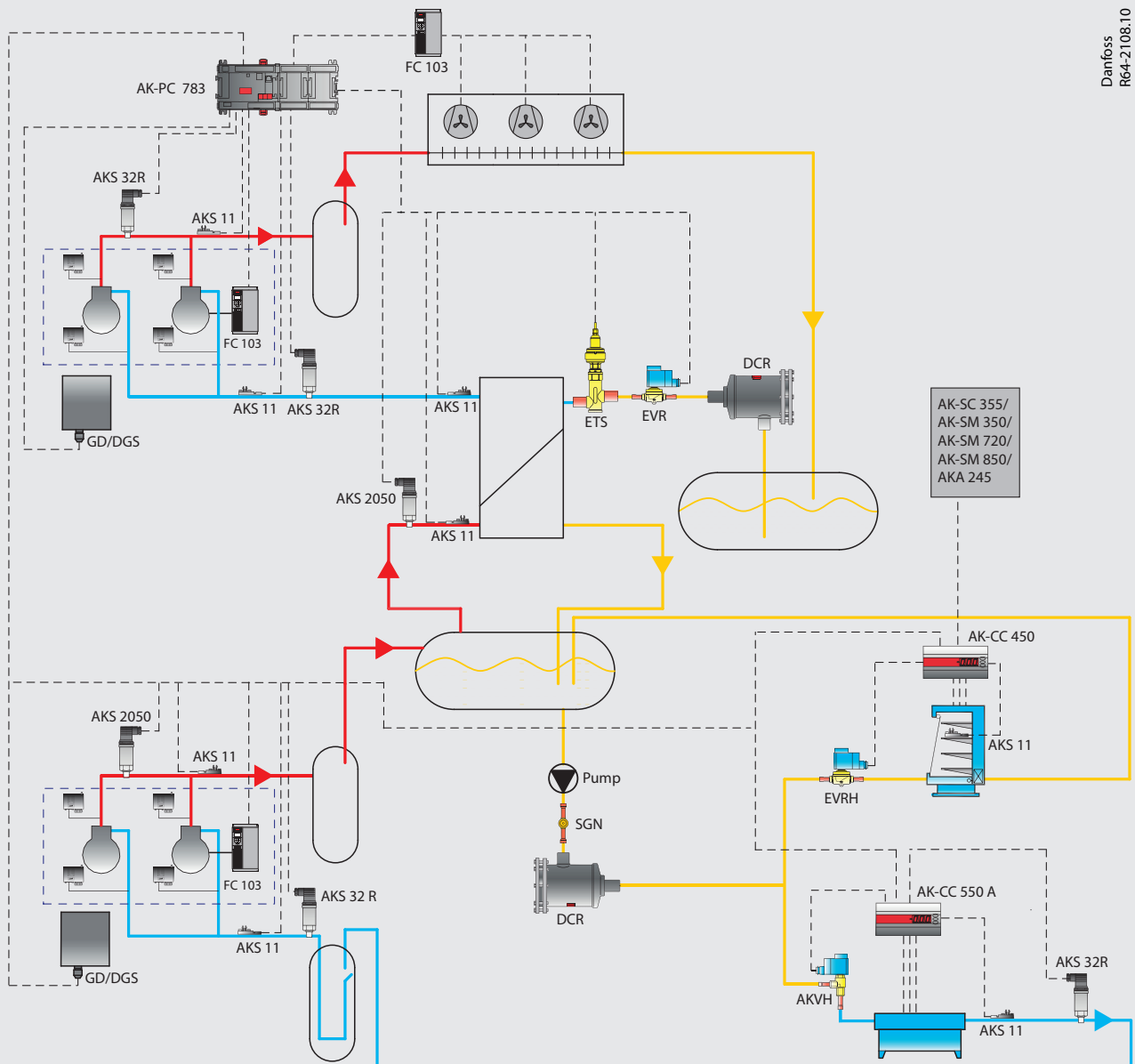


Kaskadensystem KW/FKW - CO₂

Regelung des Systems



Danfoss
R64-2108.10

Allgemeine Beschreibung

Ein Kaskadensystem kombiniert die Vorteile von CO₂ und FKW. Kaskaden bieten bei klimatischen Bedingungen, die für transkritische CO₂-Systeme nicht geeignet sind, eine sehr attraktive Alternative zu herkömmlichen Systemen. Ein Kaskadensystem bietet die Möglichkeit, CO₂-Systeme mit Drücken unter 40 bar zu bauen. Das Treibhauspotenzial (GWP) wird im Vergleich zu einem herkömmlichen R134/404A-System deutlich reduziert.

Kaskadensystemen bietet aber auch eine Reihe Vorteile:

- Der Systemwirkungsgrad ist unter heißen Klimabedingungen noch höher
- Für eine hohe Kälteleistung ist lediglich eine kleine Menge an Kältemittel erforderlich

- Der Temperaturunterschied für den Kaskadenwärmetauscher ist relativ niedrig
- Für den NK-Kreislauf können verschiedene Kältemittel zum Einsatz kommen, z. B. KW/FKW

Wenn FKW bei einer NK-Anlage genutzt werden soll, ist R134a eine empfehlenswerte Option aufgrund der thermodynamischen Eigenschaften und des niedrigeren Treibhausgaspotenzials (verglichen mit R404A).

