



المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

الأساسيات الميكانيكية

ضواغط التبريد والتكييف

الوحدة الأولى : ضواغط التبريد والتكييف

الفصل الأول : دورة التبريد بالفيون

لدراسة الأنظمة الميكانيكية للتبريد والتكييف يجب التعرف أولاً على بعض الموضوعات الأساسية والهامة التي تساعد على فهم عمل وأداء هذه الأنظمة بمختلف أنواعها. ومن الموضوعات الأساسية الواجب تناولها في البداية هي الطاقة الحرارية أو الحرارة.

الحرارة

الحرارة هي صورة من الصور المختلفة للطاقة. ومن المعروف أن الحرارة تنتقل من مكان إلى آخر نتيجة اختلاف درجات الحرارة، فالحرارة تسري من الوسط الساخن (الحار) إلى الوسط البارد. لذلك فالقوة الدافعة لانتقال الحرارة هي الفرق في درجات الحرارة. وتعتبر درجة الحرارة هي المؤشر الدال على مقدار الطاقة الحرارية أو شدة الحرارة.

الحرارة المحسوسة

الحرارة المحسوسة هي التغيير في شدة الحرارة التي يصاحبها تغيير في درجة الحرارة. فمثلاً عند ارتفاع درجة حرارة الماء من ٢٠ درجة مئوية إلى ٥٠ درجة مئوية فهذا يعني أن الماء قد اكتسب كمية من الحرارة المحسوسة تسببت في رفع درجة حرارته بمقدار ٣٠ درجة مئوية. لذلك تأتي كلمة المحسوسة للدلالة على أن هذه الحرارة يمكن ملاحظتها وتعيينها عن طريق قياس درجات الحرارة.

الحرارة الكامنة

هناك نوع آخر من الحرارة ويسمى الحرارة الكامنة أو الحرارة المخفية غير الظاهرة وتعرف بأنها الحرارة المضافة أو المفقودة من المادة التي لا يصاحبها تغيير في درجة الحرارة. فمثلاً عند درجة غليان الماء (١٠٠ درجة مئوية) إضافة مزيد من الحرارة للماء لا يغير من درجة حرارته ولكن يبدأ في التبخر بعد اكتسابه للحرارة الكامنة ويتحول من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية ليصبح بخار ماء.

المادة

تتركب المادة من الذرات (ذرات العناصر المختلفة) وهي التي تمثل أصغر جزء في المادة. تتحد هذه الذرات مع بعضها البعض لتكون جزيئات المادة التي ترتبط مع بعضها بقوة جذب معينة. لذلك تظهر المادة في إحدى الصور الثلاث الآتية: الصلبة أو السائلة أو الغازية تبعاً إلى قوة التجاذب بين جزيئاتها. فمثلاً الحالة الصلبة للماء هي الثلج حيث تكون قوة تجاذب الجزيئات مع بعضها في هذه الحالة الصلبة كبيرة. عند

تعرض الثلج إلى الحرارة تقل قوة التجاذب بين الجزيئات ويبدأ في الذوبان والتحول إلى الحالة السائلة. أما بخار الماء (وهو الحالة الغازية للماء) تكون قوة التجاذب بين جزيئاته أقل ما يمكن. تتأثر درجة غليان السوائل تبعاً إلى الضغط المؤثر عليها ، على سبيل المثال درجة غليان الماء الواقع تحت تأثير الضغط الجوي العادي (١٠٢ كيلوبسكال) هي ١٠٠ درجة مئوية. إذا زاد الضغط إلى ٣١٠ كيلو بسكال ، مثالا ، ترتفع درجة غليان الماء إلى ١٢٣ درجة مئوية ، أما إذا انخفض الضغط إلى ٢٠ كيلوبسكال تنخفض درجة غليان المياه إلى ٦٢ درجة مئوية. وتستخدم هذه الظاهرة في أنظمة التبريد التي تعمل بالفريون فدرجة غليان فريون ١٢ (R-12) عند الضغط الجوي هي -٢٩ درجة مئوية أما إذا انخفض الضغط إلى ٦٢ كيلو بسكال فإن درجة غليان هذا الفريون تصبح -٤١ درجة مئوية.

