

1.2 Elektrischer Strom

Die Elektronen sind im Atom fest an den Atomkern gebunden. Ursache dafür sind die auftretenden Kräfte zwischen Elektronen und Atomkern. Diese **Bindungskraft** nimmt jedoch mit dem Quadrat des Abstands eines Elektrons zum Atomkern hin ab. Elektronen auf den äußeren Schalen eines Elements können somit ihre Bindungskraft an den Atomkern verlieren und zu **frei beweglichen Elektronen** werden. Bei Metallen lagern sich die Atome zu einem festen kristallartigen Aufbau zusammen. Dadurch wird die Anzahl der frei beweglichen Elektronen vergrößert.

Zunächst führen diese frei beweglichen Elektronen ungeordnete Schwirrbewegungen durch. Werden diese ungeordneten Bewegungen geordnet, d. h. die freien Elektronen in eine bestimmte Richtung bewegt, so spricht man von einem **elektrischen Strom**.

Elektrischer Strom ist die gerichtete Bewegung freier Elektronen.

Bekanntermaßen fließt der elektrische Strom nicht in allen Materialien gleich gut. Es wird daher eine Einteilung in **Leiter** und **Nichtleiter** (Isolatoren) getroffen. Vereinfacht ausgedrückt sind:

Leiter → **Stoffe mit vielen freien Elektronen**
Nichtleiter → **Stoffe mit wenig freien Elektronen**

Das Vorhandensein von frei beweglichen Elektronen eines Stoffs bestimmt seine **elektrische Leitfähigkeit**. Gute Leiter sind z. B. Metalle wie Kupfer, Aluminium, Gold und Silber. Die meisten leitenden Verbindungen im Kälteanlagenbau sind aus Kupfer. Zwischen den Leitern und Nichtleitern gibt es noch eine Gruppe, die Halbleiter. Die Eigenschaften der Halbleiter werden hauptsächlich im Bereich der Elektronik genutzt.

Werden nun Ladungen Q in einer bestimmten Zeit durch einen Leitungsquerschnitt bewegt, so ist dies ein Maß für die Stärke des Stroms. Man bezeichnet als **Stromstärke** I die Ladung Q die pro Zeiteinheit durch einen bestimmten Leiterquerschnitt bewegt wird.

Elektrische Stromstärke

$$I = \frac{Q}{t} \quad \text{in} \quad \frac{\text{As}}{\text{s}} = \text{A (Ampere)} \quad (1.2)$$

Elektrischer Strom bzw. Stromstärke kann nicht unmittelbar wahrgenommen werden. Dafür ist seine Wirkung in Form von Wärme, Licht oder magnetischer Kraft wahrnehmbar. Ebenso muss sich erst ein Gefühl für die Größenordnung der Stromstärke entwickeln. Was bewirkt z. B. eine Stromstärke von 1 mA oder 1000 A bei einem bestimmten Verbraucher?

Die auch für den Kälteanlagenbau wichtige Größe der **Strombelastbarkeit isolierter Leitungen** nach VDE 0298-4 führt uns zu dem Begriff der Stromdichte. Die Strombelastbarkeit gibt für einen bestimmten Leiterquerschnitt den maximal zulässigen Strom an. Dabei wird noch nach Material und Verlegungsart unterschieden (siehe Kapitel 2.2).

Bezieht man die Stromstärke I auf den Leiterquerschnitt A , so erhält man die Stromdichte S .

Elektrische Stromdichte

$$S = \frac{I}{A} \quad \text{in} \quad \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \quad (1.3)$$

Beispiel

Nach VDE 0298-4 ist die Strombelastbarkeit für Kupferleitungen der Gruppe 2 bei einem Querschnitt von $1,5 \text{ mm}^2$ mit 18 A und bei einem Querschnitt von $2,5 \text{ mm}^2$ mit 26 A angegeben.

Gesucht:

Berechnen Sie die jeweilige Stromdichte.

Lösung:

$$\begin{aligned} A_1 &= 1,5 \text{ mm}^2 \\ I_1 &= 18 \text{ A} \end{aligned} \quad S_1 = \frac{I_1}{A_1} = \frac{18 \text{ A}}{1,5 \text{ mm}^2} = 12 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

$$\begin{aligned} A_2 &= 2,5 \text{ mm}^2 \\ I_2 &= 26 \text{ A} \end{aligned} \quad S_2 = \frac{I_2}{A_2} = \frac{26 \text{ A}}{2,5 \text{ mm}^2} = 10,4 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

Die Größe des elektrischen Stroms lässt sich mit einem **Strommesser** bestimmen.

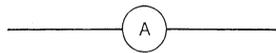


Abb. 1.2: Schaltzeichen eines Strommessers

Das in Abbildung 1.2 dargestellte Symbol zeigt das Schaltzeichen eines Strommessers. Da die gerichtete Elektronenbewegung gemessen werden soll, muss ein Strommesser immer in die Leitung geschaltet werden. Die Leitung wird aufgetrennt und das Strommessgerät dazwischengeschaltet. Somit ist der Stromkreis wieder geschlossen.

1.3 Elektrische Spannung

In Kapitel 1.2 ist der elektrische Strom als gerichtete Bewegung von freien Elektronen definiert worden. Es ist nun die Frage zu klären, wie es erreicht wird, die freien Elektronen in einem Leiter einer Bewegungsrichtung auszusetzen. Dies führt zu dem Begriff der **Elektrischen Spannung**, der Ursache für die Elektronenbewegung und damit des elektrischen Stroms.

