

Verdichterüberwachung*

Stephan Engelking, Frickenhausen

Verdichter sind in fast allen Kälteanlagen und Wärmepumpen die treibende Kraft für den Prozeß. Sie sind dafür verantwortlich, daß das Kühlgut kalt bleibt. Fällt der Verdichter aus, entstehen zum Teil erhebliche Kosten. Daher ist es sinnvoll, den Verdichter bestmöglich zu schützen.

Derzeit übliche Überwachungsgeräte überwachen den Öldruck, die Verdichtungsendtemperatur und die Wicklungstemperatur. Mittels intelligenter Elektronik ist es heute möglich, die Überwachungsfunktionen erheblich zu erweitern und damit die erreichbare hohe Lebensdauer des Verdichters sicherzustellen.

Ausgangspunkt

Bock Kältemaschinen baut derzeit mehr als 30 000 Verdichter pro Jahr in Frickenhausen, die alle in irgendwelchen Kälte- oder Klimaanlage ihren Dienst tun. Leider kommen von Zeit zu Zeit sogenannte Reklamationsfälle vor. Das klingt zunächst einmal negativ. Eine gute Seite hat das aber doch, denn durch diese Reklamationen ist ein Verdichterhersteller in der Lage, die häufigsten Ausfallursachen genau analysieren zu können. Das Fazit aus der Analyse bisher: Ölprobleme und Flüssigkeitsschläge sind die häufigsten Ausfallursachen. Stellt man dieser Analyse die derzeit üblichen Überwachungsfunktionen gegenüber, so erkennt man leicht, daß hier ein Bedarf an zusätzlichen Schutzfunktionen besteht. Beson-

ders wichtig sind Funktionen, die die Ölproblematik besser als nur ein Öl drucksensor erkennen und Funktionen, die z. B. bei Flüssigkeitsschlägen den Verdichter abschalten.

Der Entwicklung eines umfassenden Überwachungsgerätes lagen folgende Ziele zu Grunde:

- Bestmöglicher Schutz für den Verdichter, wo möglich umfassender als derzeit üblich.
- Alle Funktionen sollen in einem Gerät vereint und übersichtlich angeordnet sein.
- Einfache Montage und Bedienung.
- Ausbaufähig und kompatibel zu bestehender Elektronik (Anlagenüberwachung).
- Ereignisprotokolle

Die weitere Philosophie, die hinter der Entwicklung steht, ist die, daß dem Anlagenbauer ein Werkzeug zur Hand gegeben werden soll, mit dem er auftretende Störungen auf sehr einfache Weise erkennen kann. Ähnlich wie man es aus dem Cockpit im Pkw her kennt, soll durch einfache Symbole und Leuchtdioden die aufgetretene Störung angezeigt werden. Damit entfällt für den Anlagenbauer die aufwendige Fehlersuche. Er wird über das Überwachungsgerät bestmöglich informiert.

Ein entsprechendes Gerät wurde entwickelt und teilweise bereits erprobt. Nachfolgend sollen alle einzelnen Funktionen des neuen Gerätes vorgestellt werden.

Schutzfunktionen

Nachfolgend werden einige Gedanken zu den neu realisierten Schutzfunktionen angegeben.

zum Autor

Dr.-Ing. Stephan Engelking,
Leiter Versuch
und Entwicklung,
Bock
GmbH & Co.,
Frickenhausen



Motorschutz

Der wichtigste Grund für Motorschäden ist eine zu hohe Temperatur in der Wicklung. Die zu hohe Temperatur führt zu Schäden in der Isolierung und als Folge zum Kurzschluß (Motorbrand). Eine zu hohe Temperatur tritt normalerweise nur bei einer Überlastung auf. Ein ungewöhnlicher Grund kann aber auch ein 2-Phasen-Start sein.

Üblicherweise wird der Motor mit Hilfe von PTC-Temperaturfühlern geschützt. Sie sind in die Motorwicklung eingebaut, messen damit die Wicklungstemperatur und eine geeignete Elektronik schaltet den Motor bei zu hoher Temperatur ab.