وسائط التبريد

وسيط التبريد هو المادة التي تعمل على نقل الحرارة من وسط إلى آخر حيث يتحول وسيط التبريد من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية (عملية التبخر) خلال امتصاصه للحرارة ويتكاثف وسيط التبريد ليتحول إلى الحالة السائلة خلال طرده للحرارة. وتتميز وسائط التبريد بانخفاض درجة غليانها مما يجعلها قادرة على اكتساب الحرارة الكامنة والتبخر.

يعتبر الفريون من أهم وسائط التبريد المستخدمة في دوائر التبريد المختلفة حيث يستخدم فريون R-12 وفريون R134a في دوائر تبريد الثلاجات وفريون R-22 في دوائر تبريد المكيفات. والرقم الدال على الفريون (R-12, 22) يشير إلى عدد ذرات الكربون والهيدروجين والفلورين داخل التركيب الكيميائي لوسط التبريد.

أنظمة التبريد

يعرف التبريد بأنه المحافظة على درجة حرارة المادة أقل من درجة حرارة الهواء الجوي. وللقيام بعملية التبريد هناك عدة أنظمة مستخدمة منها:

- نظام التبريد بالتبخير.

- نظام التبريد بضغط البخار.

- نظام التبريد بالامتصاص.

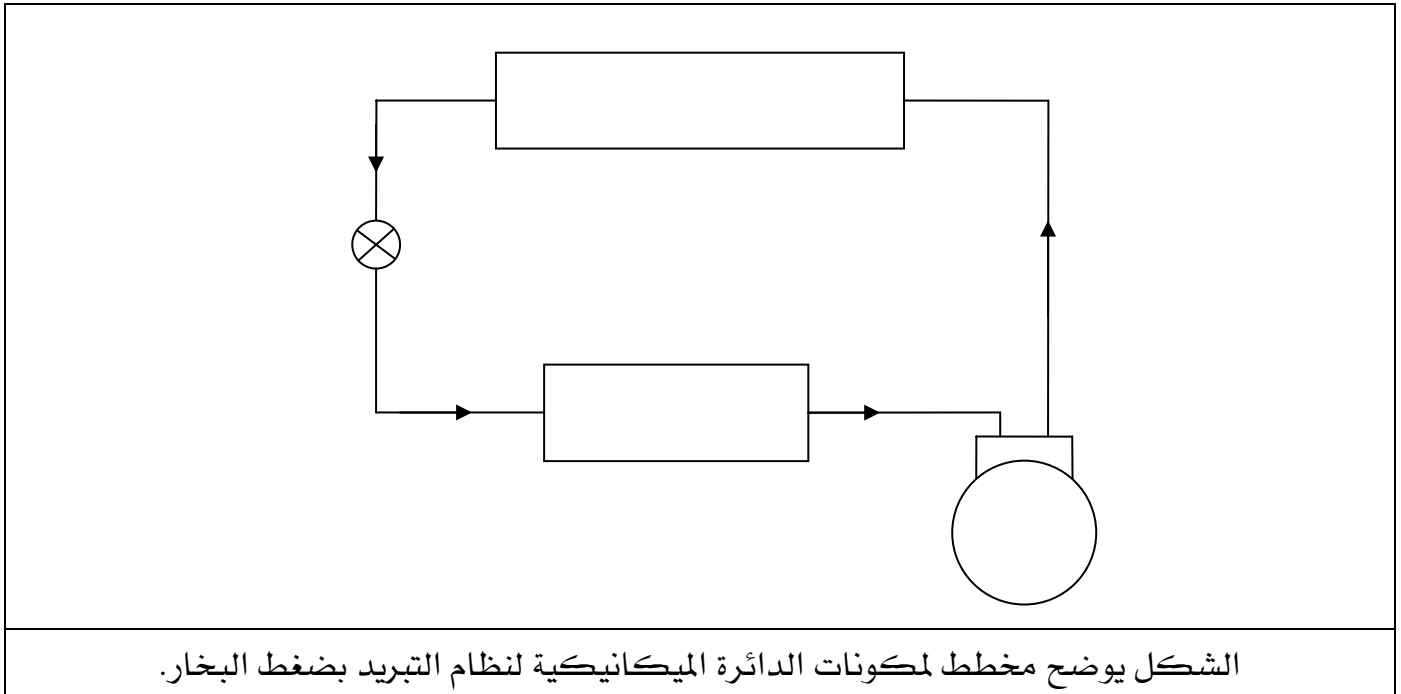
- نظام التبريد الكهروحراري.