Es wurde weiterhin in Kapitel 1.2 festgestellt, dass getrennte Ladungen auf andere Ladungen Kräfte ausüben, also auch auf die Elementarladungen der freien Elektronen. Würden nun die freien Elektronen eines Leiters auf einer Seite Abstoßung und auf der anderen Seite Anziehung erfahren, so würden sie in eine Richtung bewegt. Damit wäre ein Stromfluss erreicht.

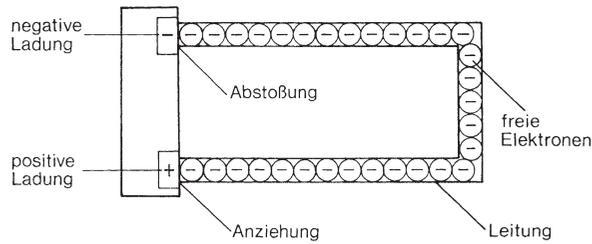


Abb. 1.3: Stromfluss in einem elektrischen Leiter

Um auf der einen Seite Anziehung zu erreichen, benötigen wir eine **positive Ladung (Plus-Pol)** und auf der Seite der Abstoßung eine negative Ladung (Minus-Pol). Wir benötigen also ein Gerät, das zwei unterschiedliche getrennte Ladungen besitzt. Dieses Gerät wird als **Stromerzeuger** oder auch **Spannungsquelle** bezeichnet. Die Größe des elektrischen Stroms hängt dann u. a. auch von der Größe der getrennten Ladungen ab. Die Größe, die einen Stromfluss in einem Leiter erzeugt, wird elektrische Spannung genannt und hat das Formelzeichen U mit der Einheit V für Volt.

Elektrische Spannung ist der Zustand zwischen getrennten Ladungen.
Ursache ist die elektrische Spannung.
Wirkung ist der elektrische Strom.

Aus Abbildung 1.3 ist zu erkennen, dass die Richtung der **Elektronenbewegung** vom Minus-Pol zum Plus-Pol verläuft. Dies ist die **physikalische Stromrichtung**. Erst Anfang des 20. Jahrhunderts konnte dieser Zusammenhang wissenschaftlich bewiesen werden. Zuvor hatte man jedoch die Stromrichtung genau anders herum definiert. Man spricht in diesem Fall von der **technischen Stromrichtung**. Diese geht vom Plus-Pol zum Minus-Pol. In allen Darstellungen des Stroms hat man diese Richtung beibehalten, da es für die meisten technischen Betrachtungen zunächst unwichtig ist, in welche Richtung der Strom tatsächlich fließt.

In der Elektrotechnik werden prinzipiell die zwei Spannungsarten – **Gleichspannung** und **Wechselspannung** – unterschieden.

Gleichspannung:

Die Spannung ist in Abhängigkeit von der Zeit zu jedem Zeitpunkt gleich groß.

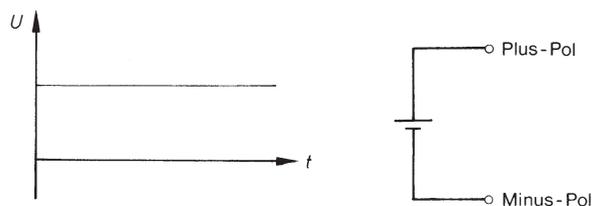


Abb. 1.4: Diagramm einer Gleichspannung mit Symbol

Wechselspannung:

Die Spannung ändert ihren Wert in Abhängigkeit von der Zeit. Die für den Kälteanlagenbau wichtigste Wechselspannung ist die sinusförmige Wechselspannung.

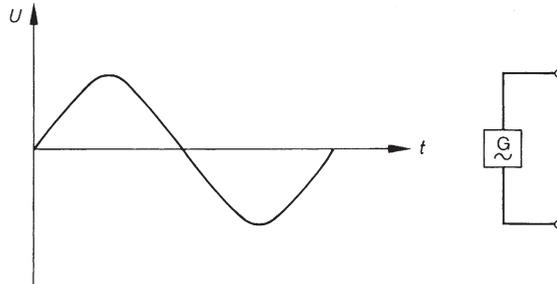


Abb. 1.5: Diagramm einer sinusförmigen Wechselspannung mit Symbol

Die weiteren Betrachtungen werden zunächst nur für Gleichspannungen angestellt. Eine Übertragung der Gesetzmäßigkeiten auf die Wechselspannung erfolgt dann in Kapitel 6.

Da Spannungen nach ihrer Größe und Richtung unterschieden werden können, also Vektoren sind, werden sie allgemein mit einem **Spannungspfeil** dargestellt.

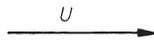


Abb. 1.6: Spannungspfeil

Die Größe der elektrischen Spannung lässt sich mit einem **Spannungsmesser** bestimmen. Da getrennte Ladungen gemessen werden sollen, wird ein Spannungsmesser immer **parallel** zur messenden Größe geschaltet.

