

Frequenzgeregelte Verdichter mit aufgebautem FU

Überblick der technischen Entwicklung und Tipps zum richtigen Einsatz

Ob die leistungsabhängige Drehzahlregelung von halbhermetischen Kältemittelverdichtern über den Saugdruck oder die Raumtemperatur schon Status Quo in der Kältetechnik ist oder noch nicht, darüber lässt sich sicherlich diskutieren. Dass sie sich jedoch in zunehmenden Maße durchsetzt, ist Fakt und an den zunehmenden Absatzzahlen der Frequenzumformer klar erkennbar. Dem Resultat, dass mit dieser Technologie ein zusätzliches Know-how erforderlich wird, soll mit diesem Artikel mit einem Bruchteil des Spektrums Rechnung getragen werden. Auch führt die Thematik zu Überlegungen, wie man die herkömmliche Konstellation Verdichter-FU weiter optimieren und wie man diese komplexe Technik weiter vereinfachen kann.

Entwicklung der vergangenen Jahre

Als Insider und aufmerksamer Beobachter der Branche soll kurz die Entwicklung aus Autorensicht geschildert werden. Es begann ungefähr 1990, als die ersten Frequenzumformer im Zusammenhang mit Kältemittelverdichtern auf den Markt kamen – damals jedoch lediglich für Spezialanwen-

dungen. Zu Beginn waren es nur einfache Systeme, bei denen ein übergeordneter Regler den FU ansteuerte. Die FU waren anfällig, mussten wohlüberlegt dimensioniert werden und sie kosteten noch mehr als der dafür vorgesehene Verdichter. Diese Anfälligkeit kostete Vertrauen und warf die Verwendung sicherlich um einige Jahre zurück. In den letzten zehn Jahren sind die Preise für die Inverter jedoch um 58 % gefallen (vgl. Lenze-Preisliste 1994 zu 2004, 2,2 kW Gerät). Im gleichen Zeitraum sind die Preise für Verdichter, die mit diesem FU betrieben werden, nur um 2 % gestiegen (vgl. Preisliste 1994 zu 2004, 9,5 m³/h, Motor 2,2 kW Bitzer-Verdichter). D.h. der Kostenanteil eines 2,2 kW FU zum Verdichter ist im Zeitraum von 1994 bis 2004 von 94 % auf 39 % gesunken. Nebenbei bemerkt: Die Lohnstückkosten sind im gleichen Zeitraum um 5,8 % gestiegen (Quelle: Stat. Bundesamt).

1996 wurde die Vorprogrammierung des FU-internen Reglers eingeführt, d.h. die Inbetriebnahmezeit wird erheblich gesenkt und die Inbetriebnahme vereinfacht. Man hat aber immer noch die bauseits zu verkabelnde Verbindung zwischen Verdichter

und Inverter mittels geschirmten Kabels und eine erhöhte EMV-Problematik.

1999 wurde mit Einführung des Goeldner-Motion Verdichters ein weiterer Beitrag zur Vereinfachung des Systems bestehend aus Saugdruckaufnehmer (DMU), Frequenzumformer (FU) und Verdichter geleistet. Durch dieses nun seit fünf Jahren eingesetzte System erfolgte ein weiterer Schritt in Richtung Praxis (Bild 1), und die Akzeptanz von Seiten der Anlagenbauer erhöhte sich deutlich. In den Folgejahren wurde das System bis hin zur heutigen Goeldner-Motion Plug+Play Lösung ausgebaut. Diese umfasst einen kompletten Verflüssigungssatz mit drehzahlgeregeltem Verdichter, drehzahlgeregeltem Lüfter, Druckschaltern und einem auf das System abgestimmten Schaltschrank. Nun muss lediglich noch die Stromversorgung und das Freigabesignal von der Kühlstelle zum FU gelegt werden.