Temperaturen und Druckverhältnisse in Kaskadensystemen

Die Mitteltemperatur in einem Kaskadensystem wird basierend auf der erforderlichen Temperatur für die NK-Möbel in einer Anlage ausgewählt, was bedeutet, dass die Möbel direkt mit CO₂ gekühlt werden können. Die Mitteltemperatur kann auch für höchste Energieeffizienz optimiert werden, wenn das System nur im TK-Bereich genutzt wird. Da ein Kaskadensystem eigentlich aus zwei verschiedenen Kühlsystemen besteht, die zwar eine gemeinsame Schnittstelle haben, aber am Kaskadenwärmübertrager voneinander getrennt sind, kann der vorgesehene Arbeitsdruck für die beiden Systeme unterschiedlich sein. Der CO₂-Auslegungsdruck ist normalerweise von den verfügbaren Komponenten abhängig und liegt zwischen 40 und 45 bar (entsprechend +5 - +10 °C).

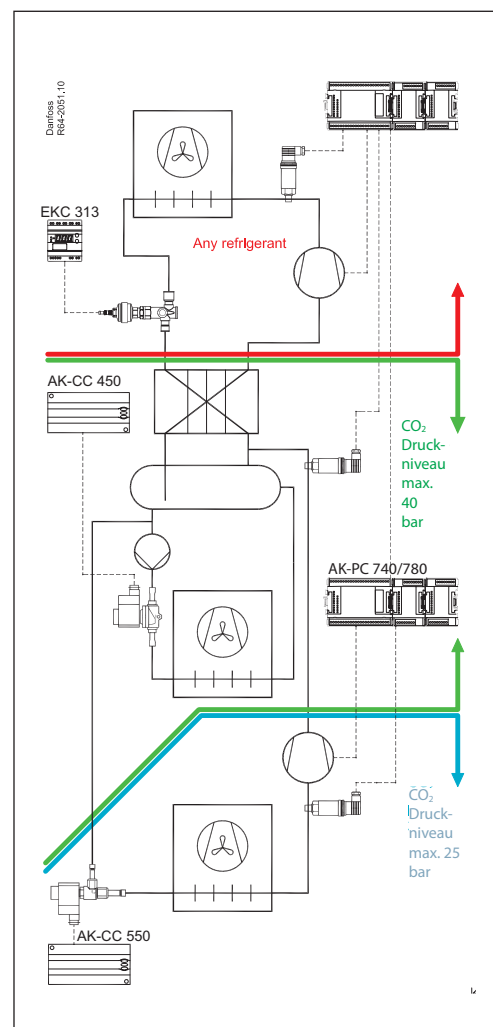
Um zu vermeiden, dass der Druck die genannten Werte übersteigt, wird ein System für den Anlagenstillstand empfohlen. Der Stillstandsdruck kann durch Erhöhung des Auslegungsdrucks auf 80-90 bar erreicht werden.