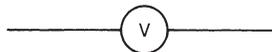


Abb. 1.7: Schaltzeichen eines Spannungsmessers

1.4 Elektrischer Widerstand

Jeder elektrische Verbraucher (Abtaheizung, Meldeleuchte etc.) kann als elektrischer Widerstand betrachtet werden. Außer diesen **ohmschen Widerständen** werden später in der Wechselstromtechnik noch andere Widerstände eingeführt. Der Begriff „Verbraucher“ ist eigentlich

Kapitel 4

Kondensator und Kapazität

Im Kälteanlagenbau finden Kondensatoren bei den Wechselstromverdichtern ihre Anwendung. Sie werden dort als **Anlauf- bzw. Betriebskondensator** bezeichnet. Aber auch in Steuerungen für Kälteanlagen finden sie Anwendung. Dort wird meist das Zeitverhalten von Kondensatoren ausgenutzt. Wesentlich ist auch der Einsatz bei der Kompensation von elektrischen Anlagen. Das wesentliche Verhalten und die Wirkungsweise wird in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

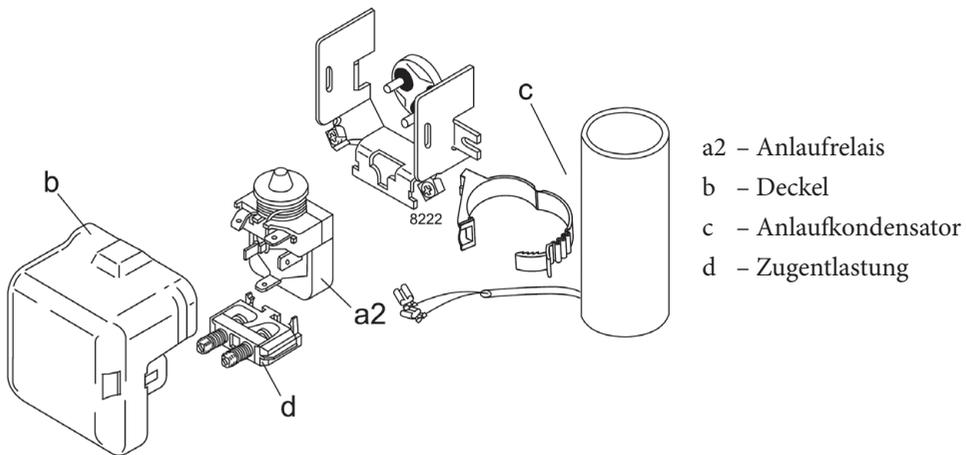


Abb. 4.1: Anlaufkondensator an einem Verdichter SC15 (Quelle: Danfoss)

4.1 Kapazität von Kondensatoren

Das einfachste Modell eines Kondensators ist der **Plattenkondensator** mit Luft zwischen den Platten. Es handelt sich hierbei um zwei Metallplatten, die sich nicht berühren dürfen. Diese werden an eine Gleichspannung gelegt und somit unterschiedlich geladen.

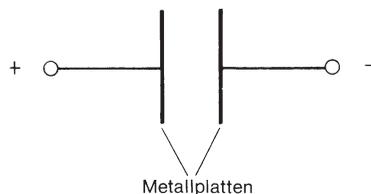


Abb. 4.2: Plattenkondensator

Wird die Spannungsquelle entfernt, so bleiben die Platten aufgeladen. Ein Kondensator ist also in der Lage, elektrische Ladungen zu speichern. Die Menge an gespeicherter elektrischer Ladung wird als **Kapazität C** bezeichnet.

Die Kapazität C gibt das Speichervermögen eines Kondensators an.

Die Größe der Kapazität lässt sich aus der gespeicherten Ladungsmenge Q und der Spannung zwischen den Platten berechnen. Die Kapazität gibt also das **Fassungsvermögen elektrischer Ladungen** für eine bestimmte Spannung an.

$$C = \frac{Q}{U} \quad \text{in} \quad \frac{\text{As}}{\text{V}} = 1 \text{ F (F = Farad)} \quad (4.1)$$

Die in der Anwendung vorkommenden Kapazitäten sind um mehrere Zehnerpotenzen kleiner als 1 Farad. Die im Kälteanlagenbau vorkommenden Kapazitäten liegen meist im Bereich von μF ($\mu = 10^{-6} = \text{Mikro}$).

Die Kapazität eines Kondensators lässt sich aber auch nach seinen geometrischen Abmessungen bestimmen. Diese sind Plattenabstand d und Plattenfläche A . Bei einem kleinen Plattenabstand sind die Anziehungskräfte auf die Ladungen groß. Die Kapazität wird dadurch größer. Eine große Plattenfläche hat zur Folge, dass der Kondensator viele Ladungen aufnehmen kann und dadurch auch eine große Kapazität hat.

Die Kapazität ist proportional der Plattenfläche und umgekehrt proportional dem Plattenabstand.

$$C \sim \frac{A}{d}$$

Die Kapazität ist außerdem noch von einer Naturkonstanten, der elektrischen Feldkonstanten ϵ_0 (sprich Epsilon), abhängig.

$$\text{Elektrische Feldkonstante } \epsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$$

Somit kann die Kapazität berechnet werden mit:

$$C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \quad \text{in} \quad \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \cdot \text{m} = \frac{\text{As}}{\text{V}} = \text{F} \quad (4.2)$$

Um die Kapazität zu erhöhen, bringt man einen Isolierstoff, das **Dielektrikum**, zwischen die Platten. Der Effekt, der sich dabei einstellt, wird elektrische Polarisierung genannt. Im Dielektrikum richten sich die Ladungen so aus, dass mehr Ladungen auf die Platten gebracht werden. Ein Maß für die Kapazitätserhöhung ist die **Dielektrizitätszahl** ϵ_r . Diese gibt an, um wie viel sich die Kapazität, bezogen auf Luft (Vakuum) zwischen den Platten, erhöht. So wird die Kapazität z. B. bei einem keramischen Isolierstoff mehr als 3000-fach erhöht. Man spricht dann auch von Keramikkondensatoren.

