

Axialventilatoren für Verflüssiger und Rückkühler

Leistungsregelung im Vergleich

Gerhard Hubert, Fürstenfeldbruck

Die Vielfalt der eingesetzten Geräte für die Stetigregelung von Verflüssiger mit Axialventilatoren ist groß. Um klare Aussagen zu den jeweiligen Regelprinzipien zu gewinnen, wurden einmal die zurzeit technisch verfügbaren Lösungen im Versuch gegenübergestellt und die relevanten Größen „Leistungsaufnahme“ und „Schallemmission“ messtechnisch ermittelt und ausgewertet. Die Ergebnisse bieten Planer und Anlagenbauer wertvolle Informationen bei der Auswahl der Leistungsregelung.



Ein Einsatzbeispiel für Axialventilatoren

Als Steuer- und Regelverfahren für Verflüssigerventilatoren gibt es für Asynchron-Drehstromventilatoren zum einen die Spannungsregelung und die Frequenzregelung (Bild 1). Die Spannungsregelung ist nur anwendbar für Motoren mit spannungsregelbarer Kennlinie. Es sind überwiegend Außenläufermotoren, aber auch einige Hersteller von Innenläufermotoren. Als Spannungsregler gibt es einmal die Transformatorregler und andererseits die Phasenanschnittregler. Die zweite Art der Regelung von Drehstromventilatoren ist über die Frequenz. Hier gibt es die so genannten statischen Frequenzregler, die auf elektronischer Basis Frequenz und Spannung verändern.

Eine neue Technologie sind Ventilatoren mit so genannten EC-Technikmotoren. Am Markt befindlich sind Ausführungen mit separater Elektronik oder mit integrierter Elektronik. Im beschriebenen Fall wurden EC-Technikventilatoren mit integrierter Elektronik (Bild 2) untersucht.

Analysierte Vergleichsgrößen

Um Einblick in die elektrischen Kenngrößen und auch Hintergründe der jeweiligen Regelungsprinzipien zu erhalten, werden der Verlauf von Spannung und Strom mit einem Oszillograph dargestellt. Des Weiteren werden die elektrische Leistungsaufnahme der Ventilatoren im Verflüssiger gemessen und dargestellt sowie messtechnisch die Schalldruckpegel aufgenommen und miteinander verglichen. Die elektrischen Kenngrößen werden vor dem Regelgerät, d. h. netzseitig vor der gesamten Antriebskette, die aus Leistungssteller, Regelgerät und Motorventilator besteht,

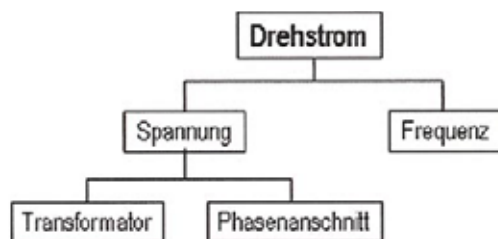


Bild 1

zum Autor

Gerhard Hubert,
ehemaliger
Productmanager
Automation
and Drive, Hans
Güntner GmbH,
Fürstenfeldbruck

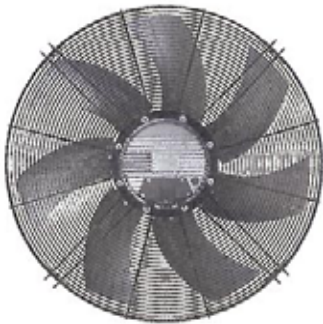


untersucht, zwischen Regelgerät und Ventilator, d. h. direkt am Motor (Bild 3). Bei den EC-Technikventilatoren mit integrierter Elektronik wurden die Kenngrößen nur auf der Netzseite analysiert (Bild 3), da das ganze Gerät gekapselt und kein direkter Zugriff zwischen der Elektronik und den Motor möglich ist.

Die Messeinrichtung für die Luftleistung ist ein Luftmessstand nach DIN 2463 (Bild 4). Es wurden der Luftvolumenstrom gemessen, die Druckerhöhung, die der Ventilator erzeugt und die elektrische Leistungsaufnahme. In diesem Falle ist es die elektrische Leistungsaufnahme vor der gesamten Antriebskette, um eben eine genaue Aussage über den Gesamtwirkungsgrad der Antriebskette zu haben, nicht nur des Ventilators. Ein Merkmal dieser Messeinrichtung ist, dass man Wert auf hohe Genauigkeit gelegt hat. Es wird mit einer Genauigkeitsklasse von 1% Abweichung vom Messwert beim höchsten Volumenstrom gearbeitet.

