

Kapitel 8

Elektrische Antriebe in der Kältetechnik

In diesem Kapitel sollen die **elektromotorischen Antriebe**, die im Kälteanlagenbau eine wichtige Stellung einnehmen, näher betrachtet werden. Einen wesentlichen Teil stellen darin die Verdichterantriebe dar. Daneben sind aber elektromotorische Antriebe für den Verdampferventilator und Verflüssigerventilator von Bedeutung. Zu unterscheiden sind prinzipiell Wechselstrom- und Drehstromantriebe. Bei Drehstrommotoren, die im Kälteanlagenbau Anwendung finden, handelt es sich um einen Drehstrom-**Asynchronmotor**, auf dessen Betriebsverhalten im Kapitel 8.4 näher eingegangen wird.

8.1 Erzeugung eines Drehfeldes

Am Beispiel einer Dreiphasenwechselspannung in Verbindung mit den Grundlagen aus Kapitel 5 wird die Entstehung eines Drehfeldes beschrieben. Das Drehfeld ist notwendig, um eine Motorwelle in eine Rotation zu bringen. Betrachten wir hierzu drei Spulen eines Motors die an einer Dreiphasenwechselspannung nach Abbildung 8.1 angeschlossen sind.

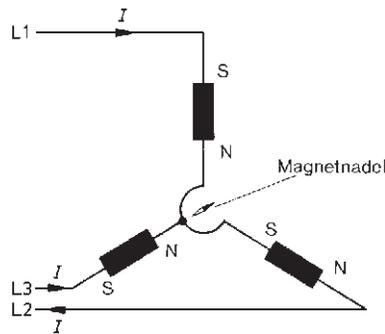


Abb. 8.1: Spulen an Dreiphasenwechselspannung

Die Spulen sind im Winkel von 120° angeordnet und im Stern zusammengeschaltet. In der Mitte der drei Spulen befindet sich eine Magnetnadel. Wird nun eine Dreiphasenwechselspannung nach Abbildung 7.1 angeschlossen, so werden die Spulen von einem Strom durchflossen, der seine Richtung ständig ändert. Dadurch entsteht an den Spulenenden ein **Magnetfeld mit wechselnden Polen**. Je nach momentaner Stromrichtung der drei Phasen, ist an den Spulenenden ein resultierender Nordpol und Südpol festzustellen. Die Pole ändern ihre Lage mit der Änderung der Stromrichtung. Dadurch wird die Magnetnadel in Bewegung gesetzt. Nach einer abgelaufenen Periode hat sich die Magnetnadel um 360° gedreht.

In einem Motor befindet sich anstelle einer Magnethülse ein sogenannter **Läufer** oder **Rotor**. Befindet sich dieser Rotor nun im rotierenden Magnetfeld, so wird in diesem ein Strom und damit auch ein Magnetfeld erzeugt. Die dadurch entstehende Kraftwirkung (vgl. Kapitel 5.2) wird in eine rotierende Bewegung des Läufers umgesetzt.

Die oben kurz dargestellten Erklärungen sind physikalisch weitaus komplizierter zu betrachten. Hierauf soll an dieser Stelle aber nicht weiter eingegangen werden. Wichtig ist die Erkenntnis, dass zur Entstehung eines Drehfeldes eine Phasenverschiebung von Spannungen zur Erzeugung von rotierenden Magnetfeldern notwendig ist.

8.2 Drehzahl, Drehmoment und Leistung

Die an dem Läufer befindliche **Welle** dient der **Kraftübertragung zur Arbeitsmaschine**. Dabei dreht sich der Läufer mit der Drehzahl n (z. B. $n = 1400 \frac{1}{\text{min}}$). Die entstehende Kraft kann man sich an einem Punkt am Umfang der Welle vorstellen.