Wird der Motor sehr schnell erwärmt, kann es aufgrund von verzögerter Aufheizung der PTC-Fühler dazu kommen, daß die Fühler den Verdichter „zu spät“ abschalten. Dadurch kann der Motor geschädigt werden. Die Ursache für schnelles Erwärmen kann beispielsweise darin liegen, daß der Verdichter mit zwei statt drei Phasen gestartet wird.

Nachdem der Verdichter freigegeben wurde, muß der Verdichter laufen. Dadurch entstehen Vibrationen, die durch

* Als Vortrag gehalten anlässlich der Deutschen Kälte-Klima-Tagung des DKV am 23. 11. 2001 in Ulm.

einen Schwingungssensor gemessen werden können. Ist die gemessene Schwingungsgeschwindigkeit nahezu Null, so ist der Start fehlgeschlagen. Dann sollte der Verdichter möglichst schnell wieder abgeschaltet werden. Wenn normale Schwingungen auftreten, ist alles in Ordnung und der Verdichter kann weiterhin laufen.



Bild 1 Verdichter sollte laufen, tut es aber nicht

Öl

Üblich ist die Überwachung des Öldruckes. Bei zu wenig Öldruck wird der Verdichter über die Sicherheitskette abgeschaltet. Ursachen sind einerseits zu wenig Öl oder Defekte im Ölkreislauf (z. B. Ölpumpe).



Bild 2 Zu wenig Öldruck, Ölmenge oder Defekte

Zu geringer Öldruck kann aber auch durch zu kaltes Öl bzw. zu viel Kältemittel im Öl entstehen. Das kann auftreten, wenn das Öl vor dem Start nicht ausreichend vorgewärmt ist. Mit einem Temperatursensor im Ölsumpf kann vermieden werden, daß der Verdichter bei zu kaltem Öl anläuft. Die Öltemperatur muß mindestens 25 °C betragen, vorher wird durch das Symbol „Öltemperatur zu niedrig“ (siehe Bild 3) angezeigt, daß der Verdichter wegen zu geringer Öltemperatur nicht startet.

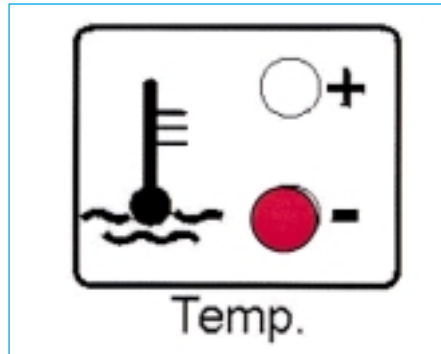


Bild 3 Öltemperatur zu niedrig

Öltemperatur/Service

Eine zu hohe Öltemperatur hat Einfluß auf die Lebensdauer des Verdichters. Der Alterungsprozeß des Öles ist von der Temperatur und der Belastung abhängig. Da die Verdichter bei unterschiedlichsten Randbedingungen betrieben werden, ist es sehr schwer, konkrete Ölservice-Intervalle anzugeben. Üblicherweise werden jährliche Ölservice-Intervalle empfohlen.

Bei hohen Öltemperaturen (100 °C) und sehr häufigem Takten, werden die Triebwerkskomponenten im Verdichter stärker beansprucht, als bei niedriger Öltemperatur und Dauerbetrieb. Daher wurde in dem neuen Überwachungsgerät eine Logik hinterlegt, die, abhängig von den Betriebsbedingungen, sinnvolle Ölservice-Intervalle berechnet. Mit Hilfe von Leuchtdioden wird angezeigt, wann der Ölservice empfohlen wird. Die Intervalle liegen je nach Belastung in einem Intervall zwischen einem und drei Jahren.