Die Geräuschmessungen wurden in einem reflexionsarmen Halbraum nach ISO 3745 gemacht. Diese Messkammer ermöglicht auch sehr präzise Messungen ohne Störeinflüsse von außen durch die Lagerung auf Federn des gesamten Raumes. Der Grundpegel in dieser Kammer beträgt lediglich 17 dB(A). Die Messungen des jeweiligen Schalldruckpegels wurden mit einem so genannten Kunstkopf, was ein bewährtes Messverfahren aus der Automobilindustrie ist, aufgenommen. Es wurde der zeitliche gemittelte Verlauf aufgenommen.

Hinweis: Bis zur endgültigen technischen und wirtschaftlichen Prüfung der EC-Technik wird diese nicht bei der Firma Güntner zu beziehen sein.



EC-Technik-Ventilator
mit integrierter Elektronik

Bild 2

Der Messaufbau (Bild 5) war so, dass der Verflüssiger mit dem jeweiligen Ventilator von der Blockseite her zu dem Kunstkopf gerichtet war, in einem Abstand von 2 m. Die Messaufnehmer im Kunstkopf sind in einer Höhe 1,40 m vom Boden platziert, also leicht oberhalb der Verflüssigeroberkante.

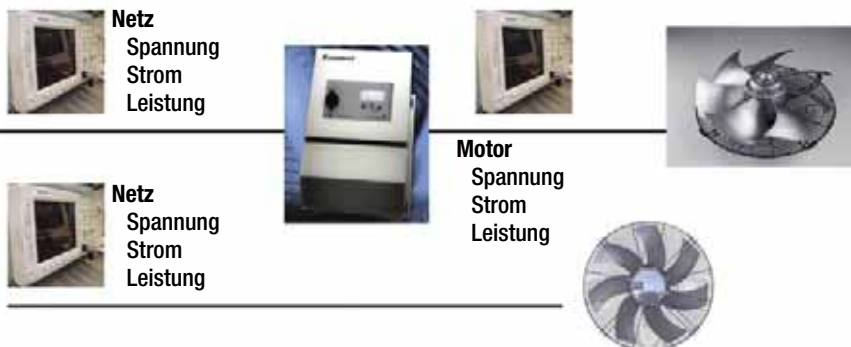


Bild 3

Die Phasenanschnittsteuerung

Im Bild 6 ist der Prinzipaufbau der Phasenanschnittsteuerung dargestellt. Er besteht aus Halbleitern, die angesteuert werden und zu bestimmten Zeitpunkten innerhalb der Halbwelle gezündet werden, daher auch der Name. Es wird der Zündzeitpunkt entsprechend dem Leistungsbedarf, der dann dem Ventilator zugeführt werden soll, gesteuert. Zusätzlich zum Phasenanschnittregler ist auch das Geräuschfilter dargestellt, ein Zusatzgerät, das



Bild 4

dem Regler nachgeschaltet ist. Es besteht aus Drosseln und Kondensatoren. Das Geräuschfilter hat die Funktion, die Diskontinuitäten der Spannung und des Stromes zu glätten. Ein positiver Nebeneffekt ist, dass die Kondensatoren auch den Blindstrom kompensieren und somit den Gesamtstrom reduzieren, was auch zu einem leicht verbesserten Wirkungsgrad führt. Der Verlauf von Motorspannung und -strom (Bild 7) ist völlig sinusförmig bei Vollaussteuerung. Die Erklärung liegt auf der Hand: Bei Vollaussteuerungen werden die Thyristoren sofort beim Anstieg der Halbwelle gezündet und somit die komplette Sinuswelle vom Netz durchgelassen. Bei 70% Aussteuerung (Bild 8), die beispielhaft genommen wurde, erkennt man, dass der Verlauf der Spannung und des



Bild 5

Stroms von der Sinuskurve abweicht. Die grobe Struktur lässt natürlich erahnen, dass die Kurve einmal sinusförmig war, aber durch das spätere Zünden der Thyristoren sich „verformte“. Es gibt Bereiche, in denen die Spannung innerhalb der ursprünglichen Halbwelle komplett Null ist. Diese Diskontinuitäten machen sich im Motorschall bemerkbar, die Darstellung des Schallspektrums (Bild 9) zeigt, dass über den ganzen Drehzahlbereich, also den Luftförderbereich vom Stillstand bis zur

vollen Drehzahl, bei der Frequenz von rund 300 Hz ein konstantes Geräusch zustande kommt, welches sich mit unverminderter Amplitude bis zum Stillstand aufrechterhält.