Rechnet man gegenwärtig die Amortisationszeit für einen Verdichter mit aufgebautem FU gegenüber einem unregelmäßigem Verdichter, so kommt man auf einen Zeitraum von zwei bis vier Jahren. Der Zeitraum hängt ab vom Strompreis, der Energieeinsparung durch die Regelung und der Ver-



Bild 1: Erste Baureihe mit angeflanschemt Frequenzumrichter



Bild 2: Sockel für FU anstelle des Klemmenkastens am Verdichter



Bild 3: Verdichtersatz Goeldner-Motion mit Sammler und Druckschaltern

dichterlaufzeit. Ein Beispiel zeigt bei einem Strompreis von 0,10 EUR/kWh, einer Energieersparnis von 20 %, einem erhöhten Investitionsaufwand für den Frequenzumformer einschließlich Drucksessumformer von 1 100 EUR (2,2 kW) und einer Laufzeit von 5 000 Stunden pro Jahr, einen Return on Investment nach fünf Jahren. Bei einer nicht unrealistischen Einsparung von 25 % Energiekosten sind es nur mehr vier Jahre. Setzt man nun noch an, dass man eine Verdichterbaugröße kleiner auslegen kann, womit sich die Anschaffungskosten des Verdichters um mindestens 15 % verringern, so ist man schon bei 3,4 Jahren. Bei 4,0 kW Leistungsaufnahme werden es dann nur noch 2,5 Jahre sein usw.

Steigt der hier als konstant angenommene Strompreis, so wird sich der Zeitraum linear dazu weiter verringern.

Drehzahlregelung im Allgemeinen

Die Regelung der Drehzahl ist die beste und energetisch sinnvollste Möglichkeit, die Kälteleistung eines Hubkolbenverdichters stufenlos an den Bedarf anzupassen. Nachdem, wie oben angesprochen, auch die Krux des hohen Anschaffungspreises beseitigt und die Zuverlässigkeit der Geräte bei richtiger Dimensionierung noch weiter erhöht wurde, stellen sich die Vorteile dieser Art des Verdichterbetriebs im Allgemeinen wie folgt dar:

- Steigerung des Verdichtergütegrads, wegen Reduktion der indizierten Verluste,
- verbesserte Kühlqualität durch nahezu konstante Druckverhältnisse im Sauggasbereich,
- kleinere Temperaturdifferenz und damit kleineres Druckverhältnis bei reduzierter Drehzahl,
- bessere Ausnutzung der Verdampferflächen durch stabilen Druckabfall über dem Expansionsventil,
- Vermeidung von Kältemittelverlagerung durch ständigen Umlauf des Kältemittels,
- Verringerung der Druckverluste im System,
- Verringerung der Abkühl- und Aufheizverluste,
- keine Anlaufentlastung nötig, da im Inverter integriert,
- Sanftanlauf und -auslauf,



Bild 4: Verflüssigungssatz Goeldner-Motion, Außeneinheit



Bild 5: Verdichtersatz mit Druckschaltern, Verflüssiger und Schaltschrank aufeinander abgestimmt für Regelbereich 20 - 70 Hz

- keine Blindstromkompensation nötig, der $\cos \phi$ liegt über dem gesamten Regelbereich über 0,9,
- Steigerung der Leistungszahl, da sich der Verdichtungsaufwand verringert,
- Erhöhung der Verdichterlebensdauer durch konstanten Betrieb ohne Start-Stop-Stress,
- Geräuschreduzierung durch Drehzahlabsenkung,
- bis 25 % Energieeinsparung durch stufenlose Leistungsregulierung,
- Verringerung der Baugröße (kleinerer Verdichter) durch Betrieb bis 70 Hz im 50 Hz-Netz,
- Stufenlose Regelung im Bereich von 40 bis 140 % (bezogen auf 50 Hz-Betrieb),
- kostengünstigere Anlagengestaltung sowie geringere Betriebskosten im Vergleich zu Verbundanlagen,
- Regler integriert.

