

الفصل الثاني: التبريد بالانضغاط البخار

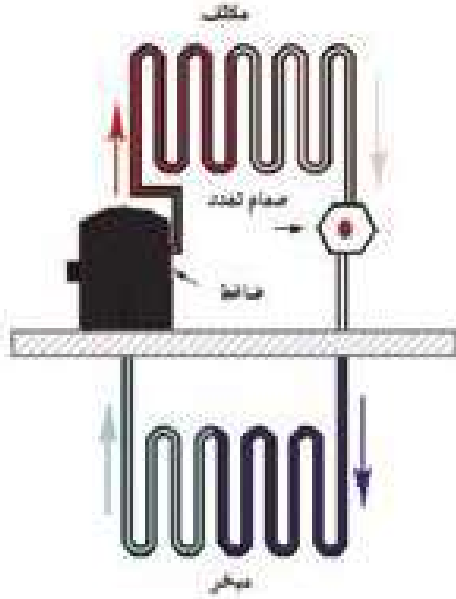
- الفكرة الأساسية للتبريد بالانضغاط البخار. ■ أنواع المبردات (موائع التبريد).
- المبخر. ■ المكثف. ■ صمام التمدد. ■ الضاغط.

١-٢ الفكرة الأساسية للتبريد بالانضغاط البخار

التبريد بالانضغاط هو أكثر طرق التبريد شيوعاً، إذ أن أكثر من ٩٠٪ من معدات التبريد في العالم تعمل بالتبريد بالانضغاط، وتعتمد الفكرة الأساسية للتبريد بالانضغاط على حقيقتين علميتين هما أولاً: أن تبخير أي سائل يحتاج إلى حرارة. وثانياً: أن درجة غليان السائل ينخفض بانخفاض ضغطه. وعليه؛ يمكن الحصول على تأثير تبريدي عند تبخير أي سائل عند ضغط منخفض، حيث تكون درجة حرارة هذا السائل منخفضة ويسحب السائل الحرارة من الوسط المحيط به لتبخيره، مما يعني تبريد الوسط.

يبين شكل (١-٢) رسماً تخطيطياً لنظام تبريد بالانضغاط البخار. ويتكون هذا النظام من أربعة مكونات أساسية هي: ضاغط، ومبخر، ومكثف، وصمام تمدد. يوجد بهذا النظام مائع يسمى مائع التبريد أو المبرد، ويدور هذا المبرد في هذه المكونات. ويعمل النظام عند مستويين للضغط: الضغط المنخفض في المبخر، والضغط المرتفع في المكثف. يعمل الضاغط على رفع الضغط من ضغط المبخر إلى ضغط المكثف، بينما يقوم صمام التمدد بخفض الضغط من ضغط المكثف إلى ضغط المبخر.

في المبخر يتم تبخير المبرد عند الضغط المنخفض، أي عند درجة حرارة منخفضة. ويقوم المبرد بسحب الحرارة اللازمة لتبخيره من الوسط المحيط به؛ مما يعمل على تبريده، سواء كان هذا الوسط هواءً أو ماءً. وهكذا يقوم الضاغط عندئذ، بسحب بخار المبرد الناتج في المبخر لرفع ضغطه وضخه إلى المكثف، وفي المكثف يتم تكثيف المبرد عند ضغط مرتفع أي عند درجة حرارة مرتفعة، وتطرد الحرارة من المبرد إلى الوسط المحيط بالمكثف، وهو عادة الجو المحيط. ويقوم صمام التمدد بخفض ضغط السائل الناتج في المكثف إلى ضغط المبخر، حيث يتم تبخير المبرد مرة أخرى.



شكل ١-٢ رسم تخطيطي لنظام تبريد بانضغاط البخار

يحكم القانون الأول للديناميكا الحرارية عمل نظام التبريد، وينص هذا القانون عند حالة الاستقرار: على أن معدل دخول الطاقة إلى النظام يكون مساوياً معدل خروج الطاقة منه. وينتج عن هذا المعادلة الآتية:

$$\text{معدل الطاقة اللازمة لتشغيل الضاغط} + \text{معدل التبريد المسحوب في المبخر} = \text{معدل الحرارة المطرودة في المكثف}$$

مما يعني أن معدل الحرارة المطرودة من النظام يساوي معدل التبريد مضافاً إليه معدل الشغل المبذول في الضاغط. ويُقيّم أداء نظام التبريد تبعاً لقيمة معامل الأداء للنظام الذي يعرف كما يلي:

معامل الأداء = معدل التبريد / معدل الطاقة اللازمة لتشغيل الضاغط
ويكون قيمة هذا المعامل عادة قرابة ٣، أي أن كل كيلووات يستهلك لتشغيل الضاغط، يعطى ثلاثة أمثاله تقريباً من التبريد. وتختلف قيمة معامل الأداء تبعاً لدرجة حرارة الجو المحيط الذي تترد إليه الحرارة، وكذلك تبعاً لدرجة حرارة التبريد المطلوب الحصول عليها. ويحاول جميع المصنعين تحسين أداء معدات التبريد بتحسين مقدار معامل الأداء؛ لتوفير طاقة التشغيل. ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى السيد (١٩٩٣)، والسيد (١٩٩٤/ب).