Vollständig lässt sich die Kapazität berechnen mit:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} \quad (4.3)$$

In der Kältetechnik spielt die Umwandlung einer physikalischen Größe, z. B. Druck, in eine elektrische Größe eine immer wichtigere Rolle, da dieses Signal dann entsprechend weiterverarbeitet werden kann. So kann ein **Drucktransmitter** nach dem Prinzip einer Kapazitätsänderung aufgrund einer Plattenabstandsänderung arbeiten. Dabei wirkt der Druck auf eine Metallplatte eines Kondensators. Je nach Größe des Drucks sind diese eng zusammen oder weit auseinander. Dies bedeutet, dass die Kapazitätsänderung ein Maß für die Druckänderung darstellt. Befindet sich der Kondensator in einem elektrischen Stromkreis, so hat dies auch eine Stromänderung zur Folge. Man kann also einem elektrischen Stromwert einen Druckwert zuordnen.

Bei dem Schaltzeichen eines Kondensators werden die beiden Platten dargestellt, siehe Abbildung 4.3. Er wird mit dem Buchstaben *C* gekennzeichnet.

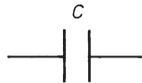


Abb. 4.3: Schaltzeichen eines Kondensators

4.2 Schaltung von Kondensatoren

Bei Wechselstromverdichtermotoren werden oft im Anlaufmoment zwei Kondensatoren parallel geschaltet, um das Anlaufverhalten zu verbessern. Es ist daher die Frage zu klären, wie sich Kondensatoren verhalten, wenn sie in Reihe oder parallel geschaltet sind.

Ähnlich wie bei der Untersuchung von Widerständen soll auch bei den Kondensatoren ein Ersatzkondensator ermittelt werden, der die gleichen Eigenschaften aufweist wie eine Anzahl parallel geschalteter Kondensatoren. Das Verhalten soll am Beispiel von drei parallel geschalteten Kondensatoren untersucht werden.

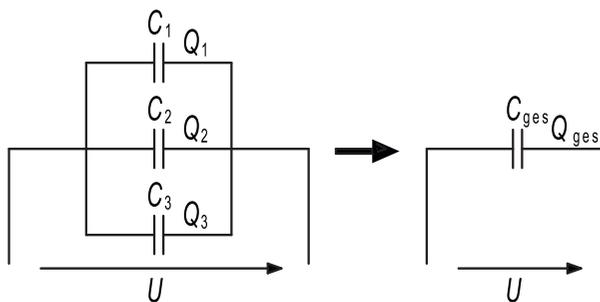


Abb. 4.4: Ersatzkondensator einer Parallelschaltung

Für die Parallelschaltung gilt nach (4.1):

$$C_1 = \frac{Q_1}{U}, \quad C_2 = \frac{Q_2}{U} \quad \text{und} \quad C_3 = \frac{Q_3}{U}$$

4 Kondensator und Kapazität

Ebenso gilt für den Ersatzkondensator: $C_{\text{ges}} = \frac{Q_{\text{ges}}}{U}$

Da man sich die Parallelschaltung auch als Addition der Plattenflächen vorstellen kann, muss der Ersatzkondensator die gleiche Ladungsmenge haben wie die drei Ladungsmengen der Parallelschaltung.

$$Q_{\text{ges}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Da $Q_{\text{ges}} = C_{\text{ges}} \cdot U$, $Q_1 = C_1 \cdot U$, $Q_2 = C_2 \cdot U$ und $Q_3 = C_3 \cdot U$ ist, kann man schreiben: $C_{\text{ges}} \cdot U = C_1 \cdot U + C_2 \cdot U + C_3 \cdot U$

Nach Ausklammern und Kürzen der Spannung U erhält man:

$$C_{\text{ges}} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (4.4)$$

Allgemein gilt für n parallel geschalteter Kondensatoren:

$$C_{\text{ges}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (4.5)$$

Dies bedeutet, dass eine Parallelschaltung von Kapazitäten eine Vergrößerung der Gesamtkapazität ergibt.

Zur Ermittlung des Ersatzkondensators einer Reihenschaltung von Kondensatoren betrachten wir Abbildung 4.5.

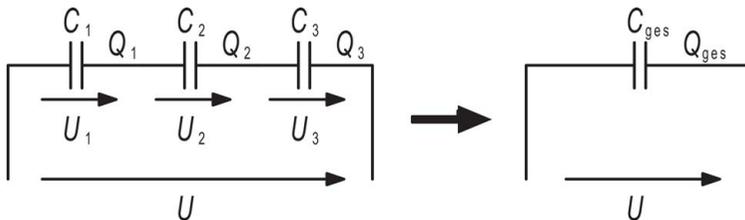


Abb. 4.5: Ersatzkondensator einer Reihenschaltung

Da bei der Reihenschaltung der gleiche Ladestrom fließt, kann jeder Kondensator nur die gleiche Ladungsmenge Q aufnehmen.