Wie schon vorher dargestellt, dient das nachgeschaltete Geräuschfilter zur Glättung. Diese Glättung ist im Bild 10 deutlich sichtbar. Bei 70% Aussteuerung ist der Verlauf des Stroms annähernd sinusförmig, die Spannung hat noch leichte Höcker, die aber soweit geglättet sind, dass die zusätzliche Motorgeräuschemission im Bereich von 300 Hz praktisch verschwindet.

Die Transformatorsteuerung

Das Prinzip der Transformatorsteuerung ist im Bild 11 dargestellt. Es handelt sich um einen Transformator, der annähernd stetig die Spannung verändern kann. Über eine enge Abgreifung der Wicklungen des Ringkerntransformators ist praktisch ein stetiger Betrieb des Ventilators möglich.

Der Verlauf der Motorspannung und des Motorstroms ist sowohl bei 100% Aussteuerung (Bild 12) als auch bei 70% Aussteuerung (Bild 13) völlig sinusförmig. Bei Vollaussteuerung wird die Netzspannung ungehindert durch das Gerät geleitet. Ein optimaler Zustand, weil der Verlauf von Spannung und Strom völlig analog zum Netz ist. Im abgesenkten Drehzahlbereich ist die geometrische Analogie der Kurve komplett gegeben. Strom und Spannung sind sinusförmig, der Unterschied ist nur die abgesenkte Amplitude. Über die abgesenkte Amplitude ist die zugeführte Leistung zum Ventilator niedriger, was eine reduzierte Drehzahl ohne zusätzliche Schwingungserregung zur Folge hat.

Die Frequenzumformersteuerung

Der getestete Frequenzumformer ist ein Gerät mit integriertem allpoligem Sinusfil. Im Kern besteht ein Frequenzregler (Bild 14) aus einem Wechselrichter mit elektroni-