٢-٢ أنواع المبردات (موائع التبريد)

تستخدم نظم التبريد بانضغاط البخار موائع تبريد تسمى مبردات. تدور هذه المبردات بين المكونات المختلفة لنظام التبريد، حيث تُجرى على هذه المبردات جميع العمليات المختلفة للديناميكا الحرارية، مثل: انتقال الحرارة والانضغاط والتمدد. وهناك العديد من الخواص التي يجب أن تتوفر في المبرد قبل اختياره للعمل في أحد التطبيقات. وتشمل هذه الخواص: تحقيق سلامة التشغيل وضمان الأداء الأمثل للنظام، وانخفاض تكاليف التصنيع والتشغيل. وكما ورد في الفصل الأول، قامت جمعية آشري بوضع رقم مرجعي لكل مبرد، ويشير هذا الرقم إلى بعض المكونات الكيميائية بالمبرد وليس إلى كل مكوناته، وهي المكونات التي تدخل في تحديد الرقم المرجعي للمبرد وهي عدد ذرات الفلور، وعدد ذرات الهيدروجين، وعدد ذرات الكربون؛ وعليه يتكون الرقم المرجعي من ٣ أرقام: يكون الرقم الأول من اليمين مساوياً لعدد ذرات الفلور، أما الرقم الثاني من اليمين: فيزيد واحد عن عدد ذرات الهيدروجين، ويكون الرقم الثالث من اليمين: أقل بمقدار واحد عن عدد ذرات الكربون.

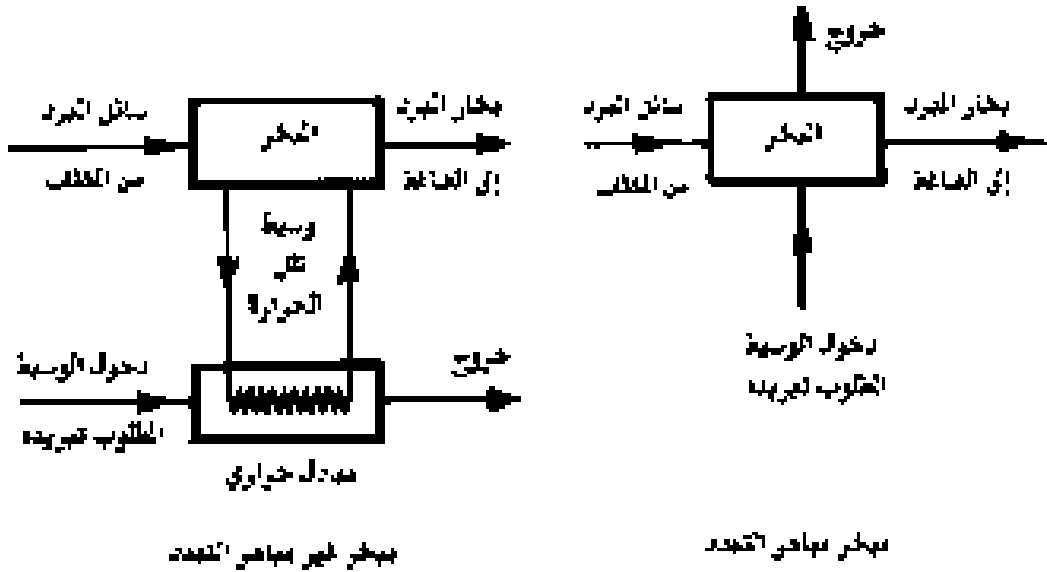
تشتق معظم المبردات من غاز الميثان أو غاز الإيثان؛ وذلك بعد استبدال ذرات الهيدروجين بهما بذرات الفلور أو البروم أو الكلور. ولقد نتج عن ذلك العديد من البدائل المشتقة التي تستخدم كمبردات. وتُعرف هذه المبردات باسم الفريون، وهو الاسم التجاري لها. وباستخدام الرقم المرجعي السابق تقديمه، يمكن تعريف مبرد ٢٢ (أو فريون ٢٢) ومبرد ١٢ (فريون ١٢) وغيرها من المبردات الأخرى.

هناك عدد قليل من المبردات التي لا تشتق من غاز الميثان أو الإيثان. وتعد الأمونيا أشهر هذه المبردات على الإطلاق، وتُعرف الأمونيا طبقاً للرقم المرجعي لجمعية آشري: بمبرد ٧١٧.

ونتيجة لقوانين حماية البيئة، والخاصة بحماية طبقة الأوزون وحماية الجو من ظاهرة الاحتباس الحراري، شُرع حظر على بعض أنواع المبردات، مثل: مبرد ١٢ الشائع الاستخدام سابقاً في الثلاجات المنزلية، وتكييف السيارات، وتم استبدال هذا المبرد بمبردات حديثة صديقة للبيئة. ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى السيد (١٩٩٣)، والسيد وآخرون (١٩٩٤/ب).

٢-٣ المبخر

المبخر هو الجزء المسؤول في دورة التبريد عن القيام بالتأثير التبريدي. ففي المبخر يتبخر المبرد (مائع التبريد) المستخدم في دورة التبريد؛ مما يؤدي إلى سحب الحمل الحراري من المادة أو الوسط المطلوب تبريده. وبناءً على ذلك، يعتمد أداء دورة التبريد، إلى حد كبير، على كفاءة عملية انتقال الحرارة خلال سطح المبخر بين الوسط المطلوب تبريده ومبرد دورة التبريد.



شكل ٢-٢ رسم تخطيطي للمبخرات مباشرة التمدد والمبخرات غير مباشرة التمدد

تقسم المبخرات تبعاً لعملية التبريد إلى مبخرات مباشرة التمدد وأخرى غير مباشرة التمدد. ففي النوع الأول: تتم عملية انتقال الحرارة بين المبرد والوسط خلال سطح المبخر، كما هو موضح بشكل (٢-٢)، أما في النوع الثاني: فيعمل المبخر على تبريد وسيط يعرف بوسيط نقل الحرارة، ثم يقوم هذا الوسيط بتبريد الوسط أو المادة المطلوب تبريدها من خلال مبادل حراري، كما هو موضح أيضاً بشكل (٢-٢). ومن تطبيقات المبخرات مباشرة التمدد: وحدة الشباك لتكييف الهواء، والثلاجات المنزلية، حيث يُبرّد الهواء بتمريره مباشرة على المبخر. ومن أمثلة تطبيقات النوع الثاني: نظم تكييف الهواء المركزية المستخدمة لماء مثلج. وفي هذه النظم يُبرّد الماء بتمريره على المبخر في دورة التبريد، ثم ينقل الماء المثلج إلى أماكن تكييف الهواء، حيث يعمل الماء على تبريد الهواء من خلال ملف تبريد (مبادل حراري).