ويعتبر نظام التبريد بضغط البخار هو أحد الأنظمة الهامة المستخدمة بكثرة في العديد من المجالات وهو النظام الأكثر شيوعاً وسوف نتناوله بالشرح التفصيلي في الفقرات التالية.

الفصل الثاني: نظام التبريد بضغط البخار

مكونات الدائرة الميكانيكية لنظام التبريد بضغط البخار:

الدائرة الميكانيكية لدورة التبريد بضغط البخار والمبينة بالشكل التالي هي دائرة مغلقة تحتوي بداخلها على وسيط التبريد الذي يعمل على نقل الحرارة خلال سريانه داخل عناصر الدورة. وتتكون الدورة من أربع عناصر رئيسية هي: المبخر - الضاغط - المكثف - وجهاز التمدد.



المبخر

تتم عملية سحب وامتصاص الحرارة من المادة المراد تبريدها بواسطة المبخر، حيث يمتص سائل وسيط التبريد المار بداخل أنابيب المبخر الحرارة من الوسط المحيط بالسطح الخارجي للمبخر. ترتفع درجة حرارة سائل وسيط التبريد وتصل إلى درجة الغليان والتي هي أقل بكثير من درجة حرارة الوسط المحيط. مع استمرار امتصاص الحرارة يتبخّر سائل وسيط التبريد ليخرج من المبخر وهو في حالته الغازية استعداداً للدخول على الضاغط.

الضاغط

يعتبر الضاغط قلب دائرة التبريد فهو مضخة وسيط التبريد التي تدفعه خلال مكونات الدائرة. ويوظف الضاغط للقيام بسحب غاز وسيط التبريد من المبخر لرفع ضغطه إلى الضغط الذي تتم عنده عملية التكثيف ودفع غاز وسيط التبريد داخل المكثف.

المكثف

يعمل المكثف على طرد الحرارة المحسوسة والكامنة التي اكتسبها وسيط التبريد من المبخر ومن عملية الانضغاط داخل الضاغط. يصل غاز وسيط التبريد الساخن بعد خروجه من الضاغط إلى أعلى المكثف ويمر خلال مواسيره حيث يفقد الحرارة وتقل درجة حرارته إلى أن تصل لدرجة التكثيف. يبدأ غاز وسيط التبريد في التكثف بعد فقدته للحرارة الكامنة ويتحول إلى الحالة السائلة ليخرج من المكثف سائل ذو ضغط مرتفع.

في بعض المكثفات يمكن الاستمرار في خفض درجة حرارة سائل وسيط التبريد وتبريده عبر مواسير المكثف وتسمى هذه الظاهرة بالتبريد الدوني وهي مفيدة لأنها ترفع من معامل أداء الدورة.

جهاز التمدد

يعمل جهاز التمدد على خفض ضغط سائل وسيط التبريد المرتفع، الخارج من المكثف، إلى ضغط المبخر المنخفض، وتسمى عملية خفض الضغط هذه بعملية التمدد. يدخل بعدها وسيط التبريد إلى المبخر ليستمر عمل الدورة إلى أن يتوقف الضاغط عن العمل فيتوقف معه سريان وسيط التبريد.

في دوائر التبريد ذات السعات الكبيرة تستخدم صمامات التمدد كأجهزة لخفض الضغط وأيضا للتحكم في معدل تدفق وسيط التبريد. أما دوائر التبريد ذات السعات الصغيرة، مثل الثلاجات وأجهزة التكييف، فتستخدم الأنبوبة الشعرية كجهاز لخفض ضغط وسيط التبريد الخارج من المكثف.