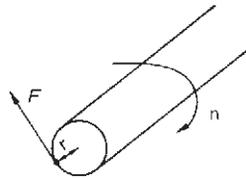


Abb. 8.2: Kraftübertragung an einer Welle

Für die mechanische Leistung gilt allgemein:

$$P = \frac{W}{t} \quad \text{mit} \quad W = F \cdot s \quad \text{wird} \quad P = F \cdot \frac{s}{t} = F \cdot v$$

Die Geschwindigkeit v des Punktes, an dem die Kraft wirksam wird, hängt von der Drehzahl n und dem zurückgelegten Weg s ab. Für eine Umdrehung ist der zurückgelegte Weg der Umfang der Welle:

$$s = 2 \cdot \pi \cdot r$$

Die dabei zurückgelegte Zeit ist:

$$t = \frac{1}{n}$$

Setzt man diese Werte in die Gleichung der Leistung ein, so erhält man:

$$P = F \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{\frac{1}{n}} = F \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n \quad \text{oder} \quad P = (F \cdot r) \cdot 2 \cdot \pi \cdot n$$

Das Produkt aus Kraft mal Weg ist das Drehmoment M .

$$P = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \tag{8.1}$$

Da $P = \frac{U^2}{R}$ und $P = I^2 \cdot U$ gilt:

$$M \sim U^2 \quad \text{und} \quad M \sim I^2 \tag{8.2}$$

Das Drehmoment eines Motors ist dem Quadrat der Spannung und dem Quadrat des Stromes proportional.

Für den einwandfreien **Anlauf eines Verdichters** ist die Aussage später von wesentlicher Bedeutung.

Der oben hergeleitete Zusammenhang soll in einem Beispiel verdeutlicht werden.

Beispiel 1

Der elektrische Antrieb eines Verdichters hat bei einer Drehzahl $n = 1440 \frac{1}{\text{min}}$ ein Drehmoment $M = 10 \text{ Nm}$ (Nm = Newtonmeter).

Gesucht:

Welche mechanische Leistung wird an der Welle abgegeben?

Lösung:

$$P = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n = 10 \text{ Nm} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1440 \frac{1}{\text{min}} = 10 \text{ Nm} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1440 \frac{1}{60\text{s}}$$

$$P = 1508 \text{ W} \approx 1,5 \text{ kW} \quad (1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws})$$

Beispiel 2

Für die Daten eines Motors wird die Drehzahl in der Einheit $\frac{1}{\text{min}}$ und das Drehmoment meistens in Nm angegeben. Die mechanische Leistung soll in der Einheit kW angegeben werden.

Gesucht:

Eine Gleichung, die für diese Einheit gültig ist.

Lösung:

$$P = M \cdot n \cdot 2 \cdot \pi \quad \text{in der Einheit} \quad \frac{\text{Nm}}{\text{min}} = \frac{\text{Ws}}{\text{min}} = \frac{\text{Ws}}{60 \text{ s}} = \frac{\text{kWs}}{1000 \cdot 60 \text{ s}}$$

$$P \quad \text{in} \quad \text{kW} \cdot \frac{1}{1000 \cdot 60} \quad \text{Daraus folgt:}$$

$$P = M \cdot n \cdot \frac{2 \cdot \pi}{1000 \cdot 60} \quad \text{und} \quad \frac{2 \cdot \pi}{1000 \cdot 60} = \frac{1}{9549}$$

Allgemein gilt:

$$P = \frac{M \cdot n}{9549} \tag{8.3}$$

Wobei immer

- Drehzahl in $\frac{1}{\text{min}}$
- Drehmoment in Nm
- Leistung in kW

angegeben werden muss!

Beispiel 3

Es ist die Aufgabe aus Beispiel 1 mit der Formel (8.3) zu berechnen.

Lösung:

$$P = \frac{10 \text{ Nm} \cdot 1440 \frac{1}{\text{min}}}{9549} = 1,508 \text{ kW}$$

8.3 Der Wechselstrommotor im Kälteanlagenbau

Haupt Einsatzgebiet des Wechselstrommotors in Kälteanlagen sind die Antriebe in **hermetischen Verdichtern**. Aber auch **Verdampfer- und Verflüssigerventilatormotoren** können als Wechselstrommotoren ausgeführt sein.