Beispiel:

CO₂-Seite

- Vorgesehener Systemarbeitsdruck (gesättigte Saugtemperatur): 42 bar (+5 °C)
- Sicherheitsventileinstellungen: 42 bar (+5°C) (-10 % maximaler Betriebsdruck)
- Einstellung zur Systementlastung im Notfall: 34 bar (-1 °C)
- CO₂-Abblasdruck-Einstellung: 35 bar (0°C)

Je höher die Effizienz des Kaskadenwärmübertragers, desto niedriger die Differenz zwischen der Verflüssigungstemperatur von CO₂ und der Verdampfungstemperatur des Kältemittels auf der NK-Seite. Mit steigendem Temperaturunterschied beim Kaskadenverflüssiger sinkt der Gesamtwirkungsgrad des Kühlsystems!



Temperaturen und Druckverhältnisse in Kaskadensystemen

Wenn ein CO₂-System eine hohe Druckgastemperatur aufweist, müssen Dampfkühler eingesetzt werden, um die Last auf NK-Seite zu verringern.

Der optimale Mitteldruck in CO₂-Kaskadensystemen hängt von verschiedenen Parametern (NK-Kältemittel, Lastverteilung usw.) ab. Generell sollten zwei Fälle beachtet werden:

1) Systeme mit Last bei Mitteltemperatur. In diesem Fall sollte der Mitteldruck so hoch wie möglich sein, um die Last im NK-Kreislauf zu senken. Einschränkungen sind daher die erforderliche Temperatur auf mittlerer Stufe und der Systemnenndruck.

2) Systeme ohne Last bei Mitteltemperatur. In diesem Fall sollte sich die Mitteltemperatur im Bereich von -10 bis 0 °C (durch den hohen Druck des CO₂ TK) bewegen, wobei die Untergrenze durch den Wirkungsgrad definiert wird und die obere durch den Systemnenndruck.

Betriebsablauf bei Kaskadensystemen

Bei Kaskadensystemen ist es unerlässlich, dass mindestens ein Verdichter im NK-Kreislauf aktiv ist, bevor der erste Verdichter des TK-Kreislaufs aktiviert wird. Andernfalls kann es passieren, dass der Verdichter auf der NK-Seite aufgrund des hohen Drucks abgeschaltet wird.

Dieselbe Reihenfolge gilt auch bei der Systembefüllung. Als erstes muss der NK-Kreislauf mit Kältemittel befüllt und gestartet werden. Danach kann CO₂ in das TK-System gefüllt werden.

Das Expansionsventil (ETS) für den Kaskadenwärmeübertrager sollte gleichzeitig mit den NK-Verdichtern starten. Danach regelt das Ventil die Überhitzung des TK-Verdichters, die dann durch den CO₂-Druckanstieg auf der Saugleitung gestartet.

Danfoss-Verbundregler AK-PC 783 wurde speziell mit integrierten Regelungsfunktionen zur Koordination dieser Abläufe konstruiert.

