

Diss. ETH Nr. 10069

Scrollverdichter mit Drehzahlvariation

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels
Doktor der Technischen Wissenschaften
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von
THOMAS AFJEI
Dipl.-Ing. Univ. Stuttgart
geboren am 1. Februar 1957
in Reutlingen (BRD)

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. P. Suter, Referent
Prof. Dr. D. Favrat, Korreferent

Zürich 1993

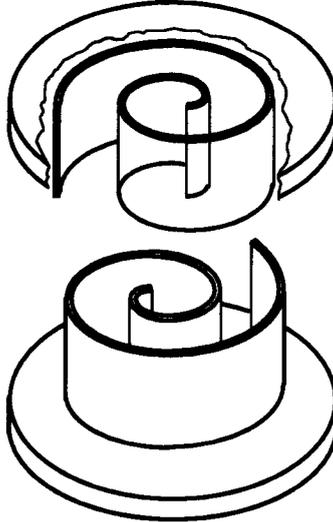


Juris Druck + Verlag Dietikon
1993

Zusammenfassung

Neuartige Scrollverdichter und kostengünstige Frequenzumformer (Inverter) ermöglichen den Einsatz von Wärmepumpen, bei denen die Heizleistung mittels der kontinuierlichen Verdichterdrehzahlvariation an stark schwankende Lastprofile angepaßt werden kann.

Eine optimale Auslegung von drehzahlgeregelten Luft-Wasser-Wärmepumpen unter schweizerischen Klimabedingungen kann mit Simulationsprogrammen gewährleistet werden. Hierzu sind jedoch genauere Kenntnisse der Inverter-Verdichter-Charakteristik erforderlich. Aus diesem Grunde wurden Berechnungsmodelle für pulsweitenmodulierende Inverter und drehzahlvariable Scrollverdichter mit Asynchronantrieb entwickelt. Von besonderem Vorteil ist dabei, daß diese Modelle mit den entsprechenden Stoffwerten einfach auf neue Kältemittel übertragen werden können. Dadurch wird eine Prognose der veränderten Verdichtercharakteristik ohne aufwendige Experimente ermöglicht. Die Rechenmodelle wurden mit Messungen auf einem speziellen Wärmepumpen-Prüfstand verifiziert. Dabei wurde das Druckverhältnis von drei bis fünf und die Inverterfrequenz von 30 bis 115 Hz variiert. In diesem Betriebsbereich ergab sich eine durchschnittliche Genauigkeit von 5%.



Das Bild zeigt die beiden ineinandergreifenden Spiralen (engl.: scrolls) eines Spiralverdichters; die Form der Spiralen entspricht einer Evolvente.

Die Verluste im Inverter werden in Abhängigkeit des Ausgangsstroms und der internen Taktfrequenz berechnet. Die letztere wird herangezogen, weil die frequenzabhängigen Verluste durch die Schaltverluste der eingesetzten Halbleiterbausteine verursacht werden. Die Ausgangsfrequenz ist als Einflußgröße ungeeignet, weil das als *carrier ratio* bezeichnete Verhältnis zwischen Ausgangs- und Taktfrequenz herstellerspezifisch ist.

Das Modell für den Scrollverdichter verwendet zehn dimensionslose Koeffizienten und stützt sich auf die relevanten physikalischen Phänomene ab. Die Sensitivität des Gesamtergebnisses auf die Genauigkeit der einzelnen Koeffizienten konnte gering gehalten werden, weil im Verdichtermmodell nur die Abweichung vom idealen Kompressionsprozeß berechnet wird. Einige der Koeffizienten können Nachschlagwerken entnommen oder mit ausreichender Genauigkeit abgeschätzt werden. Die anderen wären aus detaillierten Herstellerangaben zu errechnen, müssen jedoch in praxi wegen der Vertraulichkeit dieser Angaben zumeist empirisch ermittelt werden.