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_{\text{ges}}$$

Die Spannungen an den Kondensatoren teilen sich auf zu:

$$U_1 = \frac{Q}{C_1}, \quad U_2 = \frac{Q}{C_2}, \quad U_3 = \frac{Q}{C_3} \quad \text{und} \quad U = \frac{Q}{C_{\text{ges}}}$$

Da $U = U_1 + U_2 + U_3$ ist, kann man schreiben:

$$\frac{Q}{C_{\text{ges}}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

Nach Ausklammern und Kürzen der Ladung Q erhält man:

$$\frac{1}{C_{\text{ges}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (4.6)$$

Allgemein gilt für n in Reihe geschalteter Kondensatoren:

$$\frac{1}{C_{\text{ges}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (4.7)$$

Bei einer Reihenschaltung von Kondensatoren ist der Ersatzkondensator immer kleiner als der kleinste Einzelkondensator.

Genau wie bei den Widerständen lassen sich Kondensatoren auch in gemischten Schaltungen, also Parallel- und Reihenschaltung kombiniert, darstellen. Hierbei sind die oben beschriebenen Gesetzmäßigkeiten entsprechend anzuwenden.

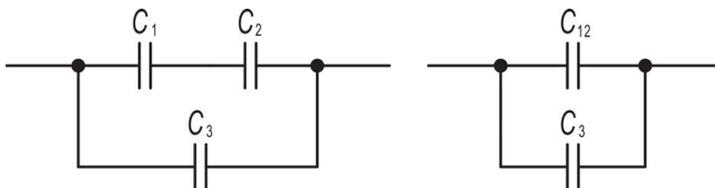
Beispiel

Ein defekter Anlaufkondensator eines Wechselstromverdichters hat eine Kapazität von $40 \mu\text{F}$. Dieser soll ausgetauscht werden. Zur Verfügung stehen jedoch nur drei Kondensatoren mit den Kapazitäten $C_1 = 75 \mu\text{F}$, $C_2 = 50 \mu\text{F}$ und $C_3 = 10 \mu\text{F}$.

Gesucht:

Wie sind diese zu schalten, damit man einen Ersatzkondensator von $40 \mu\text{F}$ erhält?

Lösung:



Aus der Reihenschaltung $75 \mu\text{F}$ und $50 \mu\text{F}$ folgt:

$$\frac{1}{C'_{\text{ges}}} = \frac{1}{75 \mu\text{F}} + \frac{1}{50 \mu\text{F}}$$

$$C'_{\text{ges}} = 30 \mu\text{F}$$

Aus der verbleibenden Parallelschaltung folgt:

$$C_{\text{ges}} = 30 \mu\text{F} + 10 \mu\text{F}$$

$$C_{\text{ges}} = 40 \mu\text{F}$$

Kapitel 10

Sicherheitseinrichtungen in kältetechnischen Steuerungen

Sicherheitseinrichtungen nehmen in kältetechnischen Steuerungen einen großen Stellenwert ein. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um **Motorschutzeinrichtungen** (z. B. Verdichterschutz), die in einer **Sicherheitskette** eingebunden sind. Je nach Anlagenbedingung und Ausmaß einer Störung kann die gesamte Anlage abgeschaltet werden. Ein Wiedereinschalten ist nach dem Wegfall der Störung von selbst oder erst nach Betätigen eines Resettasters möglich. Die dazu notwendigen unterschiedlichen Steuerungen werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

10.1 Leitungsschutz und Motorschutzeinrichtungen

Elektrisch sind Motoren, um eine Zerstörung der Wicklungen zu vermeiden, vor zu hoher Stromaufnahme und einer damit verbundenen überhöhten Temperatur der Motorwicklungen zu schützen. Kältetechnische Störungen am Verdichter, wie z. B. mangelnder Öldifferenzdruck bei einem druckgeschmierten Kältemittelverdichter, werden ebenfalls in die elektrische Sicherheitskette eingebunden.

10.1.1 Kurzschlusschutz

Unter einem Kurzschluss versteht man eine leitende Verbindung ohne Verbraucher zwischen betriebsmäßig gegeneinander unter Spannung stehenden Leitern infolge eines Isolationsfehlers. Dieser Kurzschluss hat einen sehr hohen Kurzschlussstrom zur Folge, der ohne eine Schutzmaßnahme Leitungen und Schaltgeräte zerstören kann.

Schmelzsicherungen sind die älteste Schutzeinrichtung in der Elektrotechnik zum Kurzschlusschutz. Obwohl der schmelzsicherungslose Anlagenbau immer mehr an Bedeutung gewinnt, sind sie in vielen elektrischen Anlagen noch anzutreffen. Das Funktionsprinzip der Schmelzsicherung beruht darauf, dass ein Stück Draht in einem Keramikkörper bei zu starker Erwärmung infolge eines zu großen Stroms durchschmilzt (Sollbruchstelle in einem Stromkreis).

Die **Funktionsklassen** einer Schmelzsicherung legen fest, in welchem Strombereich der Sicherungseinsatz ausschalten kann:

Funktionsklasse g: Ganzbereichssicherungen (general purpose fuses). Sicherungssätze, die Ströme bis wenigstens zu ihrem Nennstrom dauernd führen und Ströme vom kleinsten Schmelzstrom bis zum Nennausschaltstrom ausschalten können (Schutz gegen Überlast und Kurzschluss).

Funktionsklasse a: Teilbereichssicherungen (accompanied fuses). Sicherungssätze, die Ströme bis wenigstens zu ihrem Nennstrom dauernd führen und Ströme oberhalb eines bestimmten

Vielfachen ihres Nennstroms bis zum Nennausschaltstrom ausschalten können (Schutz gegen Kurzschluss).