وتُقسَّم المبخرات أيضاً تبعاً للوسط (حمل التبريد) الذي يقوم المبخر بتبريده، أي إن كان هذا الوسط هواء أو سائل كما سنوضح فيما يلي.

٢-٣-١ مبخرات تبريد الهواء (مبردات الهواء)

تصنع المبخرات التي تعمل كمبردات هواء بعدة تصميمات. إلا أن معظمها يكون عبارة عن أنابيب تحمل المبرد بداخلها، ويتصل بها أسطح ممتدة (زعانف) من الخارج، كما هو موضح بشكل (٢-٣).



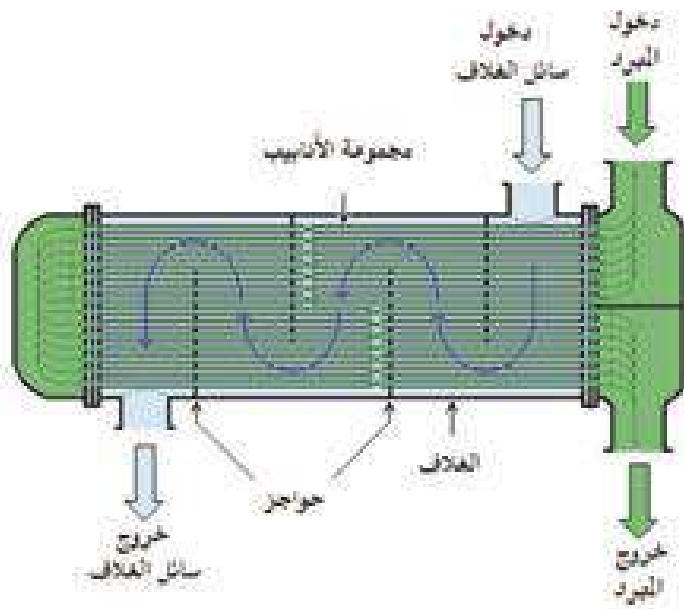
شكل ٢-٣ مبردات الهواء

وتعمل مبردات الهواء تبعاً لطريقة الحمل الحراري المستخدمة في تبريد الهواء، إما بالحمل الحر (أي الطبيعي) أو الحمل القسري. ففي الطريقة الأولى: يبرد الهواء الملامس لسطح المبخر، فتزيد كثافته ويهبط إلى أسفل مسبباً حركة الهواء مما يساعد على عملية التبريد، ومن أمثلة هذا النوع من المبخرات: مبرد الهواء الموجود بالثلاجة المنزلية. أما عند استخدام الحمل القسري: فيلزم استخدام مروحة تجبر الهواء على السريان على سطح انتقال الحرارة بالمبخر، مما يُحسِّن عملية تبريد الهواء إلى درجة كبيرة مقارنة بطريقة الحمل الحر، ومن أمثلة هذه الطريقة: وحدات الشباك لتكييف الهواء، وبعض أنواع الثلاجات المنزلية الحديثة. ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى السيد (١٩٩٣)، والسيد وآخرون (١٩٩٤/ب).

٢-٣-٢ مبخرات تبريد السوائل (المبردات)

أشهر أنواع مبخرات تبريد السوائل هو مبخر الأنبوب والغلاف (shell & tube).

يتكون هذا المبخر من غلاف يحوي عدة أنابيب. يسري سائل المبرد القادم من صمام التمدد إلى أنابيب المبخر، بينما يسري سائل حمل التبريد في الغلاف خارج الأنابيب، حيث تستخدم الحواجز بالغلاف لتوجيه سريان السائل حول الأنابيب. ويبين شكل (٤-٢) رسماً تخطيطياً لأحد المبخرات.



شكل ٤-٢ مبخر الأنابيب والغلاف

٤-٢ المكثف

يعمل المكثف على طرد الحرارة من دورة التبريد، فكما بينا سابقاً: يلزم طرد الحرارة من دورة التبريد كشرط أساسي لعمل الدورة، فإذا عجز المكثف عن طرد الحرارة إلى الجو المحيط بالمعدل اللازم انخفض أداء دورة التبريد وقد تتوقف بالكامل. وتنقسم المكثفات تبعاً للطريقة المستخدمة في طرد الحرارة منها إلى ثلاثة أقسام هي: مكثفات مبردة بالهواء، حيث يتم طرد الحرارة إلى الهواء الجوى المحيط بالمكثف، ومكثفات مبردة بالماء، حيث يتم طرد الحرارة من المكثف إلى الماء الذي يأخذ الحرارة بعيداً عن المكثف، ومكثفات مبردة بتبخير ماء باستخدام الحرارة المطرودة من المكثف، ويسمى المكثف عندئذ: بمكثف تبخيري. وفيما يلي عرض لطرق عمل هذه الأنواع الثلاثة للمكثفات.

٢-٤-١ المكثفات المبردة بالهواء

يتم نقل الحرارة المطرودة في المكثفات المبردة بالهواء بالحمل الحراري، حيث يقوم الهواء بحمل الحرارة من سطح المكثف ونقلها بعيداً عنه. وتكون حركة الهواء على سطح المكثف، إما حركة حرة نتيجة تغيير كثافة الهواء بعد تسخينه بالحرارة المطرودة من المكثف، أو حركة قسرية نتيجة وجود مروحة لدفع الهواء على سطح المكثف. ونظراً لاستخدام الهواء في التبريد وهو غاز له عامل منخفض لانتقال الحرارة فإنه يلزم تعويض ذلك عن طريق تكبير مساحة سطح انتقال الحرارة بالمكثف باستخدام أسطح ممتدة من جهة الهواء تعرف بالزعانف، ويبين شكل (٢-٥) واحداً من هذه المكثفات.