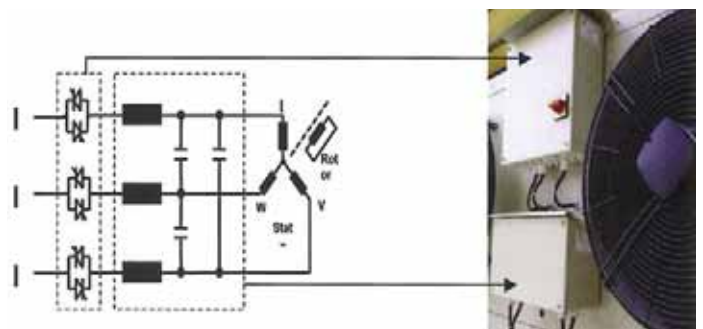


Bild 6

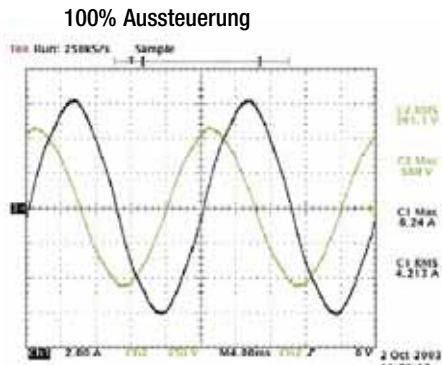


Bild 7

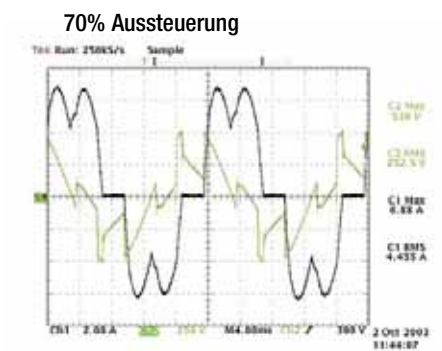


Bild 8

schen Halbleiterelementen. Dieser Wechselrichter erzeugt jedoch hohe Spannungsspitzen und hohe Spannungsanstiegsgeschwindigkeiten, was Störungen für das Spannungsnetz bedeutet. Deshalb ist es notwendig, dass vor das Gerät eine Netzdrossel und ein EMV-Filter geschaltet sind. Diese sind im abgebildeten Gerät integriert. Im andern Falle sollten diese vorgeschaltet werden, um die Grenzwerte der elektromagnetischen Verträglichkeit nicht zu überschreiten. Zur Motorseite erzeugt der Wechselrichter auch ein Spannungsbild, das von den Belastungsgrenzwerten höher ist als die

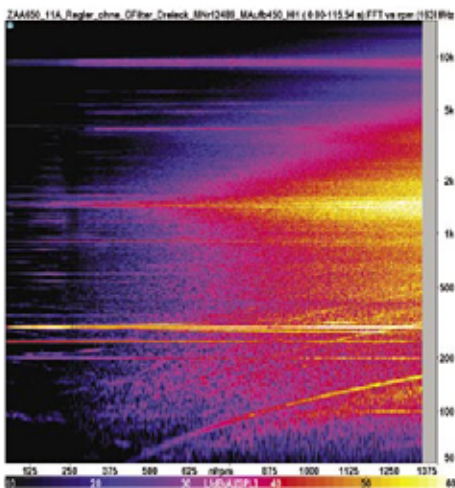


Bild 9

zulässigen Werte, die für die Motoren entsprechend den Normen gelten. Deshalb ist dem Wechselrichter ein allpoliges Sinusfilter nachgeschaltet. Dieses Sinusfilter hat außerdem die Funktion eines Geräuschfilters. Im gezeigten Gerät ist das Filter mit integriert. Integrierte Filter haben den großen Vorteil, dass sie auf das Gerät abgestimmt und somit über den gesamten Drehzahlstellbereich wirksam sind, was für die Funktion und Lebensdauer des Motors von enormer Bedeutung ist.

Betrachtet man nun den Verlauf der Netzspannung, so erkennt man, dass die Spannung durch die Rückwirkungen aus dem Wechselrichter verändert ist. Die Stromentnahme aus dem Netz ist aber sinusförmig (Bild 15).

Auch im abgesenkten Drehzahlbereich (Bild 16) wird deutlich, dass sich die Spannung verändert. Die Störungen, die durch diese Veränderungen generiert werden, liegen aber unterhalb der Grenzwerte, so dass noch ein Betrieb am öffentlichen Netz möglich ist. Auf der Motorseite, d. h. dem Regler nachgeschaltet, ist zu erkennen, dass sowohl bei Vollaussteuerung (Bild 17) als auch bei 70% Aussteuerung (Bild 18) der Verlauf von Spannung und Strom annähernd sinusförmig ist. Praktisch ist dies ausreichend, so dass die Wicklung nicht übermäßig durch Spannungsspitzen beansprucht wird und Schwingungserregungen die zu Geräuschen führen auch vermieden werden. Man sieht, dass die Wirksamkeit des Filters in beiden Fällen gegeben ist.

Wichtig bei Frequenzreglern mit allpoligem Sinusfilter ist auch der Verlauf der Spannung „Phase gegen Schutzleiter“, der in Bild 19 bei Vollast und Bild 20 bei Teillast jeweils dargestellt ist. Auch dieser Verlauf ist notwendigerweise annähernd sinusförmig. Wären hohe Sägezahnmuster überlagert, so wäre das ein Problem, welches die elektromagnetische Verträglichkeit stark negativ beeinflussen würde. Dies würde Induktionsströme im Lager