Die festgelegten Schutzobjekte werden durch einen zweiten Buchstaben festgelegt. Dabei bedeutet der Buchstabe „L“ Kabel und Leitung und der Kennbuchstabe „M“ Schaltgeräte. Für die Absicherung von Verdichtern sind Schmelzsicherungen mit einer **gL-Charakteristik** zu wählen. Diese gewähren einen Schutz sowohl gegen Überlast als auch gegen Kurzschluss. Die Sicherungen sind so zu dimensionieren, dass sie:

- bei Erwärmung der Leitungen durch Überlastströme innerhalb einer bestimmten Zeit ansprechen,
- bei Kurzschluss sehr schnell auslösen,
- auch bei einem mehrmaligen Anlauf des Verdichters mit seinem hohen Anlaufstrom nicht auslösen.

Tabelle 10.1: D- und DO-Sicherungen

Sicherung und Passeinsatz		Socket	Gewindegröße und Schraubkappe	
Bemessungsstromstärke in A	Kennfarbe	Bemessungsstromstärke in A	Diazed	Neozed
2	Rosa	25	D II (E27)	D01 (E14)
4	Braun			
6	Grün			
10	Rot			
13	Schwarz			
16	Grau			
20	Blau			
25	Gelb	63	D III (E33)	D02 (E18)
32	Violett			
35/40	Schwarz			
50	Weiß			
63	Kupfer	100	D IV (R1/4“)	D03 (M 30x2)
80	Silber			
100	Rot			

Tabelle 10.2: NH-Sicherungen

Baugröße	Unterteile Bemessungsstromstärke in A	Einsätze	Gesamtlänge in mm
00	160	6 bis 160	78
0	160	6 bis 160	125
1	250	80 bis 250	135
2	400	125 bis 400	150
3	630	315 bis 630	150
4	1000	500 bis 1000	200
4a	1250	500 bis 1250	200

Um eine möglichst gute Schutzfunktion zu erreichen, ist eine **Gruppenabsicherung** mehrerer Verdichter zu vermeiden. Haben im Fehlerfall die Sicherungen angesprochen, so sind die Schützkontakte auf Verschweißen zu kontrollieren.

10.1.2 Thermischer Überstromauslöser

Thermische Überstromauslöser schalten im Gefahrenfall über einen eingebauten Hilfsschalter das zugehörige Motorschütz und damit den angeschlossenen Motor ab. So schützen sie wirkungsvoll Motoren bei Überlast gegen Zerstörung bei blockiertem Rotor und garantieren einen ungestörten Betrieb bei nicht gefährdeten Motoren.

Grundsätzlich setzen sich thermische Überstromauslöser aus dem **Hauptstrom- und dem Hilfsstromteil** zusammen. Der Hauptstromteil enthält drei Bimetallauslöser mit den erforderlichen Anschlussklemmen. **Bimetallauslöser** sind Metallstreifen aus zwei aufeinander gewalzten Metallbändern verschiedener Ausdehnungskoeffizienten. Bei Wärmeeinwirkung auf das Bimetall, z. B. durch elektrischen Strom, kommt es zu einer definierten Ausbiegung. Die Ausbiegung der Bimetalle bei Überlast wird mit einer Hebelübersetzung auf den Hilfsschalter im Hilfsstromteil übertragen. Ein Öffner unterbricht den gefährdeten Motorstromkreis. Mit einem Schließer kann die Abschaltung signalisiert werden.

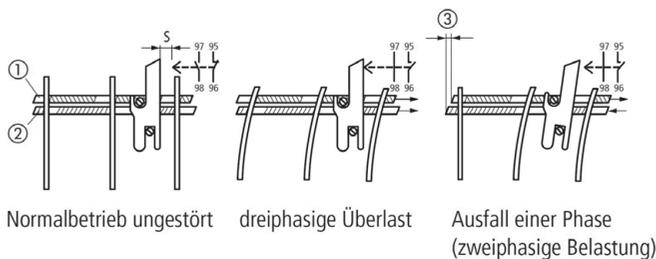


Abb. 10.1: Phasenempfindlichkeit mithilfe einer Auslöse- und Differenzialbrücke (Quelle: Eaton)



Abb. 10.2: Produktbild Motorschutzrelais ZB12 (Quelle: Eaton)

Wenn sich die Bimetalle im Hauptstromkreis des Relais infolge dreiphasiger Motorüberlastung ausbiegen, wirken alle drei auf eine Auslöse- und Differenzialbrücke. Ein gemeinsamer Auslösehebel schaltet bei Erreichen der Grenzwerte den Hilfsschalter um. **Auslöse- und Differenzialbrücke** liegen eng und gleichmäßig an den Bimetallen an. Wenn sich nun z. B. bei Phasenausfall ein Bimetall nicht so stark ausbiegt oder zurückläuft wie die beiden anderen, dann legen Auslöse- und Differentialbrücke unterschiedliche Wege zurück. Dieser Differenzweg wird im Gerät durch eine Übersetzung in einem zusätzlichen Auslöseweg umgewandelt und die Auslösung erfolgt schneller.

Beispiel: $I_A/I_N = 6$, $t_E = 10$ s

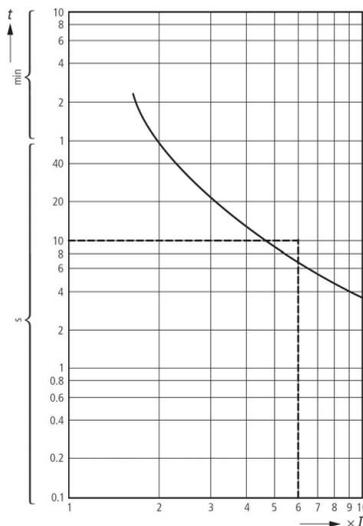


Abb. 10.3: Auslösekennlinie des Motorschutzrelais (Quelle: Eaton)

Die **Auslösekennlinie** eines thermischen Überstromauslösers in Abbildung 10.3 zeigt die Auslösung für alle Einstellbereiche in Abhängigkeit vom Vielfachen des eingestellten Stromwerts.