أنواع المبخرات

- مبخرات ذات انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي:

تستخدم هذه المبخرات في المجمدات الصغيرة والثلاجات العادية، كما في الشكل التالي وتعتمد على الحمل الطبيعي في انتقال الحرارة بين وسيط التبريد والوسط المحيط بالمبخر حيث تكون سرعة الهواء حول المبخر صغيرة. والحمل الطبيعي هو صعود الهواء الساخن الأقل كثافة إلى أعلى حيث يوجد المبخر وهبوط الهواء البارد الأكبر كثافة إلى أسفل. لذلك تعتمد حركة الهواء داخل حيز التبريد على فرق درجات الحرارة بين المبخر ذو درجة الحرارة المنخفضة والوسط المحيط به ذو درجة الحرارة الأكبر.



الشكل يوضح ثلاجة عادية ذات مبخّر يعمل على انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي.

- مبخّرات ذات انتقال الحرارة بالحمل القسري:

في هذا النوع من المبخّرات يتم دفع الهواء قسرياً، بواسطة مروحة، عبر أنابيب وزعانف المبخّر حيث يتم انتقال الحرارة بين الهواء المار ووسيط التبريد.

الفصل الثالث: أنواع الضواغط

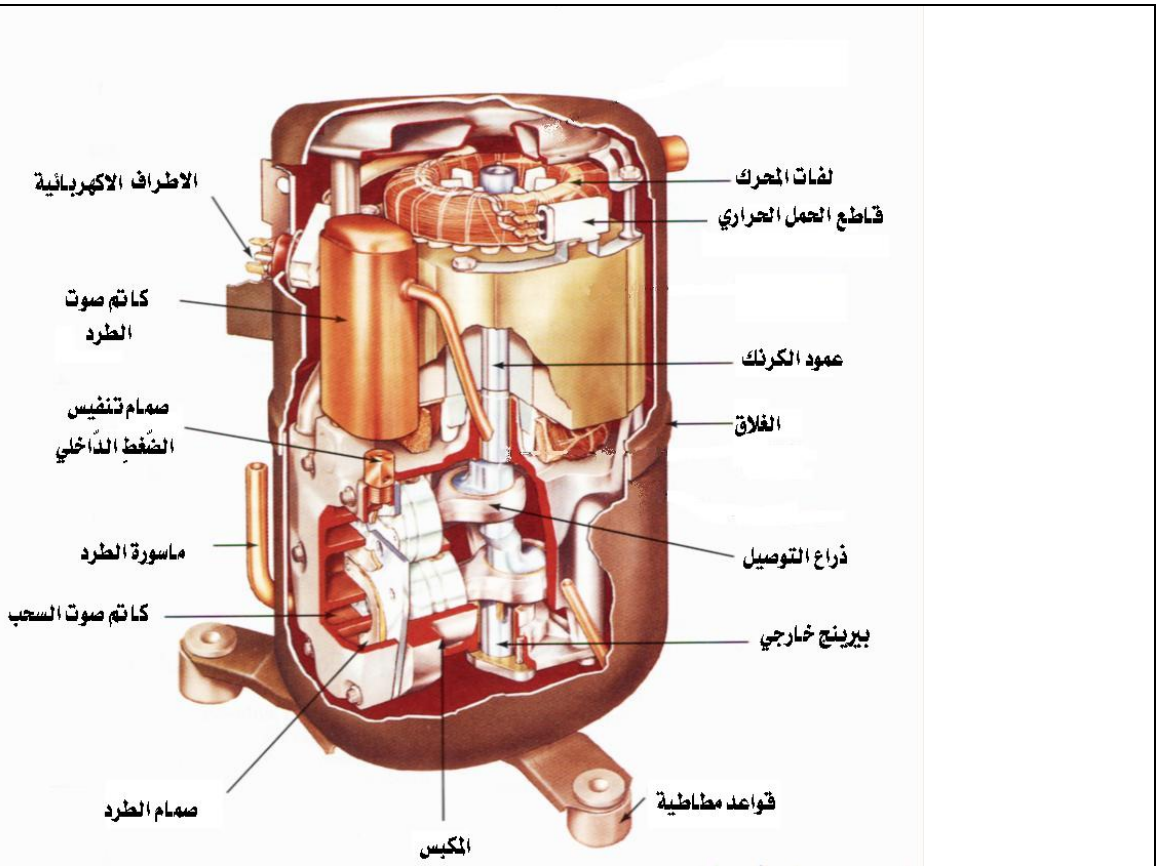
من أهم أنواع الضواغط شائعة الاستخدام في الثلاجات والمجمدات والمكيفات المنزلية الضواغط الترددي والضواغط الدوراني والضواغط الحلزوني.