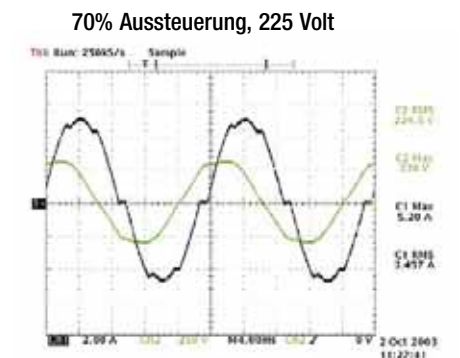


Bild 10

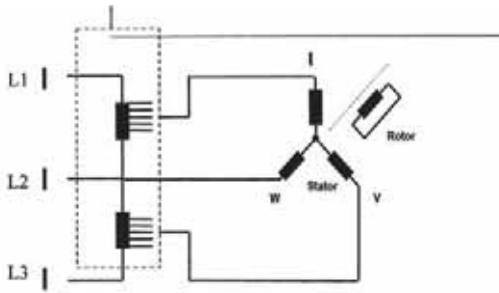


Bild 11



für diesen Motor ist auch die gebaute Erfassung der Rotorlage. Über diese Erfassung der Rotorlage kann die jeweilige Drehzahl immer genau bestimmt werden. Die integrierte Elektronik hat nämlich eine eingebaute Schnittstelle, über

hervorrufen, was eine verkürzte Lebensdauer der Lager zur Folge hätte.

EC-Technik-Ventilator mit integrierter Elektronik

Aus Bild 21 ist erkennbar, dass die Motorseite anders als in den Beispielen mit Drehstromventilator ist. Dort wird ein Induktionsrotor abgebildet, hier ist der Rotor ein Dauermagnet, mit der Folge, dass der Motorwirkungsgrad etwas besser ist, als der Wirkungsgrad eines Induktionsrotors. Es gibt nämlich keine Stromverluste.

Die Elektronik besteht im Kern ebenfalls aus Halbleiterelementen, denen elektromagnetische Verträglichkeitsfilter vorgeschaltet sind. Sie beinhaltet auch einen Power Factor Controller, so dass die Leistungsentnahme aus dem Netz immer ungefähr bei einem Faktor von 1 gegeben ist. Spezifisch

die man dem Motor ein Messsignal oder ein Stellensignal zuführen und somit die Soll-Drehzahl vorgeben kann. Die Soll-Drehzahl wird dann mit der Ist-Drehzahl über die Erfassung der Rotorlage verglichen. Somit ist ein geschlossener Regelkreis gegeben, so dass der Ventilator immer auf die gewünschte Drehzahl hingeregelt wird.

Ähnlich wie beim Frequenzregler hat die Elektronik einen Einfluss auf den Verlauf der Netzspannung. Die Netzrückwirkungen sind deutlich sichtbar. Sowohl bei Vollaussteuerung (Bild 22) als auch bei Teillast (Bild 23). Allerdings ist die Konzeption so gestaltet, dass die Störaussendungsgrenzen des Geräts für den Wohnbereich nicht überschritten werden. Die Störaussendungsgrenzen für den Wohnbereich bedeuten die schärfsten Bestimmungen, somit kann so ein Ventilator überall am öffentlichen Netz betrieben werden.

Der Aufbau der Elektronik (Bild 24) und des Motors sowie die gegenseitige Abstimmung wurde so vorgenommen, dass eine hohe Lebensdauer gewährleistet wird, dass eine Geräuscharmut im gesamten Drehzahlbereich gesichert ist und dass ein hoher Wirkungsgrad erzielt werden kann. Die hohe Lebensdauer wird damit gewährleistet, dass man über die Gestaltung der Elektronik Lagerströme verhindert, die Erosionen verursachen. Wichtig ist auch, dass die Spannungsspitzen und die Spannungsanstiegsgeschwindigkeiten entsprechend der Isolationsfestigkeit des Motors gestaltet sind, um somit ein frühzeitiges Altern zu verhindern. Die Geräuscharmut wurde erzielt, indem die Dimensionierung so gemacht worden ist, dass Resonanzen im gesamten Stellbereich vermieden werden und keine Vibrationen

100% Aussteuerung

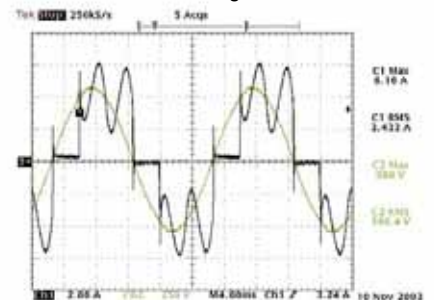


Bild 15

70% Aussteuerung

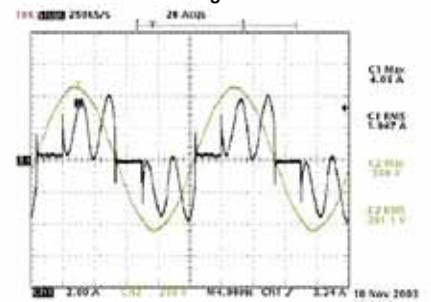


Bild 16

entstehen. Der hohe Wirkungsgrad wird durch den Motor und den integrierten Power Factor Controller in der Elektronik erzielt. Zum einen ist es ein Vorteil, dass die Leistungsaufnahme und damit die Energiekosten gering gehalten werden und zum zweiten hat eine geringe Verlustwärme eine geringe Erwärmung zur Folge, was wiederum eine hohe Lebensdauer bedeutet.