شكل ٢-٥ مكثف مبرد بالهواء

يختلف الشكل الهندسي ومساحة الأسطح الممتدة المثبتة على سطح المكثف تبعاً لحركة الهواء؛ ففي حالة الحركة الحرة تكون هذه الأسطح صغيرة، ويكفي في بعض الأحوال تثبيت سلك عن طريق اللحام إلى سطح المكثف. أما في حالة الحركة القسرية للهواء؛ فتكون كثافة الأسطح الممتدة كبيرة. وتستخدم المكثفات المبردة بالهواء بالحمل الحراري في التطبيقات ذات الأحمال الحرارية الصغيرة نسبياً، مثل: الثلاجات والمجمدات المنزلية، بينما تستخدم المكثفات المبردة بالحمل القسري في

معظم التطبيقات الأخرى، مثل: مخازن التبريد، ووحدات تكييف الهواء. ويشترط أن توضع هذه المكثفات في الهواء الخارجي على أسطح المباني، أو بجوارها في أماكن مخصصة لذلك.

٢-٤-٢ المكثفات المبردة بالماء

تستند المكثفات المبردة بالماء على طرد الحرارة إلى ماء يعمل على حمل هذه الحرارة بعيداً، حيث يتم التخلص من الماء بالكامل وتغذية المكثف بماء آخر، أو تبريد هذا الماء بالهواء فيما يعرف بأبراج التبريد، ثم عودة الماء المبرد إلى المكثف مرة أخرى.

وهناك عدة أنواع ونماذج هندسية للمكثفات المبردة بالماء، إلا أن أكثرها شيوعاً هو: مكثف الغلاف والأنبوب، كما هو الحال في المبخرات المستخدمة للسوائل. ويتكون هذا المكثف من غلاف به عدة أنابيب يسري داخلها ماء التبريد، بينما يسري بخار المبرد في الغلاف خارج الأنابيب. وتبريد بخار المبرد يتم تكثيفه على السطح الخارجي للأنابيب، ويتجمع سائل المبرد في قاع الغلاف، حيث يتم خروجه من المكثف.



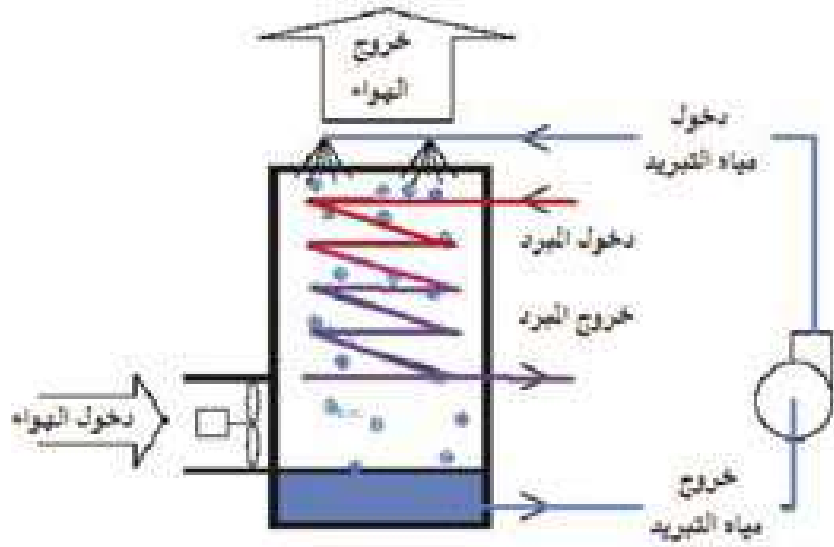
شكل ٦-٢ مكثف مبرد بالماء

ويصنف مكثف الغلاف والأنبوب تبعاً لعدد ممرات ماء التبريد بالمكثف، فيقال: أن المكثف أحادي الممر لماء التبريد؛ إذا سمح للماء بالمرور مرة واحدة فقط خلال جسم المكثف، أو ثنائي الممر للماء؛ إذا سمح للماء بالمرور مرتين خلال جسم المكثف، وهكذا. ويوضح شكل (٦-٢) واحداً من هذه المكثفات، ويمتاز هذا النوع من المكثفات

بكفاية عملية انتقال الحرارة، كما يمتاز أيضاً بسهولة تنظيف أنابيبه ميكانيكياً بعد فك صندوق الماء عند طرف المكثف. ومن عيوب هذا المكثف ارتفاع تكلفته نسبياً بالمقارنة بأنواع المكثفات الأخرى.

٢-٤-٣ المكثفات التبخيرية

يتكون المكثف التبخيري من عدة أنابيب أفقية، يسري بداخلها بخار المبرد، ويسقط ماء من أعلى على السطح الخارجي للأنابيب، بينما يسري الهواء خارج الأنابيب في اتجاه معاكس للماء، أي من أسفل إلى أعلى. ويعمل الماء على تبليل سطح الأنابيب من الخارج. وبمرور الهواء على الأسطح المبللة يتبخر الماء. وينتج عن عملية التبخير سحب الحرارة اللازمة لتبخير الماء من أسطح الأنابيب؛ مسبباً تكثيف بخار المبرد بداخلها. ويسري الهواء الرطب إلى خارج المكثف من الجزء الأعلى به. ويبين شكل (٧-٢) رسماً تخطيطياً لأحد المكثفات التبخيرية، ويتكون المكثف من: جسم المكثف، ومجموعة أنابيب، ومضخة لتدوير ماء التبريد، ومجموعة رشاشات للماء أعلى المكثف، وحوض في أسفل المكثف لتجميع الماء الذي لم يتبخر، ومروحة لسحب الهواء خلال المكثف.