- الضواغط الترددي:

لعدة سنوات كان الضواغط الترددي هو الأكثر استخداما في دورات التبريد التي تصل قدرة الضاغط بها حتى ١٠٠ حصان. وهو الآن من أهم الأنواع المستخدمة والتصميمات الجديدة منه ذات كفاءة تشغيل عالية.

يعتمد الضاغط الترددي في عملية انضغاط - غاز وسيط التبريد على الحركة الترددية التي يقوم بها المكبس داخل الأسطوانة لذلك فإن مكونات الضاغط الترددي تشبه إلى حد كبير مكونات محرك السيارة.

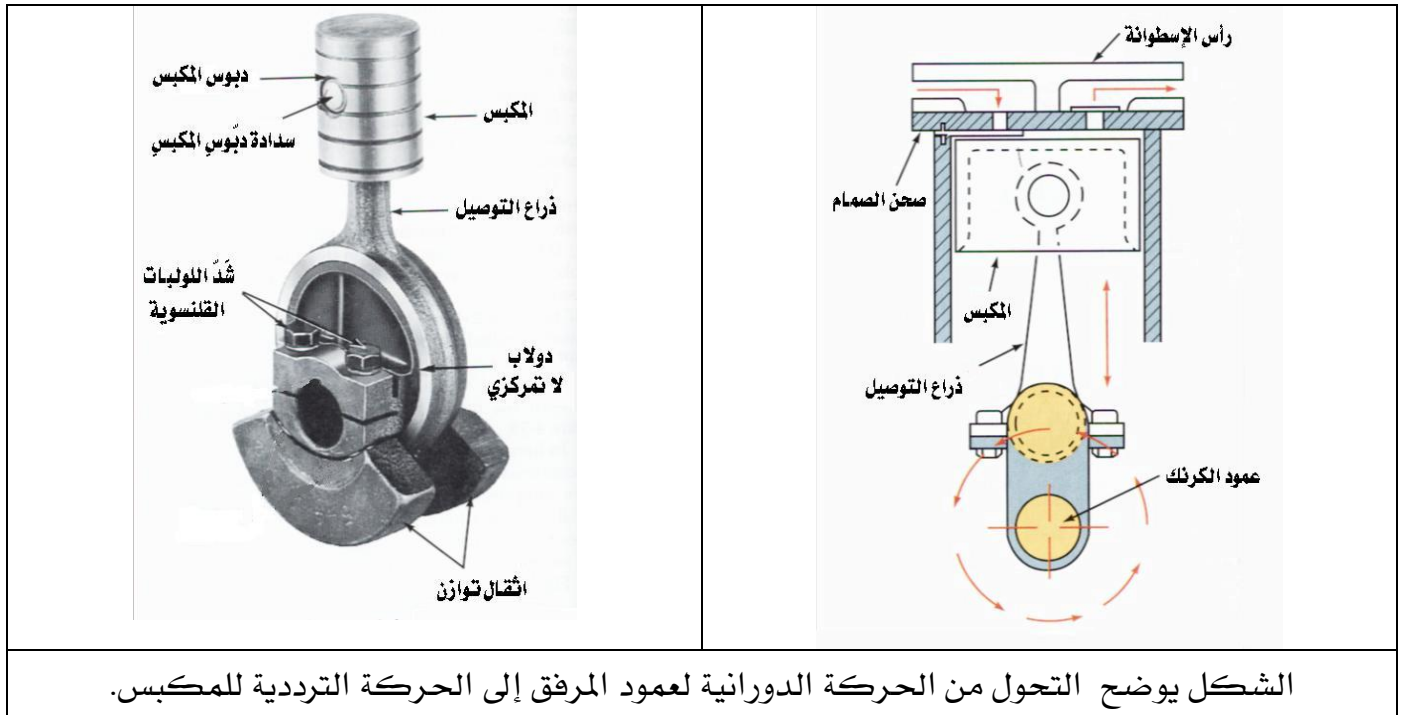
ويتكون الضاغط الترددي من الأجزاء الرئيسية الآتية والموضحة بالشكل التالي :