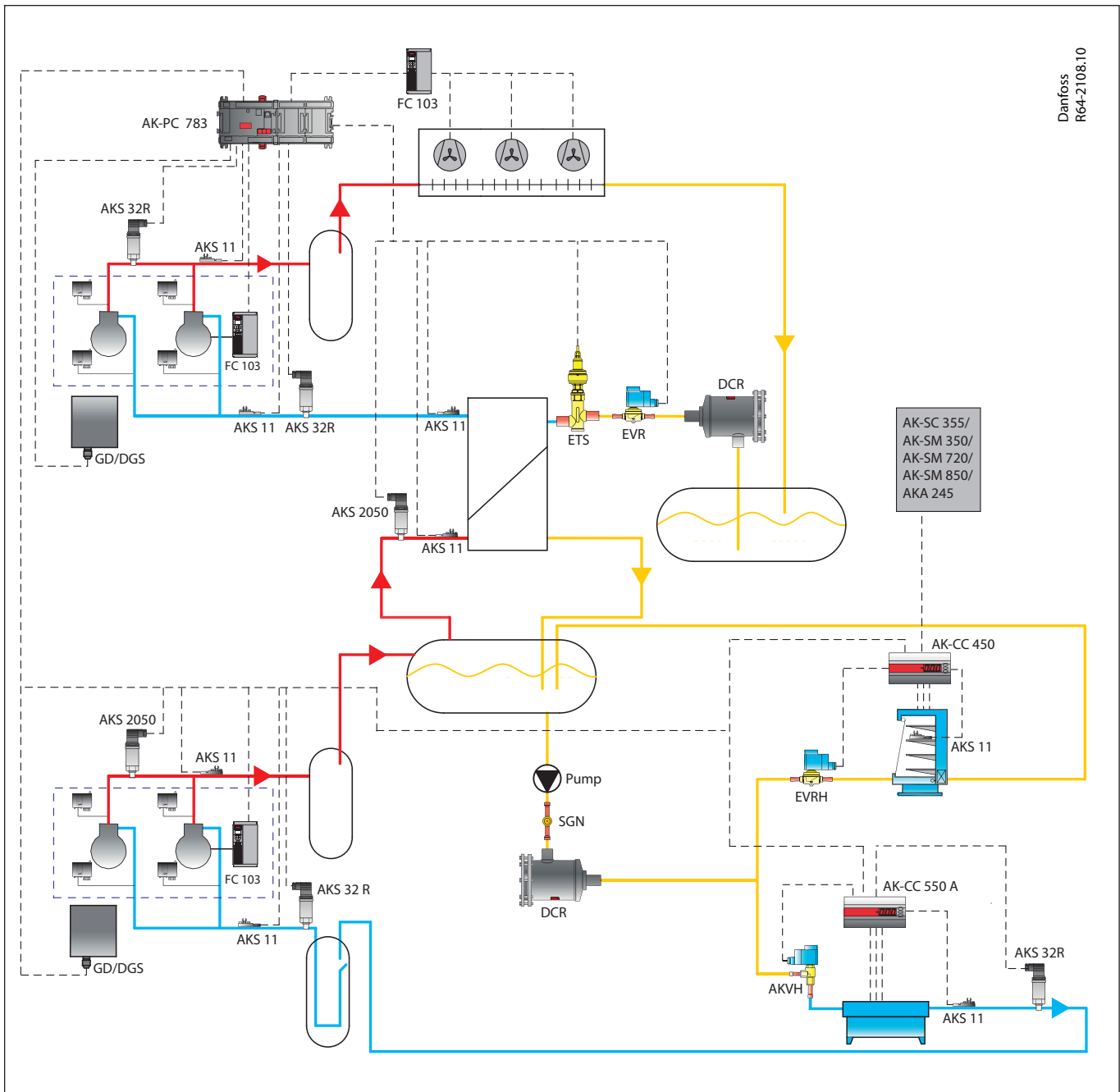
Einspritzung in Kaskadenwärmetauscher

Das Einspritzen von Flüssigkeit in einen Plattenwärmeübertrager ist keine Nebensächlichkeit. Der Wärmetauscher ist oft kompakt, daher ist die Zeitkonstante sehr niedrig. AKV-Ventile sind für diese Anwendung wegen der Pulsweitenmodulation nicht empfohlen.

Es wird empfohlen, Motorventile (ETS oder CCM) oder andere Ventile, die einen konstanten Durchfluss gewährleisten, zu verwenden.