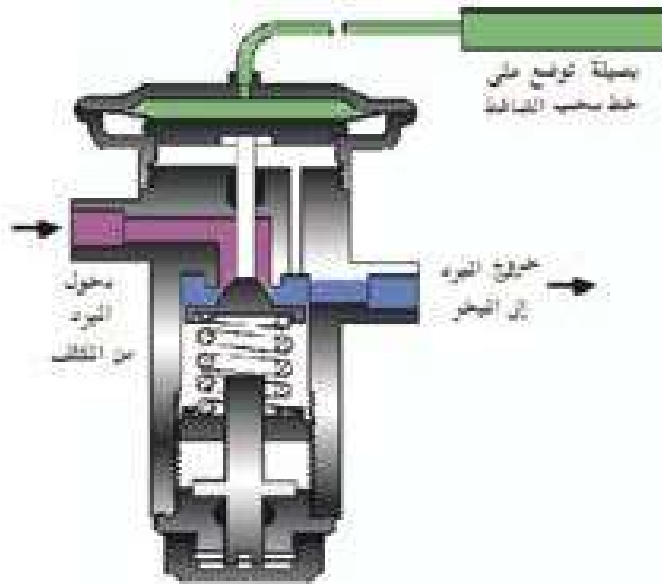
شكل ٧-٢ رسم توضيحي لمكثف تبخيري

وتستخدم المكثفات التبخيرية عادة: مراوح طرد مركزي، نظراً لكبر فقد

الضغط خلال المكثف؛ مما يجعل استخدام المراوح المحورية عندئذ غير اقتصادي. وتركب المروحة إما عند دخول المكثف، وتعرف عندئذ بمروحة دفع خلال المكثف، أو عند الخروج من المكثف وتعرف بمروحة سحب من المكثف. وفي الحالة الأخيرة يلزم أن تصنع المروحة وريشها من مواد مقاومة للتآكل، نظراً لרטوبة الهواء عند الخروج من المكثف. وفي عدة تصميمات يستخدم محرك واحد لتشغيل المروحة ومضخة المياه بالمكثف.

٢-٥ صمامات التمدد

تستخدم صمامات التمدد لخفض ضغط المبرد من الضغط العالي بالمكثف إلى الضغط المنخفض بالمبخر، بالإضافة إلى التحكم في معدل سريان المبرد إلى المبخر تبعاً لحمل التبريد. ومن أبسط أنواع صمامات التمدد الأنبوب الشعري، وهو أنبوب صغير القطر، ويحدد قطره وطوله بناءً على القيمة المطلوبة لخفض الضغط، نتيجة احتكاك السريان بالجدار الداخلي للأنبوب. ويستخدم هذا الأنبوب كصمام تمدد في الوحدات الصغيرة لتكييف الهواء، مثل: وحدة مكيف الشباك.



شكل ٢-٨ رسم توضيحي لصمام تمدد ثرموستاتي

ويعد صمام التمدد الثرموستاتي من أكثر أنواع الصمامات استخداماً؛ نظراً لما يمتاز به هذا الصمام من أداء متميز. فهو ينظم معدل سريان المبرد من المكثف

إلى المبخر تبعاً لحمل التبريد، كما يعمل الصمام أيضاً على حماية الضاغط من دخول سائل المبرد إليه مما قد يتلفه. ويبين شكل (٢-٨) رسماً توضيحياً لصمام تمدد ثرموستاتي، ويوجد بهذا الصمام بصيلة تثبت على خط سحب بخار المبرد من المبخر إلى الضاغط، وتعمل هذه البصيلة على التحكم في سريان المبرد خلال دورة التبريد تبعاً لمعدل حمل التبريد بالمبخر. ويوجد أيضاً أنواع أخرى من صمامات التمدد التي تعمل في النظم الكبيرة فقط، مثل صمام الصفيحة والثقب، وصمام الفنتوري، وغيرها. ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى السيد (١٩٩٣)، والسيد وآخرون (١٩٩٤/ب).

٢-٦ الضاغط

الضاغط هو قلب نظام التبريد، وهو المحرك للمبرد بين المكونات المختلفة بالنظام. يعمل الضاغط على سحب بخار المبرد من المبخر، ودفعه إلى المكثف بعد رفع ضغطه إلى المستوى المطلوب. وهناك عدة أنواع للضاغط. ويعتمد تقسيم هذه الأنواع على التقنية المستخدمة في رفع ضغط المبرد. وعليه يوجد نوعان من الضواغط هي: ضواغط الإزاحة الموجبة، وضواغط الطرد المركزي. تعمل ضواغط الإزاحة الموجبة على رفع ضغط بخار المبرد عن طريق إنقاص حجمه. ومن أهم الأنواع الموجودة في هذا القسم الآتي:

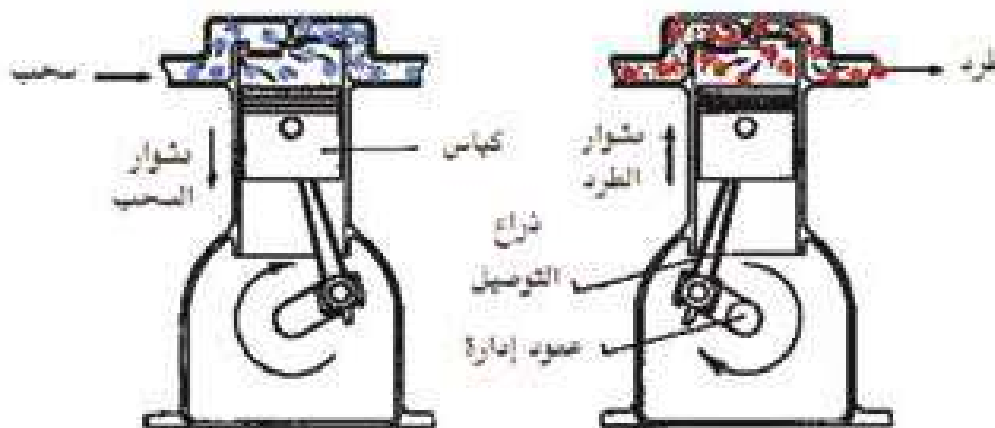
- الضواغط الترددية.
- الضواغط الدورانية.
- الضواغط اللولبية.