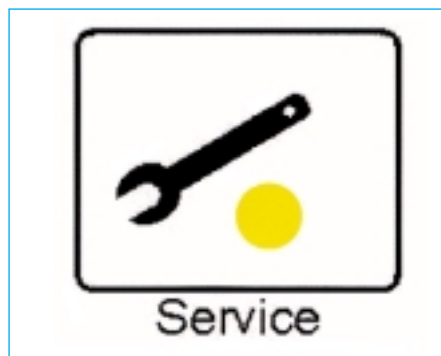


Bild 4 Aus Öltemperatur und Schalthäufigkeit ergibt sich die Serviceempfehlung

Um die notwendige Kapazität im Mikroprozessor gering zu halten, wird bei der Berechnung von einem Pool ausgegangen, von dem je nach Betriebsbedingung pro Minute mehr oder weniger abgezogen wird. Ist der Pool aufgebraucht, erscheint die entsprechende Service-Empfehlung.

Verdichtungsendtemperatur

Der Betrieb in den Randgebieten des zulässigen Anwendungsbereiches (niedrige Verdampfung, hohe Kondensation) stellt für den Verdichter, speziell auch für das Öl, eine erhebliche thermische Belastung dar. Die Einsatzgrenze liegt da, wo die Verdichtungsendtemperatur 140 °C erreicht. Steigt die Temperatur darüber hinaus, sollte der Verdichter abgeschaltet werden. Üblicherweise wird in dem Drucksammelraum des Verdichters, häufig in der Nähe des Druckabsperrentils, ein PTC-Fühler eingebaut, der bei Überschreitung der zulässigen Temperatur den Verdichter abschaltet.

Die Ursachen für einen Temperaturanstieg können vielfältig sein. Eine Ursache ist steigender Kondensationsdruck. Hierbei kann mit Hilfe des PTC-Fühler die steigende Temperatur zuverlässig erkannt werden und der Verdichter wird abgeschaltet. Eine weitere Ursache kann aber auch ein Defekt in einer Ventilplatte sein. Selbst geringfügige Leckagen an einer Drucklamelle können zu einem erheblichen Anstieg in der Temperatur führen. Ein derartiger Defekt tritt immer erst an einer Ventilplatte auf, demnach steigt zunächst immer nur die Verdichtungsendtemperatur in einer Zylinderbank. Im Drucksammelraum stellt sich dann eine Mischtemperatur ein, die ja nach Anzahl von Zylinderbänken etwas über der für den Betriebspunkt normalen Temperatur liegt. Der PTC-Fühler schaltet aber erst dann ab, wenn die 140 °C überschritten werden. So kann es vorkommen, daß der Verdichter einige Zeit mit einer defekten Ventilplatte betrieben wird, was unweigerlich zu größeren Schäden führt als notwendig. Dem vorzubeugen, wird im neuen Schutzgerät jede einzelne Zylinderbank mit einem separaten PTC-Fühler überwacht. Damit ist z. B. eine defekte Ventilplatte frühzeitig erkennbar. Mit der nachfolgend angegebenen Symbolik wird die zu hohe Temperatur angezeigt.

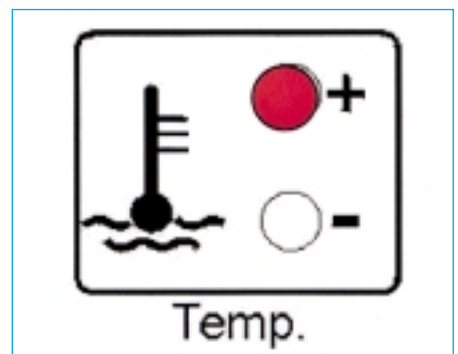


Bild 5 Temperatur zu hoch

Schalthäufigkeit

Normalerweise schreiben Verdichterhersteller vor, wie oft pro Stunde ein Verdichter gestartet werden darf. Dabei ist 12mal pro Stunde ein üblicher Wert. Die Begrenzung hat einerseits damit zu tun, daß der Antriebsmotor bei jedem Start den Anlaufstrom aufnimmt und dadurch mehr erwärmt wird, als im Dauerbetrieb, und andererseits damit, daß bei jedem Start zunächst kein Öl zur Schmierung des Triebwerks vorhanden ist. Die Ölpumpe muß schließlich erst einmal pumpen, bevor ein Öldruck aufgebaut werden kann. Demnach bedeutet jeder Start Mangelschmierung. Das Triebwerk ist so ausgelegt, daß es sehr gute Notlaufeigenschaften hat, damit also die Mangelschmierung in der Startphase mühelos überlebt. Zur Schonung des Triebwerks ist es jedoch ratsam, die Schalthäufigkeit von 12mal pro Stunde nicht zu überschreiten. In dem Schutzgerät wurde daher eine Zeitverzögerung eingebaut, die den Verdichter nach dem Abschalten erst in frühestens 3 Minuten wieder freigibt. Das ergibt theoretisch 20 Schaltungen pro Stunde. Da der Verdichter aber mindestens X-Minuten in Betrieb ist, kann es praktisch zu nicht mehr als den empfohlenen 12 Schaltungen kommen. Die Schalthäufigkeit wird in dem Überwachungsgerät erfaßt und dient zusätzlich der Bestimmung der Ölservice-Intervalle.