Die Dampfkühlung von CO₂-Gas, das in den Kaskadenwärmetauscher eintritt, wird ebenfalls aus drei Gründen empfohlen.

- Das Gas oft eine Temperatur von 60 °C aufweist und die Wärme daher problemlos an die Umgebung abgeführt oder zur Rückgewinnung genutzt werden kann.
- Eine Reduzierung der thermischen Belastung im Wärmetauscher.
- Das CO₂-Gas verfügt über eine sehr hohe Wärmestromdichte, was zu instabilen Bedingungen auf der Verdampferseite führt. Aus diesem Grund wird empfohlen, die Überhitzung auf CO₂-Seite zu senken.



Danfoss
R64-2108:10

Kaskadensystem FKW - CO₂

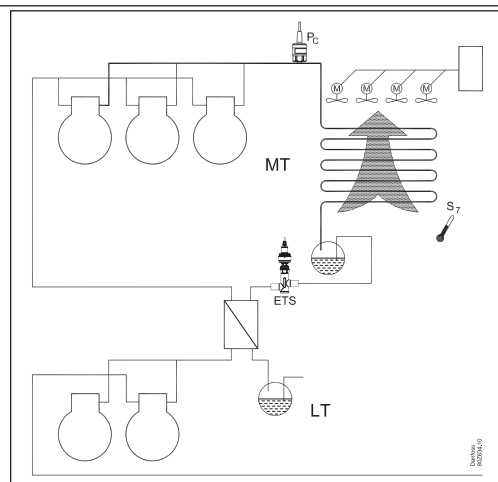
Regelbereiche bei Kaskadensystemen

Die Regelung in Kaskadensystemen kann unterteilt werden in:

- Verflüssigerleistungsregelung
- Regelung der Verdichterleistung
- Kaskadeneinspritzregelung

Regelung der Verflüssigerleistung

Die Leistungsregelung des Verflüssigers kann über eine stufenweise Regelung oder Drehzahlregelung der Lüfter erfolgen. Als Eingangsgröße für den Leistungsregler sollte der Verflüssigungsdruck gewählt werden. Es gibt zwei Möglichkeiten, den Sollwert der Regelung festzulegen: entweder als Festsollwert oder als Sollwert, der sich mit der Außentemperatur ändert. Der Sollwert des Verflüssigungsdrucks wird in °C festgelegt.



Regelung der Verdichterleistung

Der Verbundregler AK-PC 783 regelt den TK-Saugdruck und dient als Standardregler zur Regelung eines Verbundes in einer beliebigen Kühlanlage. Der Regler kann die variable Drehzahl der zwei Verdichter in Kombination mit einstufigen Verdichtern der gleichen oder unterschiedlicher Größe regeln, abhängig von der Wahl der Strategie für die Leistungsregelung.

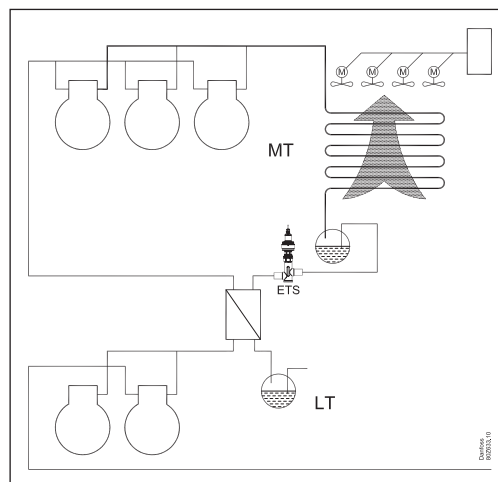
Eine spezielle Funktion im AK-PC 783 ermöglicht die Verwendung des Drucks p_c in dem TK CO_2 -Kreislauf als Regelsensor für den NK-Saugdruck. Dies soll eine schnelle und stabile Regelung des Verflüssigungsdrucks der TK CO_2 -Seite gewährleisten.