Ausführung aufgebauter Verdichter im Speziellen

Die Vorteile der Baugruppe Verdichter-Fre-

quenzumformer stellen sich im Speziellen wie folgt dar:

- keine Beschränkung des Einsatzbereiches bei Leistungsreduzierung,
- Platzeinsparung im Schaltschrank,
- Montage erleichtert und beschleunigt,
- Inbetriebnahme extrem einfach, da vorprogrammiert,
- EMV-Problematik minimiert,
- Funkentstörgrad Filter „B“ (= höchste Stufe),
- FU aufgesteckt, die geschirmte Zuleitung zum Verdichter entfällt,
- ab 3,0 kW optional „busfähig“ (CAN, LON etc.),
- einfache Sollwertvorgabe,
- Reduzierung der Fehlerquellen, da FU und DMU vorverdrahtet.

Bei der Typenreihe Goeldner-Motion sitzt der Inverter (Bild 2) anstelle des Klemmenkastens auf dem Verdichter. Er ist mit vier Schrauben befestigt und wird lediglich auf den fest montierten Sockel aufgesteckt. Der Anschluss erfolgt über den Sockel, so

dass keinerlei Kabel direkt zum FU führen. Der ebenfalls auf den Verdichter montierte Druckmessumformer (DMU), der den Saugdruck misst, ist an dem im Sockel aufgeschnappten Funktionsmodul, dem sog. Appl I/O, elektrisch angeschlossen (siehe auch Bild 2).

Der werkseitige Vorfertigungsgrad erhöht sich naturgemäß, wenn ein Verdichter- (Bild 3) oder Verflüssigungssatz (Bild 4) gefertigt wird. Hier können auch die Druckschalter und der Verflüssigerregler bereits vormontiert werden. In der letzten Ausbaustufe wird zusätzlich noch der Schaltschrank angeschlossen und mitgeliefert. Mit dieser Konstellation kommt man zur so genannten Goeldner-Motion Plug and Play Lösung (Bild 5). Hier sind alle Komponenten aufeinander abgestimmt und das gesamte System ist werkseitig vor Auslieferung getestet. Dies führt zu einer maximalen Zeiterparnis bei der Installation.

Auslegung

Die maximal zulässige Frequenz des Verdichters hängt ab von seiner Kolbenhubstufe und damit seiner Kolbengeschwindigkeit bei 50 Hz. So kann die kleine Hubstufe des 2-Zylinderverdichters der Baugröße 1, vom Typ HS 12 1/3FU, die mit einem 2,2 kW Motor ausgestattet wird, ohne Einschränkung bis 70 Hz (2100 U/min) betrieben werden. Bei der Auslegung heißt dies, dass die 50 Hz-Daten linear mit 1,4 multipliziert werden können, womit die Gesamtleistung des Verdichters mit sehr guter Annäherung ermittelt wird (s. Diagramm 1). Der Liefergrad wird sich hier nicht verschlechtern, da auch die Ventilplattenbestückung der großen Kolbenhubstufe 3 entspricht und somit der Massenstrom ohne zusätzliche Verluste bewältigt wird. Die Minimalfrequenz von 20 Hz bedeutet analog eine Leistung von 40 % der 50 Hz-Angabe. Wichtig ist zu beachten, dass auch die Aggregatkomponenten, wie Sammler und Verflüssiger oder falls vorhanden Öl- und Flüssigkeitsabscheider den erhöhten Leistungen angepasst werden müssen. Beim Bezug eines fertigen Aggregates ist all dies bereits berücksichtigt.