الشكل يوضح مكونات الضاغط الترددي.

- عمود المرفق :

يستمد عمود المرفق حركته الدورانية من المحرك الكهربائي المتصل به حيث يعمل عمود المرفق على تحويل هذه الحركة الدورانية إلى حركة ترددية للمكبس. والحركة الترددية هي تحرك الجسم ذهابا وإيابا في خط مستقيم بين موضعين ثابتين. يصنع عمود المرفق عادة من الحديد الصلب ويزود بعدد من الكامات اللامركزية مساوي لعدد أسطوانات الضاغط. واللامركزية تعني أن مركز الكامات المستديرة يبعد عن محور عمود المرفق الذي يدور حوله حتى يتسنى لعمود المرفق تحويل حركة الدورانية إلى حركة ترددية للمكبس كما هو مبين في الشكل التالي. ومركب على الكامات ذراع التوصيل المتصل بالمكبس.

**- ذراع التوصيل -**

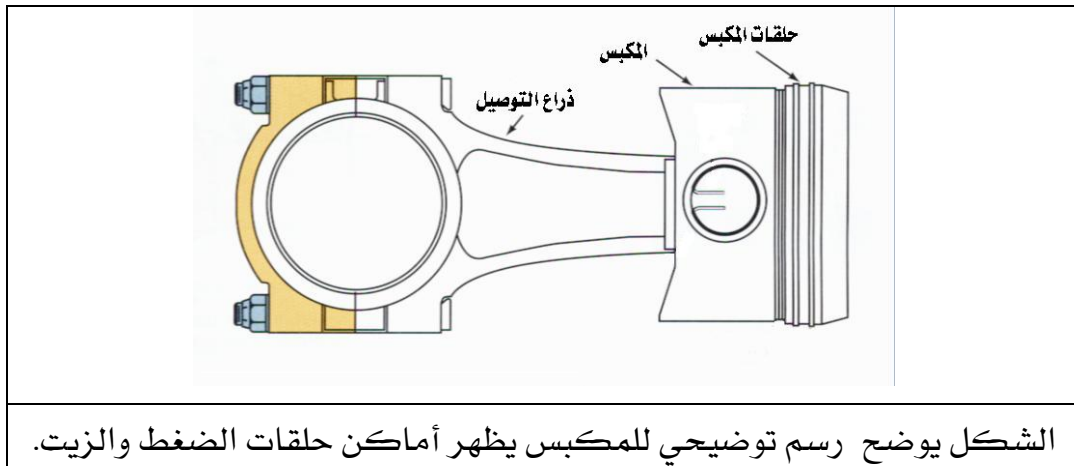
ذراع التوصيل هو أداة الاتصال بين عمود المرفق والمكبس فهو يعمل على نقل الحركة بينهما. ويتكون ذراع التوصيل من ثلاثة أجزاء هي النهاية الكبرى والساق والنهاية الصغرى كما هو مبين في الشكل التالي. تتصل النهاية الكبرى بعمود المرفق والنهاية الصغرى بالمكبس عن طريق بنز المكبس.