In Abbildung 10.4 ist das Schaltbild eines thermischen Überstromauslösers dargestellt. Dabei werden die Anschlüsse der Bimetallauslöser – genau wie die Kontakte des Hauptschützes – mit 1–2, 3–4 und 5–6 gekennzeichnet. Die Schaltkontakte werden mit 97–98 (Schließer) und 95–96 (Öffner) bezeichnet.

Da thermische Überstromauslöser immer in Abhängigkeit des Stroms auslösen, schützen sie den Motor nicht bei behinderter Motorkühler- und zu hoher Umgebungstemperatur. Bei den Motoren, die im Kälteanlagenbau eingesetzt werden, muss mit dieser Möglichkeit gerechnet werden. Als Ersatz zum thermischen Überstromauslöser empfiehlt sich die Verwendung eines **Thermistor-Motorschutzes** (vgl. Kapitel 10.1.4).

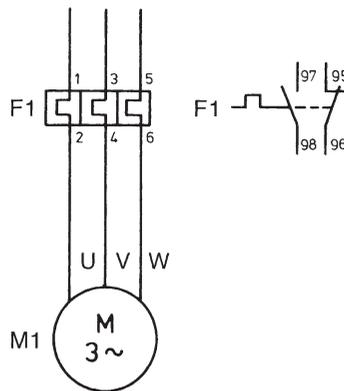


Abb. 10.4: Schaltbild eines thermischen Überstromauslösers F1

10.1.3 Motorschutzschalter

Motorschutzschalter sind handbetätigte Schalter, die durch selbsttätiges Öffnen im Hauptstromkreis den Motor gemeinsam vor Überlastung und Kurzschluss schützt. Dazu haben Motorschutzschalter in jeder Strombahn einen Bimetallauslöser für den Überlastschutz und einen magnetischen Schnellauslöser für den Kurzschlusschutz. Neben dem Öffnen im Hauptstromkreis kann der Motorschutzschalter noch mit Hilfskontakten versehen werden, die den Schaltzustand signalisieren oder für eine Verriegelung zu anderen Betriebsmitteln sorgen.

Motorschutzschalter werden als eigenfest bezeichnet. Solche eigenfeste Schalter lassen sich meist ohne Vorsicherung an jeder beliebigen Stelle im Netz einbauen.

Beispiel: $I_A/I_N = 6$, $t_E = 10$ s

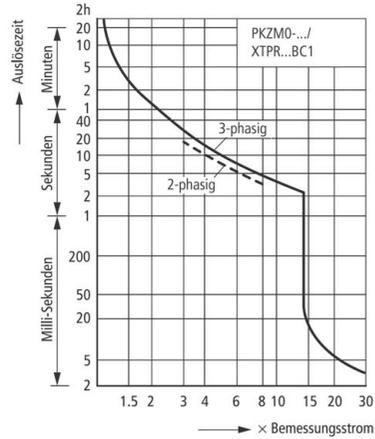


Abb. 10.5: Motorschutzschalter PKZM und Auslösekennlinie (Quelle: Eaton)

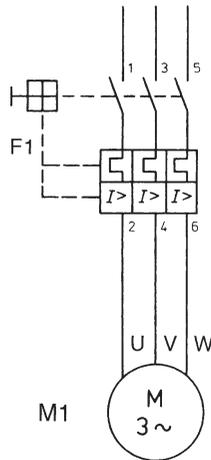


Abb. 10.6: Schaltbild Motorschutzschalter F1

10.1.4 Thermistor-Motorschutz

Der Thermistor-Motorschutz ist nach dem Stand der Technik der wirksamste und zuverlässigste Schutz für elektrische Motoren gegen thermische Überlastung. Die Verdichterhersteller haben diesen Motorschutz in die elektrische Grundausstattung mit eingebunden. Das genaue Funktionsprinzip wurde im Kapitel 2.4.1.1 ausführlich beschrieben.

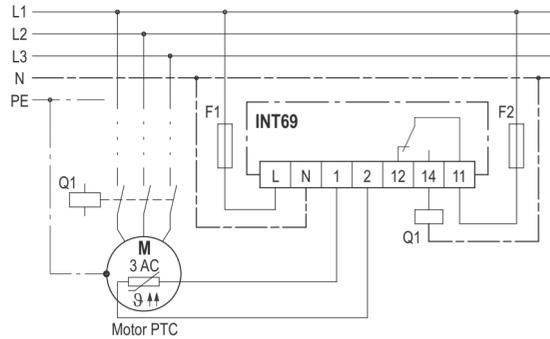


Abb. 10.7: Thermistor Motorschutz mit Anschluss Schaltbild (Quelle: Kriwan)