Vergleich der Leistungsaufnahmen

Die Messergebnisse der Leistungsaufnahmen sind im nachfolgenden Diagramm (Bild 25) aufgetragen.

100% Aussteuerung

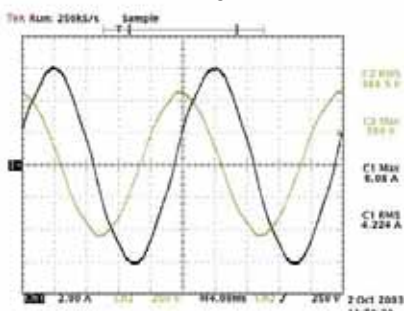


Bild 12

70% Aussteuerung

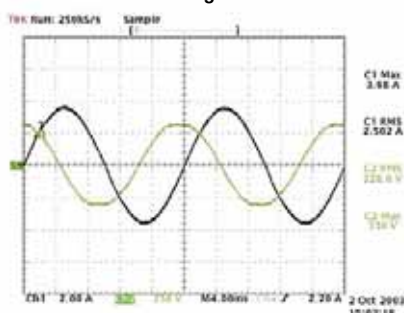


Bild 13

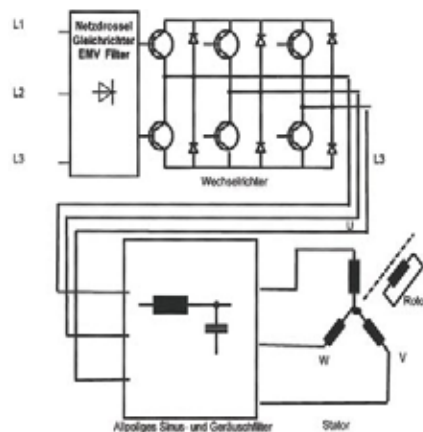


Bild 14



100% Aussteuerung

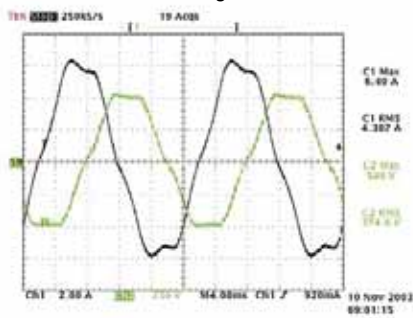


Bild 17

70% Aussteuerung

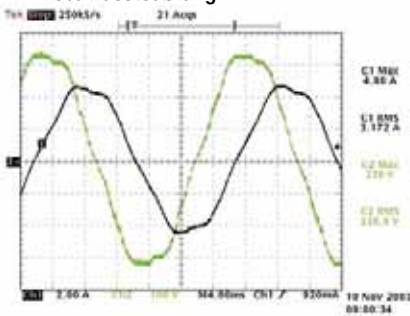


Bild 18

100% Aussteuerung

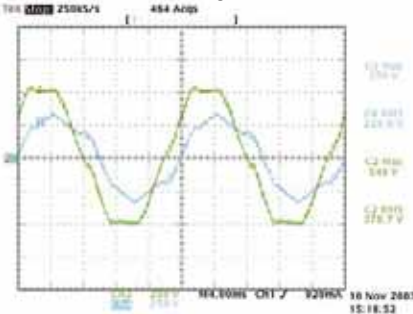


Bild 19

70% Aussteuerung

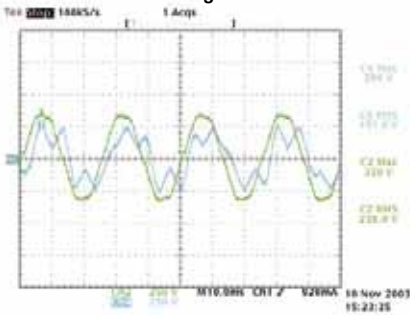
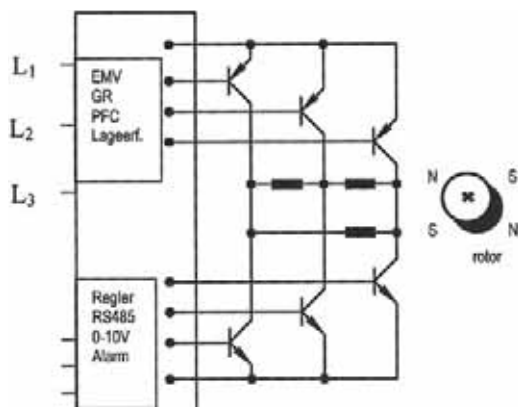


Bild 20

Rot dargestellt ist die Leistungsaufnahme des gesamten Antriebs, d. h. Motor und Phasenanschnittregelgerät. Die zweite Kurve, die leicht darunter liegt, ist die Kurve des Phasenanschnittreglers mit Geräuschfilter. Die leichte Verbesserung, d. h. geringere Leistungsaufnahme bezogen auf den Volumenstrom ergibt sich durch die Kompensation des Blindstroms, wodurch ein verbesserter Wirkungsgrad erzielt wird. Die dritte Kurve von oben ist die Kurve des Transformatorreglers. Man kann erkennen, dass durch den vollständigen Sinus, der vorher dargestellt worden ist, der Wirkungsgrad besser liegt, als bei den Phasenanschnittgeräten. Die vierte Kurve zeigt das Verhalten des Drehstromventilators mit einem Frequenzregler und Sinusfilter. Man kann erkennen, dass der Wirkungsgrad im mittleren Förderbereich wegen der geringeren Leistungsaufnahme geringer ist. Gleichzeitig gilt, dass im Vollaussteuerungsbereich und im Bereich der niedrigeren Drehzahlen der Wirkungsgrad schlechter ist, als bei der Spannungsregelung. Dies ist im oberen Bereich bedingt durch die Tatsache, dass der gesamte Strom durch das Filter muss. Sinusfilter sind wesentlich aufwendiger gestaltet, als Geräuschfilter bei Phasenanschnitt und somit entsteht dort ein höherer Verlust, der sich bei Vollast deutlich bemerkbar macht. Im