Besonderheiten

Die Besonderheit des Goeldner-Motion-

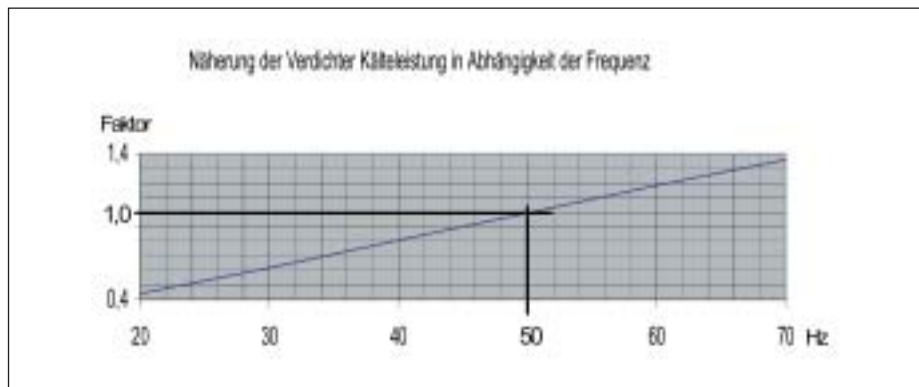


Diagramm 1: Auslegung Kälteleistung in Abhängigkeit der Drehzahl bzw. der Frequenz

Konzepts liegt in der Tatsache, dass der Inverter, wie oben beschrieben, über eine Konsole auf den Verdichter aufgesteckt und mit nur vier Schrauben befestigt ist. Der FU der Baureihe Motec, der Firma Lenze, ist für härteste Einsatzbedingungen konstruiert, so dass z. B. ein Temperaturbereich von $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ zulässig ist. Der FU darf sich dabei bis auf $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ erhitzen. Ab $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ Kühlkörpertemperatur gibt der Inverter eine Warnung aus, ab $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ schaltet er ab. Zudem erfüllt der Verdichter mit dem FU die Schutzart IP65. Die Robustheit der Motec zeigt sich auch in der Rüttelfestigkeit, die bei diesen Geräten bei 2 g liegt (Beschleunigungsfestigkeit, Germanischer Lloyd, allgemeine Bedingungen). Durch diese Gegebenheiten ist der FU bestens für den direkten Anbau an die sauggasgekühlten Goeldner-Verdichter der Baureihen HS 12 bis HS 34 gerüstet.

Beachtenswertes

Drehzahlgeregelte Hubkolbenverdichter haben aufgrund der oszillierenden Kolbenbewegung immer Drehmomentschwankungen, die sich als Schwingungen in die Anlage ausbreiten können ^[1]. Um diesen, aus den Schwankungen resultierenden, Schwingungen zu begegnen, sollte man im Vorfeld die Aufstellung von drehzahlgeregelten Aggregaten gut planen. Am besten sind Bodenaufstellungen auf einem gegen Schwingungen isolierten Sockel. Aber auch Wandmontagen sind problemlos möglich, wenn die Konsolen ausreichend dimensioniert sind und eine massive Wand vorhanden ist (Bild 6). Wichtig dabei ist immer, dass der Verdichter starr auf dem Rahmen montiert

wird und dieser über Schwingmetallpuffern oder Maschinenfüßen auf der Konsole oder auf dem Fundament steht. Damit wird eine Körperschallausbreitung vermieden. Im Bereich von 20 Hz bis 70 Hz sind die niederen Drehzahlen immer kritischer zu betrachten als die höheren. Ein Abfahren des gesamten Drehzahlbereichs bei der Inbetriebnahme zur Untersuchung auf kritische Frequenzen ist unerlässlich. Sollten sich übermäßige Schwingungen bei definierten Drehzahlen (Frequenzen) zeigen, müssen diese per Parameter ausgeblendet werden – eine Prozedur, die nur wenige Minuten in Anspruch nimmt, mit der aber eine große Wirkung erzielt wird. Bei Beachtung o.g. Tipps zur Aufstellung sollte allerdings keine Ausblendung notwendig werden.