وفيما يلي شرح مبسط لأنواع الضواغط السابقة.

٢-٦-١ الضواغط الترددية

تعتبر الضواغط الترددية هي أكثر الضواغط شيوعاً في مجال التبريد. ويتكون الضاغط الترددي، كما هو مبين بشكل (٢-٩) من: كباس يتحرك داخل أسطوانة مسدودة الطرف. وتعرف نهاية الأسطوانة برأس الأسطوانة وتحتوي عادة: صمامي دخول المبرد إلى الأسطوانة وخروجه منها. يتحرك الكباس داخل الأسطوانة تبعاً

لدوران عمود إدارة يتصل بالكباس بذراع اتصال. وبدوران عمود الإدارة دورة كاملة يتحرك الكباس داخل الأسطوانة مشوارين، أحدهما يسمى مشوار السحب، والآخر يسمى مشوار الطرد، كما هو مبين بالشكل. ففي مشوار السحب: تسبب حركة الكباس خفض ضغط الغاز داخل الأسطوانة نتيجة التمدد (أي زيادة حجم الغاز)، فإذا قلَّ ضغط الغاز داخل الأسطوانة عن ضغط خط السحب؛ يفتح هذا الصمام ويسحب الغاز إلى داخل الأسطوانة حتى نهاية مشوار السحب. فإذا وصل الكباس إلى أبعد نقطة له عن نهاية الأسطوانة يبدأ مشوار الطرد، أي حركة الكباس في اتجاه نهاية الأسطوانة مما يعمل على رفع ضغط الغاز داخل الأسطوانة. وبزيادة الضغط داخل الأسطوانة عن ضغط خط السحب؛ يقفل صمام السحب في الحال. وباستمرار حركة الكباس في مشوار الطرد يستمر الضغط داخل الأسطوانة في الارتفاع، حتى إذا زاد هذا الضغط عن ضغط خط الطرد، فتح صمام الطرد عند نهاية الأسطوانة تلقائياً فيسري الغاز إلى الخارج بضغط يعادل ضغط الطرد، فإذا وصل الكباس إلى أقرب نقطة ممكنة له من نهاية الأسطوانة، يبدأ الكباس في العودة مرة أخرى لمشوار السحب، مما يخفض الضغط داخل الأسطوانة، فيغلق صمام الطرد فوراً، ويستمر مشوار السحب كما سبق.



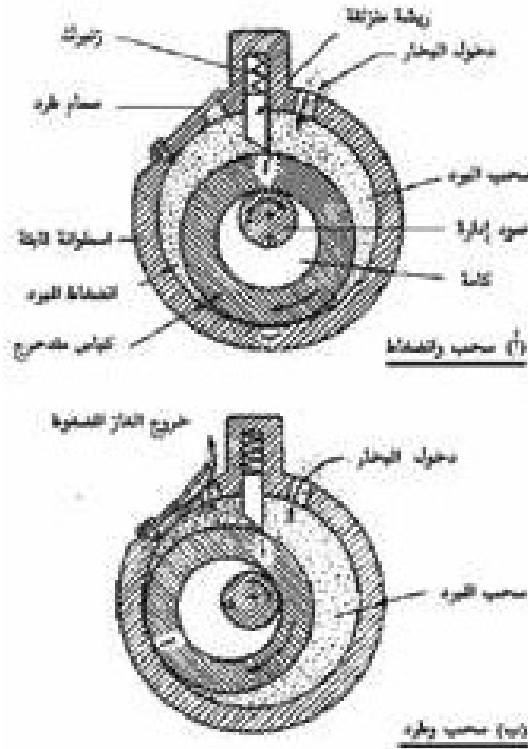
شكل ٢-٩ رسم توضيحي للضاغط الترددي

وتستخدم الضواغط الترددية في العديد من تطبيقات التبريد. وتتوفر هذه الضواغط في الأسواق بقدرات تتراوح بين ٩٠ وات إلى أكثر من ١٢٠ كيلووات

للمضاغط الواحد. وتنقسم الضواغط تبعاً لميكانيكية نقل الحركة للمضاغط إلى نوعين أساسيين، هما: الضاغط المفتوح، والضاغط محكم الغلق. ففي النوع الأول: يتم نقل الحركة إلى عمود إدارة الضاغط من محرك (موتور) خارجي، لذا يجب مد عمود الإدارة إلى خارج العلبة الحاوية للضاغط، ويلزم ضمان عدم تسرب غاز أو بخار التبريد من حول عمود الإدارة، ويجب اتخاذ الاحتياطات اللازمة لذلك. ويتم نقل الحركة بين المحرك وعمود الإدارة في الضاغط المفتوح، إما بسير وإما بازدواج. أما في حالة الضاغط محكم الغلق: فيوضع الضاغط والمحرك في علبة واحدة محكمة الغلق وملحومة من الخارج؛ وبالتالي تجرى صيانة الضاغط والمحرك بالمصنع فقط.