Kommt von Seiten der Anlage schon vor Ablauf der drei Minuten Verzögerungszeit die Anforderung nach Kälteleistung, wird durch das Symbol nach Bild 6 angezeigt, daß der Verdichter starten sollte, zum Schutz gegen zu häufiges Takten aber nicht gestartet wurde. Nach Ablauf der Verzögerungszeit läuft der Verdichter dann automatisch an.

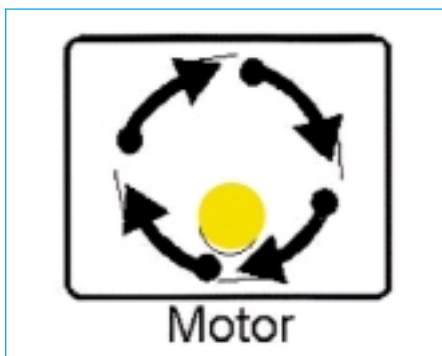


Bild 6 Schalthäufigkeit/Verzögerungszeit

Flüssigkeitsschläge

Der wichtigste Aspekt bei flüssigem Kältemittel in der Saugleitung ist der, daß komprimierte Flüssigkeit sein Volumen nicht ändert. Flüssiges Kältemittel führt an den Druck- und Sauglamellen der Ventilplatten zu erheblichen Druckspitzen. Bei andauernder Flüssigkeit kann dies zum Bruch von Lamellen führen. Grundsätzlich muß man hier zwischen Flüssigkeitsschlägen im „normalen“ Betrieb und Flüssigkeitsschlägen in der Startphase unterscheiden. Im „normalen“ Betrieb kann der Verdichter ein wenig Flüssigkeit vertragen. Im allgemeinen läuft der Verdichter dann etwas ruhiger und solange der Zustand nur kurzzeitig besteht, gibt es keinen Grund zur Besorgnis. Flüssigkeit in der Startphase ist für den Verdichter schon unangenehm. In diesem Fall treten erhebliche Vibrationen und Geräusche auf. Flüssigkeit in der Startphase kann je nach Dauer und Häufigkeit sehr schnell zu Schäden an den Ventilplatten führen. Durch den Schwingungssensor wird in dem neuen Überwachungsgerät diese Ausfallursache erkannt und durch das Symbol „Schwingungen“ (siehe Bild 7) dargestellt.

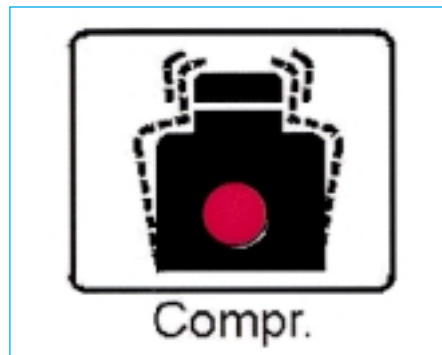


Bild 7 Schwingungen

Bei unzulässig hohen Schwingungen wird der Verdichter abgeschaltet. Damit lassen sich größere Schäden vermeiden.