Bild 6: Wandmontage eines FU-geregelten Verdichtersatzes mit massiver Konsole

Erfahrungen

Die Erfahrungen der HKT GmbH zeigen, dass die Komplexität des Themas bei weitem nicht erschöpft ist. Eine Erweiterung ist von Seiten der Anwender gewünscht und inzwischen lieferbar, so dass man dem Ziel „Aufstellen, Spannung anlegen und Einschalten“ immer näher kommt – zumindest in der großen Anzahl der Anwendungen, so wie sie im Gaststätten-, Klima- und Nahrungsmittelgewerbe vorliegen. Wir finden hier immer eine stark schwankende Kühllast, verursacht durch eine größere Anzahl von verschiedenen, ein-/ausschaltenden Kühlstellen. In den fünf Jahren der Anwendung wurde die Regelsoftware der FU stetig weiterentwickelt. Sie ist für den Anwendungsfall saugdruck- oder temperaturgeführte Drehzahlregelung eines Verdichters optimal geeignet. Außerdem haben die Erfahrungen gezeigt, dass entgegen anfänglicher Befürchtungen das Ölmanagement in Hinsicht auf Ölzirkulation in der Anlage, bzw. Rücklauf zum Verdichter, zu keinen Problemen geführt hat. D.h. die einschlägigen Regeln zur Verlegung des Rohrsystems bei leistungsgeregelten Verdichtern und Verbundanlagen werden im Feld grundsätzlich beachtet. Dies zeugt von der Fachkompetenz der Anlagenbauer, auch das sei erwähnt.

Ausblick

Die Ansteuerung eines parallelgeschalteten Verdichters, der sowohl im Ein-Aus-Betrieb (Bild 7) als auch im geregelten Betrieb gefahren werden kann (Bild 8), ist von Seiten des Inverters gut möglich und wird auch schon in großer Zahl praktiziert. Einen speziellen Verbundregler kann man damit aber derzeit noch nicht zu 100 % ersetzen. Dies wird erst gelingen, wenn eine leistungsfähige SPS-Steuerung in den FU von Seiten des Herstellers integriert wird.



Bild 7: Zweiervorbund, ein statischer und ein geregelter Verdichter

Möglich müsste es sein, denn eine anflanschbare SPS ist schon lieferbar. Allerdings liegen die Kosten dafür momentan noch höher als die eines Verbundreglers und sind damit zu hoch, wobei mit dieser Lösung auch anspruchsvolle Regelungsaufgaben programmiert werden könnten. Eine Busanbindung ist mit den Goeldner-Motion-Verdichtern ab 3 kW FU-Leistung möglich, hat sich jedoch noch nicht im erwarteten Maße durchgesetzt. Hierin ist noch ein großes Potential zu sehen.

Zusammenfassung

Die saugdruckgeführte Drehzahlregelung von halbhermetischen Hubkolbenverdichtern setzt sich aufgrund der gesunkenen Anschaffungskosten, der Steigerung der Zuverlässigkeit und dem Vertrauensgewinn in die Elektronik in der Kältetechnik im zunehmenden Maße durch. Dies bedeutet im nächsten Schritt, dass es jetzt darum geht, diese Technik so anwenderfreundlich wie möglich zu gestalten. Die Vorprogrammierung ist der erste Schritt in diese Richtung. Ein weiterer Schritt ist die Systemlösung, bei der die beteiligten Komponenten herstellerseitig aufeinander abgestimmt und optimiert sind. Damit wird der bis dato



Bild 8: Zweiervorbund, zwei geregelte Verdichter

maximale Anwendernutzen erreicht. Ersetzt man einen statisch geregelten Verdichter-Zweiervorbund (= Ein-Aus-Betrieb) durch einen drehzahlvariablen Verdichter, der einen möglichst großen Regelbereich hat, erreicht man ein besseres Regelverhalten in Abhängigkeit von der erforderlichen Kälteleistung und dadurch eine Kostenersparnis. Hier schlägt außerdem noch eine Systemvereinfachung, in Bezug auf das Ölmanagement zwischen den beiden Verdichtern, das bei FU-Anwendung wegfällt, zu Buche.

Dipl.-Ing. (FH) Karl Huber
HKT Huber-Kälte-Technik GmbH
83128 Halfing

Literatur

- [1] Karl Huber: „Drehzahlgeregelte Halbhermetik-Verdichter: Tipps für die Praxis – was man beachten sollte“ Artikel KKA 2/2002;
- [2] Lenze, Betriebsanleitung, Baureihe Motec 0,25...7,5kW, ED B82MV752 DE 4.0, 11/2002;