einem Energiepreis von 0,1 €/kWh werden etwa 8360 € pro Jahr eingespart.

4.4 Jahres-Lastprofil

Zur Berechnung des Einsparpotentials muss das tatsächliche Lastprofil über dem Verlauf eines bestimmten Zeitraums betrachtet werden. Das Lastprofil zeigt den Durchsatz, den das System benötigt, um während der untersuchten Periode seine Aufgabe zu erfüllen. Bild 11 zeigt ein typisches Lastprofil für einen Kühlturm, wie es für ein übliches System zutrifft. Es kann im Einzelfall je nach Aufstellungsort und Bedingungen abweichen.

4.5 Berechnung der Energieeinsparung

In der Berechnung wird angenommen, dass ein Motor mit der Bemessungsleistung von 30

kW mit dem Lastprofil nach Bild 11 betrieben wird. Der Energieverbrauch über eine Betriebszeit von einem Jahr wird berechnet

- für einen polumschaltbaren Motor (PU) mit Drehzahlverhältnis 1 : 1,5 (6/4-polig) und
- für einen umrichter gespeisten Motor (VF). Der Vergleich in (Tafel 1) zeigt ein Einsparpotential von fast 50 %.

4.6 Vergleich von Installation und Instandhaltung

Die „einfache“ Lösung Polumschaltung ist aufwändiger als es zunächst scheint: Benötigt wird eine Schützensteuerung, eine Drossel für den Rückfluss und deren Betätigung

sowie eine Einrichtung, die ein zu häufiges Umschalten des Motors verhindert. Die Drossel in der Rückflussleitung verursacht Verluste und benötigt Wartung.

Demgegenüber ist der Aufwand für Regelung, Installation und Wartung bei der Umrichterlösung auf ein Minimum reduziert. Der in den letzten Jahre deutlich fallende Mehraufwand für den Umrichter ist durch die beträchtlichen Einsparungen bei den Energiekosten bald kompensiert.

Literatur

- [1] Greiner, H.: Energie sparende Elektromotoren und Antriebssysteme. Elektropraktiker Berlin 56(2002)2, S. 198 - 201
- [2] Greiner, H.: Effiziente Drehstrommotoren mit Kupfer-Druckgussläufern. Elektropraktiker Berlin 58(2004)2, S. 138 - 141
- [3] Auinger, H.; Blaß, W.; Doppelbauer, M.; Eggers, D.; Funke, H.; Göckel, B.: Energiesparen mit elektrischen Antrieben. Broschüre des ZVEI, Fachverband Elektrische Antriebe 1999
- [4] Greiner, H.: Energie sparen mit Getriebemotoren. Sonderdruck SD 3401 der Fa. Danfoss Bauer GmbH, Esslingen
- [5] Anwendungstechnische Hinweise auf der Informations-CD „HVACity“ der Fa. Danfoss Antriebs- und Regeltechnik GmbH, Offenbach
- [6] Greiner, H.: Kühlturmventilatoren – ein Fall für Getriebemotoren. Jahrbuch Elektromaschinenbau 2001
- [7] Internetauftritt www.spar-doch-watt.de der Fa. WILLO AG, Dortmund