8.3.1 Aufbau und Betriebsverhalten

Da beim einphasigen Betrieb (Wechselstrom) einer Motorwicklung kein Drehfeld – wie in 8.1 beschrieben – auftreten kann, muss dieses mit einer **Hilfsphase** erzeugt werden. In dieser Hilfsphase muss eine zur **Hauptphase** phasenverschobene Wechselspannung entstehen. Diese beiden Phasen können dann in den Motorwicklungen ein Drehfeld entstehen lassen. Diese Hilfsphase entsteht durch eine zweite Motorwicklung die **Hilfswicklung**. Ein mit der Hilfswicklung

in Reihe geschalteter Kondensator sorgt für die notwendige Phasenverschiebung (vgl. Kapitel 6.5). Nach DIN 40715 ist das Schaltzeichen eines solchen Motors genormt.

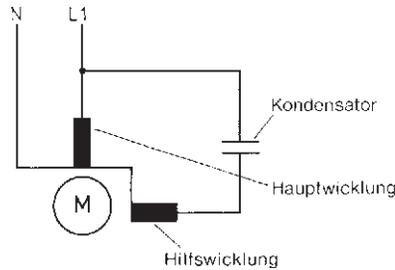


Abb. 8.3: Schaltzeichen eines Wechselstrommotors mit Hilfswicklung und Kondensator

Die **Hauptwicklung** hat die Aufgabe, die Kraftwirkung des magnetischen Feldes auf die Motorwelle zu übertragen. Die Wicklungen werden wie folgt gekennzeichnet:

Hauptwicklung: $U1 - U2$

Hilfswicklung: $Z1 - Z2$

Soll die **Drehrichtung** eines Wechselstrommotors, der nach diesem Prinzip arbeitet, geändert werden, so ist der Kondensator entsprechend Abbildung 8.4 anzuschließen. Dies ist eventuell notwendig, wenn ein Ventilatormotor die falsche Drehrichtung hat.

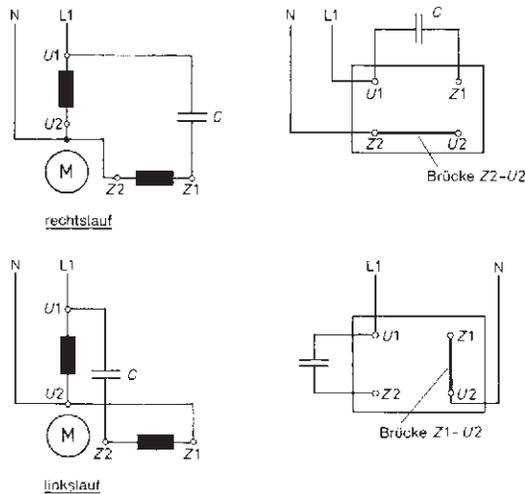


Abb. 8.4: Wechselstrommotor mit Bezeichnung der Wicklungen in Rechtslauf und Linkslauf

Der mit der Hilfswicklung in Reihe geschaltete Kondensator hat neben der Aufgabe eine Phasenverschiebung zu erzeugen, auch die Möglichkeit das **Anlaufdrehmoment** zu erhöhen. Man unterscheidet also zwischen **Betriebskondensator** C_B und **Anlaufkondensator** C_A . Es besteht daher die Möglichkeit, dass ein Wechselstrommotor sowohl einen Betriebskondensator, als auch einen Anlaufkondensator oder beide Kondensatoren hat. Da der Anlaufkondensator nur das Anlaufdrehmoment des Motors erhöht, ansonsten die Stromaufnahme in der Hilfswicklung miterhöht und somit diese unzulässig hoch erwärmt, ist dieser nach erfolgtem Anlauf abzuschalten.