Niederdruck-/Hochdruckkoordination

Der AK-PC 783 ermöglicht eine Koordination des TK- und NK-Starts. Die NK-Verdichter starten hier entweder:

- durch Last im NK-Kreis oder
- nach Bedarf im TK-Kreis

Der NK-Kreis stellt weiterhin sicher, dass der TK-Kreis nur starten darf, wenn mindestens ein NK-Verdichter bereits gestartet wurde. Er achtet ebenfalls darauf, dass die Sicherheitszeiten und Verdichterlauf- und Standzeiten eingehalten werden.



Ölmanagement/Ölausgleich

Das integrierte Ölmanagementsystem eignet sich für die meisten Anlagen auf dem heutigen Markt. Es kann mit CO_2 sowie auch mit allen anderen herkömmlichen Kältemitteln eingesetzt werden und unterstützt Eingangssignale von:

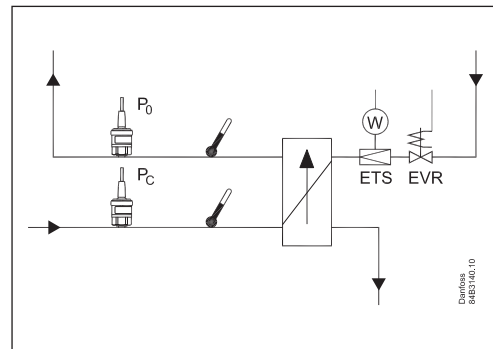
- Niveauschalter an Verdichter
- Niveauschalter an Ölabscheider
- Niveauschalter an Ölsammler
- Druckmessumformer an Ölsammler

Die Ölversorgung zu den Verdichtern wird von dem AK-PC 783 Regler gesteuert.

Kaskadeneinspritzregelung

In Anlagen mit Kaskadenregelung und CO₂ als Kältemittel im TK-Kreislauf stehen zur Regelung der Flüssigkeitseinspritzung (über ein ETS-Schrittmotor-Expansionsventil) in den Kaskadenwärmetauscher durch den AK-PC 783 zwei Methoden zur Verfügung:

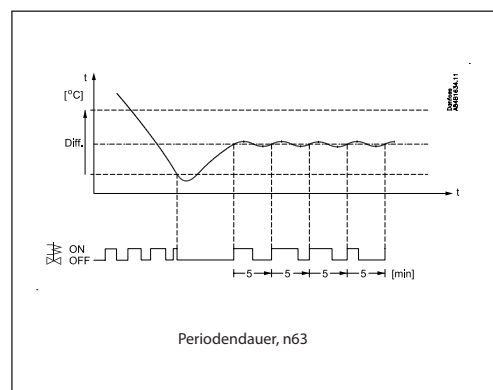
- Optimierung der Überhitzung
- Regulierung des Verflüssigungsdrucks im TK-Kreis, wobei gleichzeitig dafür gesorgt wird, dass die Überhitzung im NK-Kreis nicht zu tief absinkt.



CO₂ Durchflussregelung für MD-Verdampfer

Die Lufttemperatur in Mitteltemperatur-Kühlmöbeln und -räumen wird durch Öffnen/Schließen eines Magnetventils/Motorventils in der CO₂-Versorgung zum Verdampfer geregelt. Für die Temperaturregelung stehen zwei Methoden zur Verfügung: Eine herkömmliche Zweipunktregelung mit Differenz oder eine modulierende Regelung (PWM), bei der die Temperaturschwankungen nicht annähernd so groß sind wie bei der Zweipunktregelung.

In einer Anlage mit mehreren Verdampfern, die über die gleiche CO₂-Flüssigkeitspumpe versorgt werden, sollte eine modulierende Temperaturregelung gewählt werden, da dies für einen stetigen Durchfluss des CO₂ zur CO₂-Pumpe sorgt.