Als Schwerpunkt dieser Arbeit werden die besonderen Leckagemechanismen eines Scrollverdichters mit Öleinspritzung detailliert untersucht. Sie ergeben sich hauptsächlich aus der Kinematik der sich abrollenden Spiralenflanken und der Löslichkeit des Leckagefluids, einem Kältemittel-Öl-Gemisch. Es zeigt sich, daß der im Schmieröl gelöste Kältemittelanteil durch die plötzliche Druckminderung beim Passieren der Dichtkante in der Saugkammer verdampft (*flashing*). Dadurch wird der Liefergrad entscheidend beeinflusst. Dieser Effekt tritt besonders dann auf, wenn zur Erweiterung des Betriebsbereichs bei höheren Druckverhältnissen ein spezielles Kühlverfahren zur Anwendung kommt, bei dem flüssiges Kältemittel in die Saugleitung eingespritzt und Naßdampf komprimiert wird. Die Verdichtungsendtemperatur und die mit ihr zusammenhängenden Gehäuseverluste werden bei Naßdampfkompensation wirkungsvoll reduziert. Die anderen Verdichtercharakteristika, wie der Liefergrad und der adiabate Wirkungsgrad, verschlechtern sich jedoch so sehr, daß dieses Kühlverfahren nur für kurze Betriebszeiten zur Deckung der Maximallast empfohlen werden kann.

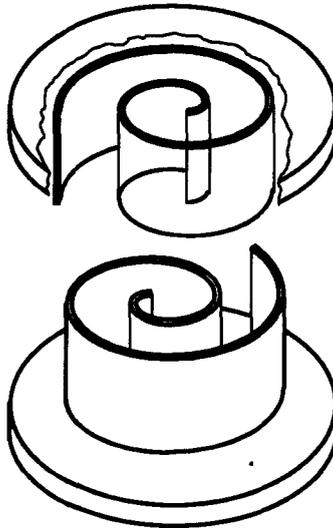
Schlagwörter:

Scrollverdichter, Drehzahlregelung, Wärmepumpe, Frequenzumformer

Abstract

New scroll compressors and economical inverters make possible heat pumps, where the heating capacity can closely match strongly fluctuating load demands by means of continuous control of compressor speed.

An optimal design of variable speed air-to-water heat pumps, operating under Swiss meteorological conditions, can be accomplished with simulation programs. For this purpose a more detailed knowledge of the inverter-compressor characteristics is necessary. As a consequence, simulation models for pulse-width modulating inverters and variable speed scroll compressors with induction drive have been developed. As a major advantage these models can be easily transferred to new refrigerants by using the corresponding thermodynamic properties. In this way a forecast of the modified compressor characteristics is possible without the need for expensive experiments. The calculation models have been verified with measurements on a special test rig for heat pumps. There, the pressure ratio varied from three to five and the inverter frequency from 30 to 115 Hz. In this operating range an average accuracy of 5% has been demonstrated.



The drawing shows the two assembled scrolls of a scroll compressor; the shape of the scrolls corresponds to an involute.

The inverter losses are calculated in relation to the output current and the internal switching rate. The latter is used, since the frequency dependent losses are caused by the switching losses of the semiconductors used. The inverter output frequency cannot be used, since the ratio between output frequency and switching rate, the so called carrier ratio, is manufacturer dependent.

The model of the scroll compressor uses ten dimensionless coefficients and is based upon the relevant physical phenomena. The sensitivity of the result to the accuracy of the individual coefficients can be kept small since only the deviation from the ideal compression process is calculated in the compressor model. Some of the coefficients can be obtained from engineering handbooks or estimated with sufficient accuracy. The others can be calculated from detailed manufacturer data, although in most cases they have to be obtained empirically since they are treated confidentially.

As a emphasis of this thesis the specific leakage mechanisms in an oil injected scroll compressor are scrutinised in detail. They result mainly from the kinetics of the rolling scroll flanks and the solubility of the leakage fluid, a refrigerant oil mixture. It can be demonstrated that the proportion of the refrigerant dissolved in the lubricating oil flashes in the suction chamber after passing the contact point. In this way the mass flow efficiency is strongly influenced. This effect is particularly noticeable if a special cooling mode is applied, where liquid refrigerant is injected into the suction pipe and hence wet vapour is compressed to extend the operation range at higher pressure ratios.

The compression end temperature and the related shell losses are effectively reduced during wet compression. The other compressor key values, however, such as the mass flow efficiency and the adiabatic efficiency deteriorate so strongly that this cooling method can only be recommended for short operating periods to cover maximum load demand.

Key Words:

scroll compressor, speed control, heat pump, inverter