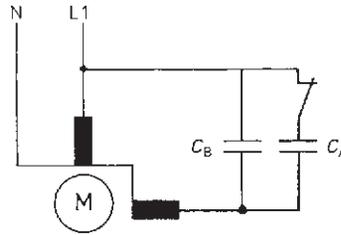


Abb. 8.5: Anlauf- und Betriebskondensator

Bei Motoren mit nur einem Anlaufkondensator ist dieser ebenfalls nach erfolgtem Anlauf wegzuschalten. Das Wegschalten kann auf zwei Arten erfolgen:

- mit einem **stromabhängigen Relais**
- mit einem **spannungsabhängigen Relais**

Diese zwei Arten sollen anhand von Schaltbildern näher untersucht werden.

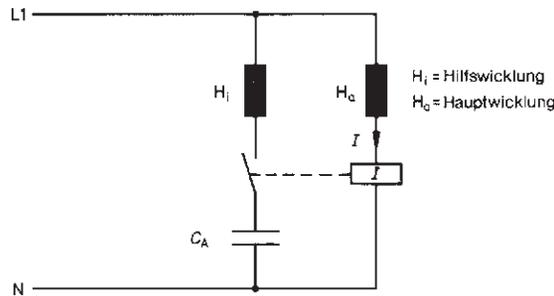


Abb. 8.6: Stromabhängiges Relais

In Reihe zur Hauptwicklung liegt das **stromabhängige Relais**, dessen Schließkontakt sich im Stromkreis der Hilfswicklung mit dem Anlaufkondensator befindet. Im Anlaufmoment fließt in der Hauptwicklung ein hoher Strom, der das Relais anziehen lässt und somit den Stromkreis der Hilfswicklung schließt. Nach erfolgtem Anlauf sinkt die Stromstärke in der Hauptwicklung

und das Relais fällt ab, da die Stromstärke unterhalb der Haltestromstärke des Relais abgefallen ist. Der Kontakt im Stromkreis der Hilfswicklung öffnet und schaltet die Hilfswicklung mit Anlaufkondensator ab.

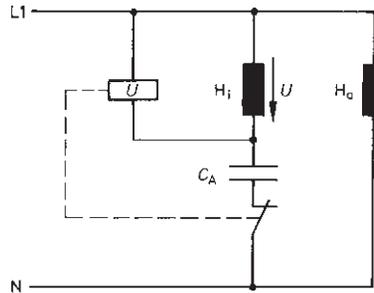


Abb. 8.7: Spannungsabhängiges Relais

Das **spannungsabhängige Relais** liegt parallel zur Hilfswicklung. Der zugehörige Öffnerkontakt befindet sich im Stromkreis der Hilfswicklung. Im Einschaltmoment ist die Spannung an der Hilfswicklung noch nicht hoch genug, um das Relais anziehen zu lassen. Der Kontakt des Relais ist demnach noch geschlossen und die Hilfswicklung ist mit dem Anlaufkondensator aktiv. Nach erfolgtem Anlauf ist auch die Spannung an der Hilfswicklung angestiegen und das Relais zieht an und öffnet den Stromkreis der Hilfswicklung. Hilfswicklung und Anlaufkondensator sind abgeschaltet. In der Hilfswicklung wird aber weiterhin eine Spannung induziert, die ausreicht, um das Relais angezogen zu lassen und damit den Kontakt offen zu halten.

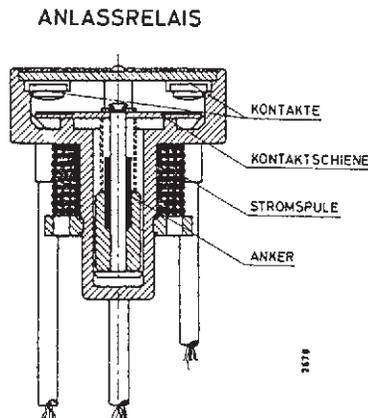


Abb. 8.8: Anlaufrelais (Danfoss Unterlagen)