Einspritzregelung für TK-Verdampfer

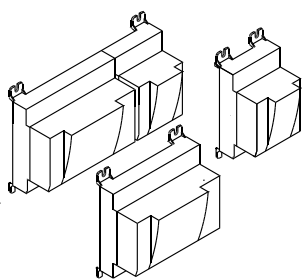
Die Einspritzregelung bei TK-Verdampfer für Kühlmöbel und Kühlräumen erfolgt über einen Regler AK-CC 550A. Dieser sorgt in Verbindung mit pulsweitenmodulierten Einspritzventilen vom Typ AKVH und patentierten Softwarealgorithmen für eine optimale Systemleistung und einen störungsfreien Betrieb.

Druckschalter

Die Danfoss CO₂-Regler verfügen über mehr Drucksicherheitsfunktionen, die ein Öffnen von Sicherheitsventilen und damit Verlust der Füllung verhindern.

Verbundregler AK-PC 783

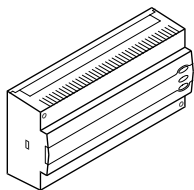
Eine Sicherheitsfunktion für maximalen Verdichtendruck verringert die Verdichterleistung.



AK-PC 783

Flexibler Regler für Leistungsregelung.
Die Anzahl von I/O kann mit AK-XM-Erweiterungsmodulen erweitert werden.

- Max 4 Verdichter an TK (CO₂)
- Max 4 Verdichter an NK (134a)
- Volle Kontrolle des Kaskadenverflüssigers (ETS-Ventil)
- Max 8 Schritte am NK-Verflüssiger
- Variable Drehzahlregelung des Grundlastverdichters und Verflüssigerlüftern
- Integrierte Ölmanagementfunktionen
- Abgabe-/Anforderungsfunktion zur Koordination zwischen Hoch- und Niederdruckverdichtern
- Einfache Wärmerückgewinnungsfunktion



AK-CC 450

Komplette Kühlstellenregelung mit einem höchstmaß an Flexibilität für die Anpassung an alle Arten von Kühlmöbeln und Kühlräumen.

- Zur Kühlung mit Sole oder gepumptem CO₂
- Zur Verwendung zusammen mit einem thermostatischen Expansionsventil
- Energieoptimierung des gesamten Kühlstelle
- Ein einziger Regler für mehrere verschiedene Kühlmöbel
- Umluft-, elektrische- oder Heißgas-Abtauung

AK-CC 550A

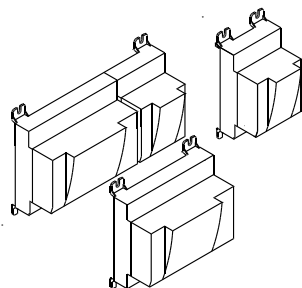
Wie AK-CC 450 - zusätzlich:

- Zur Kühlung mit elektronischem Expansionsventil
- Adaptive Regelung der Überhitzung
- Adaptive Abtauung abhängig von der Verdampfervereisung
- Spezielles Design für CO₂-Anwendungen

AK-CC 550B

Wie AK-CC 550 - zusätzlich:

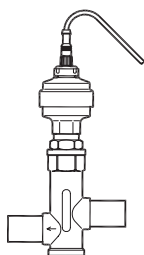
- Regelung für 2 Sektionen in 1 Gehäuse



AK-CC 750

Flexibler Kühlstellenregler zur Regelung von bis zu 4 Verdampfern.

- Jetzt auch für ETS



ETS

ETS ist eine Baureihe von elektrisch betätigten Expansionsventilen (über Schrittmotor)

- Elektrisch betriebene Expansionsventile für präzise Flüssigkeitseinspritzung in Verdampfern
- Voll ausgewogen, sorgt sowohl für Bi-Flow-Funktion als auch für eine dichte Absperrfunktion in beiden Strömungsrichtungen.