Schwingungsmessung

Die wesentliche Neuigkeit an dem Überwachungsgerät besteht darin, daß ein Schwingungssensor integriert ist. Dieser Sensor ermittelt die Schwinggeschwindigkeit des Verdichtergehäuses. Die Schwinggeschwindigkeit wird analysiert und kann dazu herangezogen werden zu ermitteln, ob der Verdichter läuft und ob irgendwelche unnatürlich hohen Vibrationen vorliegen. Zur Analyse mußte zunächst ermittelt werden, in welchem Bereich Schwingungen im „normalen“ Betrieb liegen. Dazu wurden mit verschiedenen

Verdichtern entsprechende Messungen durchgeführt. Da das Gerät möglichst universell einsetzbar sein sollte, wurden Messungen an 2-, 4- und 6-Zylinder-Verdichtern durchgeführt. Bei jeder Messung wurde der komplette Einsatzbereich des Verdichters mit dem Kältemittel R 404A abgefahren. Zusätzlich wurden Messungen mit Frequenzumformern, Messungen bei künstlich defekten Ventilplatten und Messungen mit flüssigem Kältemittel im Betrieb und in der Startphase durchgeführt. Darüber hinaus wurden auch Messungen durchgeführt, bei denen die Verdichter verschiedenartig aufgestellt wurden: Weiche Aufstellung auf Federn, harte Aufstellung direkt geschraubt und normale Aufstellung auf Serien-Schwingmetallen. Um den Einfluß des Kältemittels zu ermitteln, wurden Vergleichsmessungen mit R 134a durchgeführt.

Alle Messungen hatten das Ziel, eindeutige Grenzwerte für zulässige Schwingungen zu ermitteln. Ergebnis:

- Maximal gemessene Schwingung 1,1 V
- Minimal gemessene Schwingung 0,2 V
- Die Startphase (Anlaufen des Verdichters) dauert ca. 100 ms; Schwingung 2-3 V.

Anmerkung: Die Schwingungswerte werden in V und nicht in mm/s ermittelt. Zwar entspricht ein Spannungswert einem physikalischen Schwingungswert, aber die Auswertung mittels Elektronik stützt sich wiederum auf die Spannungswerte. Daher machen die physikalischen Einheiten hier keinen Sinn.

In der Elektronik wurden jetzt Grenzwerte eingebaut. 0,2 V als unterer Wert und 2 V als oberer Wert.

Entsprechend dem nachfolgend angegebenen Schema wird ermittelt ob einer der Grenzen überschritten wird.:

- Die erste Sekunde nach Start wird nicht gewertet.
- Danach wird 10 mal pro Sekunde gemessen.
- Alle Pegel die größer als 2 V sind = > High-Zähler wird incrementiert.
- Alle Pegel die kleiner als 2 V sind = > High-Zähler wird decrementiert.
- Ist der High-Zähler größer als 10 = > Verdichter wird abgeschaltet.

Analog wurde für den unteren Grenzwert ein Low-Zähler eingeführt und ein entsprechender Algorithmus realisiert. Der besondere Vorteil bei diesem Algorithmus ist der, daß einzelne Ausreißer noch nicht zum Abschalten des Verdichters

ters führen. Erst wenn tatsächlich eine Störung vorliegt, schaltet das Gerät den Verdichter ab. Z. B. bei Start mit flüssigem Kältemittel wird der Verdichter genau 2 Sekunden lang laufen. Dann wird der Verdichter zuverlässig abgeschaltet.

Das Ergebnis

Das Ergebnis der durchgeführten Entwicklungsarbeiten ist das BCM 2000, wie in der Abbildung 8 gezeigt.

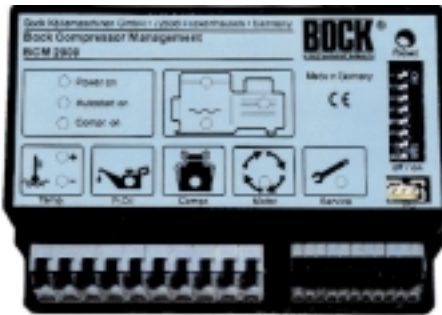


Bild 8 Das BCM 2000

Alle Schutzfunktionen sind einzeln über die Schalterleiste auf der rechten Seite abschaltbar. Die Notwendigkeit einzelne Funktionen abschalten zu können, kann sich durch Defekte z. B. an einem Öldrucksensor ergeben.