unteren Bereich muss, um die Magnetisierung sicher zu stellen, eine Spannungsanhebung erfolgen. Dies führt zu einer Übermagnetisierung, die sich im verschlechterten Wirkungsgrad deutlich macht. Die besten Ergebnisse, d. h. die geringsten Leistungsaufnahmen, bezogen auf den geforderten Luftvolumenstrom, hat der EC-Ventilator. Die geringere Leistungsaufnahme reicht über den gesamten Bereich, d. h. vom kleinsten bis zum vollen Förderstrom. Die Leistungsaufnahme ist immer geringer als bei allen anderen Verfahren. Der größte Unterschied ist im mittleren Bereich zu erkennen. Wichtig ist aber auch, dass im oberen Bereich und bei Vollaussteuerung eine deutlich verringerte Leistungsaufnahme vorhanden ist.



EMV Filter für elektromagnetische Verträglichkeit
 GR Gleichrichter
 PFC Power Factor Controller
 Lageerf. Erfassung der Rotorlage

Bild 21

Vergleich der Schalldruckpegel

Beim Vergleich der Schalldruckpegel (Bild 26) kann man erkennen, dass die geringste Schallreduzierung durch Absenkung des Förderstromes mit dem Phasenanschnittgerät erzielt wird. Im oberen Bereich ist die Reduzierung durchaus vorhanden. Ab einem bestimmten Fördervolumen bzw. einer Drehzahl bleibt der Schall auf einem konstanten Niveau. Eine deutliche Verbesserung, d. h. Absenkung des Schalls erzielt man mit dem Geräuschfilter, wobei ab einer bestimmten Drehzahl nach unten auch die Grenzen der Reduzierung erreicht sind. Der Frequenzregler mit Sinusfilter bringt noch einmal eine erhebliche Reduzierung der Schallemission bei niedrigen Drehzahlen. Erkennbar ist, dass der Transformator mit seinem vollständigen Sinusbild und der EC-Ventilator, der auf Geräuscharmut hin entwickelt worden ist, über den gesamten Bereich die besten Ergebnisse liefern. Praktisch kann man sagen, der EC-Ventilator erreicht die Performance des Transformators. Die Transformatorregelung ist das Verfahren, welches unter dem Aspekt des Geräusches die besten Ergebnisse gebracht hat.