٢-٦-٢ الضواغط الدورانية

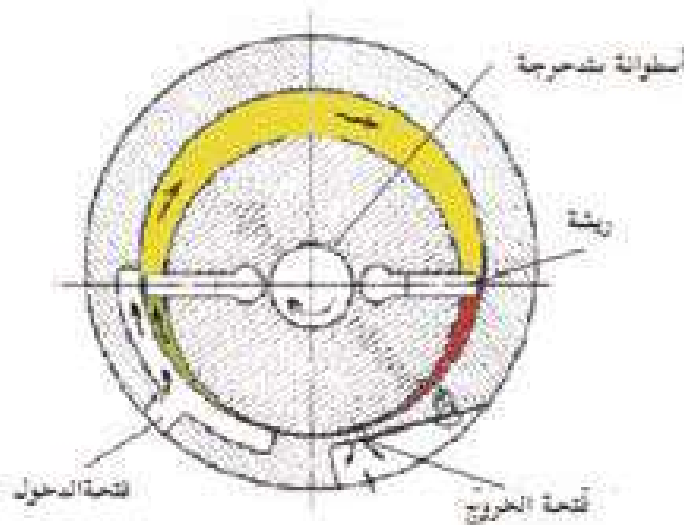
الضواغط الدورانية هي إحدى أصناف ضواغط الإزاحة الموجبة؛ حيث تنتج هذه الإزاحة نتيجة حركة دورانية، بدلاً من الحركة الترددية بالضواغط الترددية. وتنقسم



شكل ١٠-٢ رسم توضيحي لضواغط دوراني أحادي الريشة

الضاغط الدورانية إلى قسمين أساسيين، هما: الضاغط الدورانية أحادية الريشة، والضاغط الدورانية متعددة الريش. ويُعرّف الضاغط الدوراني أحادي الريشة، كذلك، باسم الضاغط الدوراني ثابت الريشة، أو باسم الضاغط الدوراني ذي الكباس المتدحرج. وهذه الأسماء جميعها مترادفات للنوع نفسه من الضواغط.

ويبين شكل (٢-١٠) ضاغطاً دورانياً أحادي الريشة. وكما هو مبين في الشكل، يتكون هذا النوع من الضواغط الدورانية من المكونات الآتية: أسطوانة خارجية، وكباس حلقي، وعمود إدارة متصل مباشرة بكامة، وريشة منزلقة، وصمام طرد. وتمثل الأسطوانة الخارجية الجسم الخارجي للضاغط وتحوي بداخلها: الكباس الحلقي وعمود الإدارة والكامة. كذلك، تضم هذه الأسطوانة داخل تجويف بها: ريشة منزلقة تحت تأثير زنبرك يجعل طرف هذه الريشة دائم الارتكاز على سطح الكباس الحلقي عند نقطة "أ"، كما هو مبين بشكل (٢-١٠). ويوجد داخل الأسطوانة وعلى محورها نفسه عمود إدارة يتصل مباشرة بكامة؛ لدحرجة الكباس الحلقي فوق هذه الكامة، مما يسبب حركة الكباس داخل الأسطوانة الخارجية، بحيث يلامس هذا الكباس سطح الأسطوانة الداخلية في نقطة "ب". وينتج عن حركة الكباس في الاتجاه المبين بالرسم تقسيم الحيز الموجود بين الكباس والأسطوانة إلى جزئين: أحدهم يحوي بخار المبرد أثناء مشوار السحب، والآخر يحوي بخار المبرد في مشوار الانضغاط أو الطرد. فبالإشارة إلى الحالة (أ) في شكل (٢-١٠). يتم سحب بخار المبرد في الحيز



شكل ١١-٢ رسم توضيحي لضاغط دوراني ثنائي الريشة

الأيمن بالرسم، بينما يتم انضغاط البخار في الحيز الأيسر. وباستمرار حركة الكباس الحلقي، يقل حجم البخار في الحيز الأيسر نتيجة الإزاحة الموجبة للكباس مما يعمل على رفع قيمة الضغط. فإذا زاد هذا الضغط عن ضغط الطرد بخط الغاز الساخن: فتح صمام الطرد ويبدأ مشوار الطرد، كما هو موضح بالحالة (ب) بشكل (٢-١٠). وتستخدم الضواغط الدورانية متعددة الريش ريشاً مثبتة على سطح الكباس الحلقي، وتسمى هذه الضواغط أيضاً بضواغط الريش الدوارة، بالمقارنة بالنوع السابق (ضاغط الريشة الثابتة). ويبين شكل (٢-١١) ضاغطاً دورانياً ثنائي الريشة. ويدور الكباس الحلقي مباشرة بعمود إدارة دون استخدام كامة، خلافاً للضواغط الدورانية أحادية الريشة، مع ترحيل محور دوران عمود الإدارة عن مركز الأسطوانة الخارجية، كما هو مبين بالشكل. ويقسم الحيز بين الكباس والأسطوانة إلى ٣ أجزاء: في الجزء الأيسر، يتم سحب بخار المبرد. وفي الجزء الأوسط، يتم انضغاط البخار نتيجة هندسة الحيز المحصور بين الكباس والأسطوانة الخارجية. وفي الجزء الأيمن، يتم طرد البخار عند ضغط الطرد. وتتم عملية الطرد فور مرور الريشة على فتحة الطرد، كما هو موضح بالشكل.

وتمتاز الضواغط الدورانية بصغر حجمها، وخفة وزنها بالمقارنة بالضواغط الترددية التي لها سعة التبريد نفسها، حيث تعمل الضواغط الدورانية بسرعة دوران أكبر من السرعة المستخدمة بالضواغط الترددية. كذلك تمتاز الضواغط الدورانية بقلة عدد الأجزاء المتحركة بها، بالمقارنة بعدد الأجزاء المتحركة بالضواغط الترددية، مما يؤدي إلى انخفاض الضوضاء الصادرة من الضواغط الدورانية بالمقارنة بالترددية.