Diese Schutzeinrichtung setzt sich zusammen aus dem Steuergerät und den **Thermistoren** (Kaltleiter-Temperaturfühler), die von den Motorherstellern im Wickelkopf der elektrischen Maschine so eingebettet sind, dass ein sehr guter Wärmekontakt zwischen Wicklung und Fühler vorhanden ist. Die Thermistoren sind dabei **in Reihe geschaltet** (jede Wicklung hat einen Fühler) und ihre Anschlussdrähte sind an zwei Klemmen im Klemmkasten herausgeführt. Die Thermistoren sind allgemein zum Schutz gegen thermische Überlastungen einsetzbar. Sind diese bei einem Drehstromverdichter in die drei Wicklungen des Motors eingebettet, so übernehmen sie die Schutzfunktion des Thermischen Überstromauslösers (Bimetall). Ein überhöhter Wicklungsstrom hat eine überhöhte Stromdichte zur Folge und erwärmt somit die Wicklung des Motors unzulässig hoch, sodass der Motor über die Schutzeinrichtung abgeschaltet wird. Wesentlich ist hierbei die **Anstiegsgeschwindigkeit** der Wicklungstemperatur, die wieder im Wesentlichen von der Stromdichte und der Ausgangstemperatur der Wicklung abhängig ist. Ausgehend vom kalten Zustand einer Motorwicklung, kann bei blockiertem Rotor die **Erwärmungsgeschwindigkeit** der Temperaturfühler nicht ausreichend sein, um den Motor rechtzeitig abzuschalten. In diesem Fall wäre zusätzlich zum Thermistor-Motorschutz ein thermischer Überstromauslöser vorzusehen. Prinzipiell ist zu unterscheiden, dass der thermische Überstromauslöser direkt auf den Strom und der Thermistor-Motorschutz indirekt auf den Strom – über die Temperatur – reagiert. Immer dann, wenn die Anstiegsgeschwindigkeit der Wicklungstemperatur – z. B. wegen der Bauart des Verdichters, der Kühlung oder der Einbaugüte des Thermistors in der Wicklung – zu gering werden kann und der Motorhersteller einen 100-prozentigen Schutz bei blockiertem Rotor nicht garantieren kann, sollte zusätzlich zum Thermistor-Motorschutz noch ein thermischer Überstromauslöser eingesetzt werden. Somit ist ein optimaler Schutz eines Verdichters gegen Überlastung gewährleistet.

Die Temperaturfühler können nach DIN VDE V 0898-1-401 mit unterschiedlichen **Nennabschalttemperaturen** in Reihe geschaltet werden. Damit ist es möglich, Maschinen- und Wicklungsteile mit unterschiedlichen Grenztemperaturen zu schützen. Den Fühlern wird nach DIN VDE V 0898-1-401 zu den unterschiedlichen Nennabschalttemperaturen ein entsprechender unterschiedlicher **Farbcode** zugeordnet. Lieferbar sind Thermistoren in der Abstufung von +60 °C bis +220 °C.

10.1.5 Öldruckdifferenzschalter

Der Öldruckdifferenzschalter bietet einen Schutz gegen Schäden, die aufgrund eines niedrigen Öldrucks bei **Verdichtern mit Druckölschmierung** entstehen können.

Für die Erklärung der Funktionsweise sind im Wesentlichen drei Hauptteile des Öldruckdifferenzschalters zu beachten:



1. Anschluss an die Druckseite des Schmiersystems, OIL
2. Anschluss an die Saugseite der Kälteanlage, LP
3. Einstellscheibe (MP 55 und MP 55A)
4. Rückstelltaste
5. Prüfvorrichtung

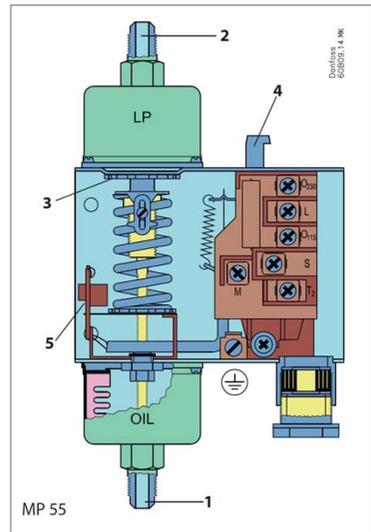


Abb. 10.8: Produktbild Öldruckdifferenzschalter (Quelle: Danfoss)

Abb. 10.9: Aufbau des Öldruckdifferenzschalters MP55 (Quelle: Danfoss)

1. Differenzdruckschalter (OIL–LP)

Die Ölpumpe muss das Öl gegen den Druck im Kurbelgehäuse fördern. Daher muss der Öldruck grundsätzlich höher sein als der Druck im Kurbelgehäuse. Nicht der absolute Druck ist maßgebend, sondern die Größe des Differenzdrucks zwischen Öldruck und Kurbelgehäuse. Anzuschließen ist nach Abbildung 10.8 bzw. 10.9 „OIL“ an den Austritt der Ölpumpe und „LP“ an das Kurbelgehäuse. Der eingestellte Differenzdruck wirkt dann auf einen Stromkreis, der die Unterbrechung des Verdichterstromkreises veranlasst.

2. Zeitverzögerungseinrichtung (T1 – T2)

Beim Anlauf des Verdichters muss sich zunächst ein Öldruck aufbauen. Aus diesem Grund darf der Öldruckdifferenzschalter den Verdichter erst nach einer Zeit von ca. 120 Sekunden abschalten. Diese Zeitverzögerungseinrichtung kann mit einem Bimetall realisiert werden. Wird ein geschlossener Stromkreis zum Bimetall nicht durch den Öldruckschalter nach 120 Sekunden abgeschaltet, so löst der Bimetallkontakt aus und schaltet den Stromkreis zum Verdichter ab.