Bild 24

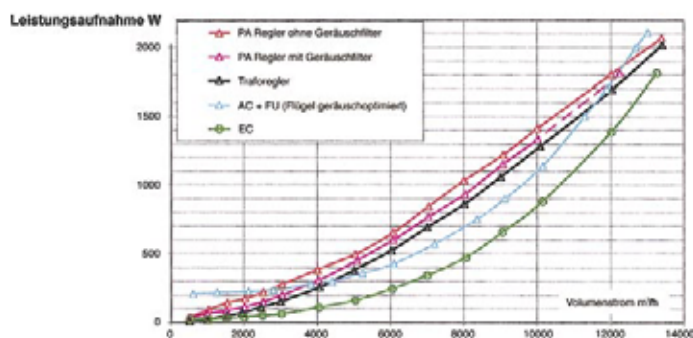


Bild 25

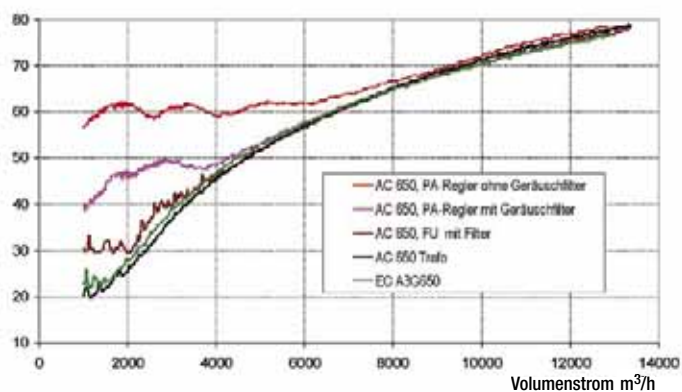


Bild 26

100% Aussteuerung

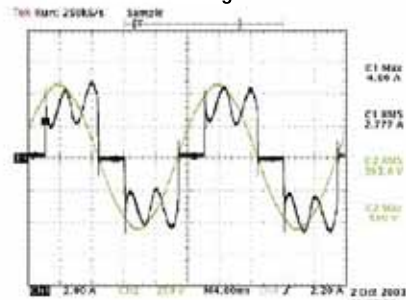


Bild 22

70% Aussteuerung

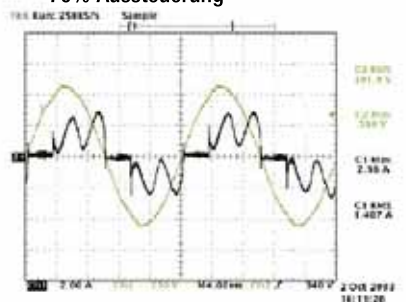


Bild 23

Das sollten Sie beachten:

- Phasenanschnittregler sind zur Verflüssigungsdruckregelung gut geeignet und bieten ein größeres Energieeinsparpotential als die Methode der Ventilatorabschaltung. Wenn die Schallreduzierung im Teillastbereich wichtig ist, sind sie wegen den störend wirkenden 300 Hz Tonanteilen nicht geeignet. Hier kann ein zusätzliches Geräuschfilter größtenteils Abhilfe schaffen.
- Frequenzregler mit allpoligem Sinusfilter haben deutliche Einsparpotentiale im Bereich von 40% bis 80% des Volumenstroms gegenüber den Phasenanschnittreglern. Die Schallreduzierung wirkt bis in die unteren Drehzahlbereiche und liegt deutlich unter den Werten der Phasenanschnittsteuerung mit Geräuschfilter.
- Den höchsten Gesamtwirkungsgrad über den ganzen Luftförderbereich liefert die getestete EC-Technik. In allen Betriebspunkten ist somit die höchste Energieersparnis gegeben. Die Schallreduzierung ist gleichwertig mit den Ergebnissen der Transformatorregelung, die bisher aus Sicht der Geräusche bestes Verfahren eingesetzt wurde.