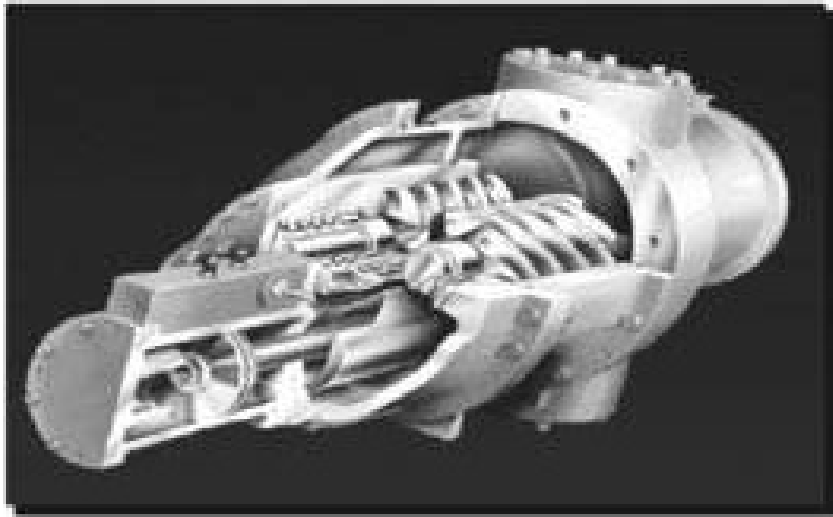
وتستخدم الضواغط الدورانية الصغيرة بقدرات حتى ٥ كيلووات بكثرة في العديد من التطبيقات، مثل الثلاجات والمجمدات المنزلية، ووحدات الشباك للتكييف.

٢-٦-٣ الضواغط اللولبية

الضواغط اللولبية هي ضواغط موجبة الإزاحة، كما ورد سابقاً، وهي تعتبر ضواغط دورانية من حيث التقسيم العام للضواغط. دخلت الضواغط اللولبية صناعة التبريد

وتكييف الهواء بعد عام ١٩٦٠م. ومنذ ذلك التاريخ تطورت صناعة هذه الضواغط تطوراً كبيراً، وشهدت العديد من التغيرات في تصميمها. وتمتاز هذه الضواغط بالسهولة في التصميم والتشغيل، وقوة تحملها، وطول عمرها، وصغر حجمها، وارتفاع كفاءتها بالمقارنة بالضواغط الترددية. وتتوفر الضواغط اللولبية بسعات تبريد تتراوح بين ٧٠ كيلووات (قرابة ٢٠ طن تبريد) وحتى ٤٥٠٠ كيلووات (قرابة ١٣٠٠ طن تبريد) ، مما يعني أن هذه الضواغط لم تستخدم حتى الآن في التطبيقات الصغيرة، مثل: الثلاجات والمجمدات المنزلية، ووحدات الشباك لتكييف الهواء.

يتكون الضاغط اللولبي من مكونات أساسية هي دوار لولبي ذكر، ودوار لولبي أنثى، وأسطوانة حاوية للدوارين، ووصلة سحب بخار المبرد إلى الضاغط، ووصلة طرد بخار المبرد إلى خط الطرد، وذلك بالإضافة إلى أجهزة الأمان والتحكم



شكل ٢-١٢ ضاغط لولبي، ثنائي الدوار (أعلى) وثلاثي الدوار (أسفل)

الأخرى. وقد تتضمن بعض التصميمات دواراً ذكراً ودوارين أنثيين، ويبين شكل (٢-١٢) رسماً توضيحياً لمقطع في ضاغط لولبي ثنائي الدوار، وآخر ثلاثي الدوار. وكما هو مبين بالشكل، يتكون الدوار اللولبي الذكري من: عمود أسطواني به نتوءات مستديرة حلزونية، أما الدوار اللولبي الأنثوي فهو عبارة عن: عمود أسطواني به تجاويف (أو حوز) مستديرة حلزونية. وبدوران الدوار الذكري يتم تعشيق نتوءاته في تجاويف الدوار الأنثوي مسبباً دوراناً هو الآخر.

يدخل بخار المبرد من وصلة السحب ويملاً الفراغات بين الدوارين والأسطوانة الخارجية، وبدوران الدوار الذكري، ومن ثم دوران الدوار الأنثوي يزاح بخار المبرد بين الدوارين والأسطوانة إلى الأمام حيث يقل الحجم، مما يسبب انضغاط بخار المبرد. وينتقل بخار المبرد تدريجياً في اتجاه وصلة الطرد، حيث يدفع إلى خارج هذه الوصلة عند ضغط الطرد. وتصمم الضواغط الدورانية باختلاف عدد النتوءات بالدوار الذكري عن عدد التجاويف بالدوار الأنثوي وهى عادة ٤ للأول و٦ للثاني.

٢-٦-٤ ضواغط الطرد المركزي

ضواغط الطرد المركزي هي ضواغط ديناميكية تعمل بتحويل طاقة الحركة إلى ضغط. وتستخدم هذه الضواغط قوة الطرد المركزي لرفع طاقة حركة الغاز. كما تمتاز هذه الضواغط عادة، بسهولة أدائها وقوة تحملها، وقلة عدد الأجزاء المتحركة بها بالمقارنة بالضواغط الترددية؛ مما يؤدي إلى عمل هذه الضواغط بكفاءة مرتفعة تتراوح بين ٧٠ إلى ٨٠٪ عند ظروف تشغيل مختلفة. وتستخدم هذه الضواغط في النظم ذات سعة التبريد الكبيرة، ولا يمكن استخدامها في التطبيقات التي تحتاج إلى سعة تبريد أقل من ١٠٠ طن تبريد (٣٥٠ كيلووات). وتستخدم ضواغط الطرد المركزي أيضاً بنجاح في نظم درجات الحرارة المنخفضة متعددة المراحل حتى -١٠٠°م.

الضاغط يمثل جزءاً محسوساً من القدرة اللازمة لتشغيل الضاغط، مما يقلل من كفاءة الضاغط إلى قيم غير مقبولة عملياً. ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى السيد (١٩٩٣)، والسيد وآخرون (١٩٩٤/ب).