Insgesamt werden 4 unterschiedliche Sensoren eingesetzt und 5 Funktionen realisiert. Die einzelnen Signale werden in einem Mikroprozessor verarbeitet und den einzelnen Funktionen zugeordnet. Alle Funktionen zeigen auftretende Fehler mit Leuchtdioden an. Für den Anlagenbauer ist es also sehr einfach nachzuvollziehen, warum der Verdichter nicht mehr läuft. Der Mikroprozessor hat zusätzlich einen

kleinen Speicher, in dem alle wesentlichen Ereignisse in der zeitlichen Reihenfolge gespeichert werden. Ist der Speicher voll, wird das älteste Ereignis gelöscht und das neue Ereignis aufgenommen. Damit ist ein zeitlich begrenzter Rückblick möglich, was bei der Fehlersuche zusätzliche Hilfe leisten kann.

Das Gerät wird wie ein übliches Motorüberwachungsgerät in die Sicherheitskette eingebunden. Es bietet die Möglichkeit, über eine Schnittstelle einen PC anzuschließen und damit alle Funktionen und den Ereignisspeicher auszulesen.

Wesentlich an dem neuen Gerät ist jedoch, daß mehr Ausfallursachen erkannt werden als bislang und daß Ausfallursachen eindeutig über Leuchtdioden angezeigt werden, wodurch aufwendige Fehlersuchen entfallen und Verdichterschäden vermieden werden.

Es ist geplant zunächst nur die „großen“ Verdichter mit diesem neuen Überwachungsgerät auszustatten. Prinzipiell kann das Gerät aber auch bei kleineren Verdichtern verwendet werden. Hier ist die Frage, ob der Markt bereit ist für die entsprechenden Überwachungsfunktionen den Mehrpreis zu zahlen. Generell wird das Gerät in jedem Fall werkseitig in den Klemmenkasten des Verdichters eingebaut, vollständig mit Sensoren bestückt und elektrisch verschaltet. Die Gesamtkosten sind auf jeden Fall günstiger als wenn man alle Funktionen einzeln realisiert.

Zusammenfassung

Ein geeigneter Verdichterschutz läßt sich realisieren, indem zunächst Ausfallursachen analysiert werden. Dann muß geeignete Sensorik entwickelt werden, um

diese Ursachen im Betrieb frühzeitig zu erkennen. Mittels Elektronik muß der Verdichter ausgeschaltet werden, wenn die Sensorik potentielle Ursachen erkennt.

Mit der bislang häufig eingesetzten Sensorik (Öldifferenzdruck, Wickelkopftemperatur und Verdichtungsendtemperatur) können bereits wesentliche Ausfallursachen frühzeitig erkannt werden und der Verdichter kann abgeschaltet werden, bevor er Schaden nimmt. Weitere Ausfallursachen, die mit der neu entwickelten Sensorik erkannt werden, sind: Flüssigkeitsschläge in der Anlaufphase, Erkennung ob der Verdichter anläuft, zu häufiges Takten und Start bei zu niedriger Öltemperatur. Der Kern der neuen Sensorik ist ein Schwingungssensor. Dazu kommt ein intelligenter Mikroprozessor, der die Signale auswertet. Der Prozessor analysiert alle eingehenden Signale (Temperaturen, Öldruck, Schalthäufigkeit, Schwingung) und kann neben der Schutzfunktion, d. h. Ausschalten bei Auftreten von Ausfallursachen, sogar noch eine Empfehlung für Ölservice-Intervalle geben.

Ein entsprechendes Gerät (BCM 2000) wurde bei Bock entwickelt und wird bei großen Verdichtern eingebaut. Neben den eigentlichen Funktionen wurde bei der Entwicklung besonderer Wert auf einfache Bedienung gelegt. Gleichzeitig sollte der Anlagenbauer in die Lage versetzt werden Ausfallursachen auf einen Blick zu erkennen, wodurch die zeitaufwendigen Fehlersuchen erheblich vereinfacht werden. Insgesamt soll das Gerät einen möglichst umfassenden Schutz bieten und die erreichbare hohe Lebensdauer und Betriebssicherheit des Verdichters sicherstellen. □