- المكبس

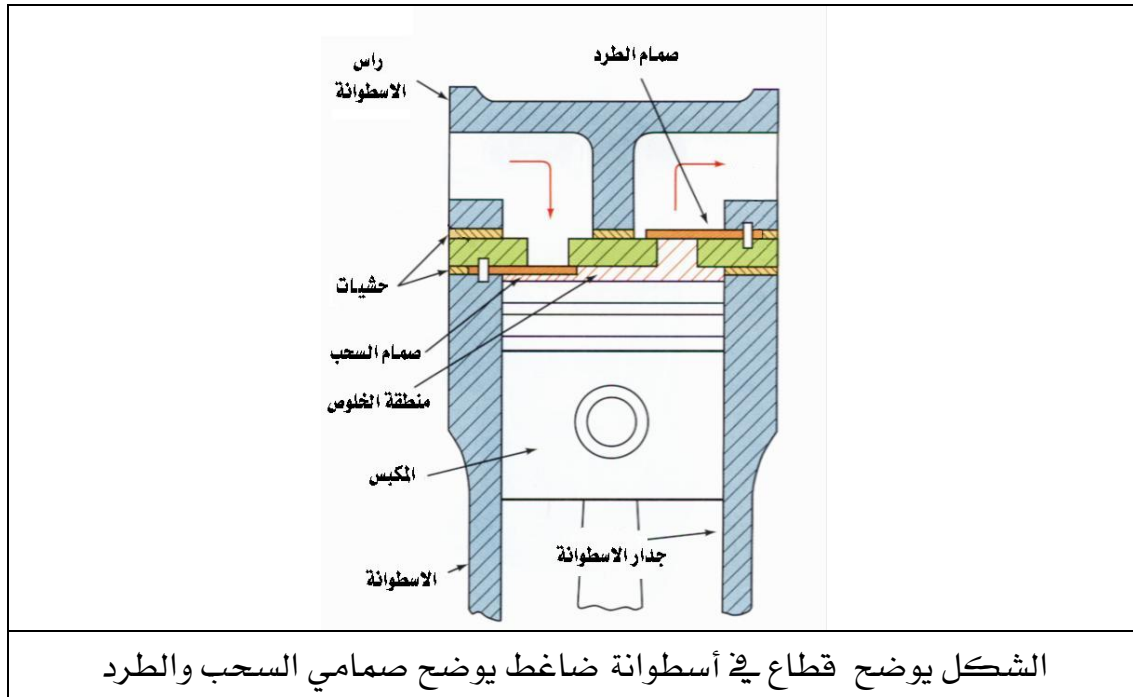
يعتبر المكبس من أهم أجزاء الضاغط فهو يعمل على سحب غاز وسيط التبريد وضغطه داخل الأسطوانة نتيجة إلى الحركة الترددية التي يقوم بها داخل الأسطوانة. وعملية ضخ ورفع ضغط وسيط التبريد تؤدي إلى تمكّنه من السريان داخل دائرة التبريد.

يصنع المكبس بتقنية فائقة الجودة حتى تسهل عملية تركيبه وضمان عمله بكفاءة داخل الاسطوانة. يزود المكبس بحلقات للضغط والزيت (شبابر) حيث توظف هذه الحلقات؛ أولاً لمنع تسرب غاز وسيط التبريد عبر الفراغ الموجود بين المكبس والاسطوانة. ثانياً لضمان توزيع الزيت ومسح الفائض منه على السطح الداخلي للأسطوانة. يوضح الشكل التالي المكبس وأماكن تركيب حلقات الضغط والزيت عليه.



- صمامات الضاغط :

يتوقف عمل الضاغط بدرجة كبيرة على حالة وعمل الصمامات حيث تعمل هذه الصمامات على تنظيم دخول وخروج غاز وسيط التبريد من أسطوانات الضاغط. تحتوي كل أسطوانة على صمامين؛ حيث يسمى صمام دخول غاز وسيط التبريد بصمام السحب وصمام خروج الغاز بصمام الطرد. والصمام عبارة عن قرص رقيق مصنوع من الصلب قوي الاحتمال يعمل على فتح وإغلاق فتحة مرور غاز وسيط التبريد كما هو موضح في الشكل التالي . تختلف أشكال وأنواع صمامات الضواغط تبعاً إلى تصميم الشركة المصنعة للضاغط ولكن يراعى في جميع التصميمات التوافق الزمني لفتح وغلق الصمام مع معدل تدفق وسيط التبريد وسرعة حركة المكبس.

**نظرية عمل الضاغط الترددي :**

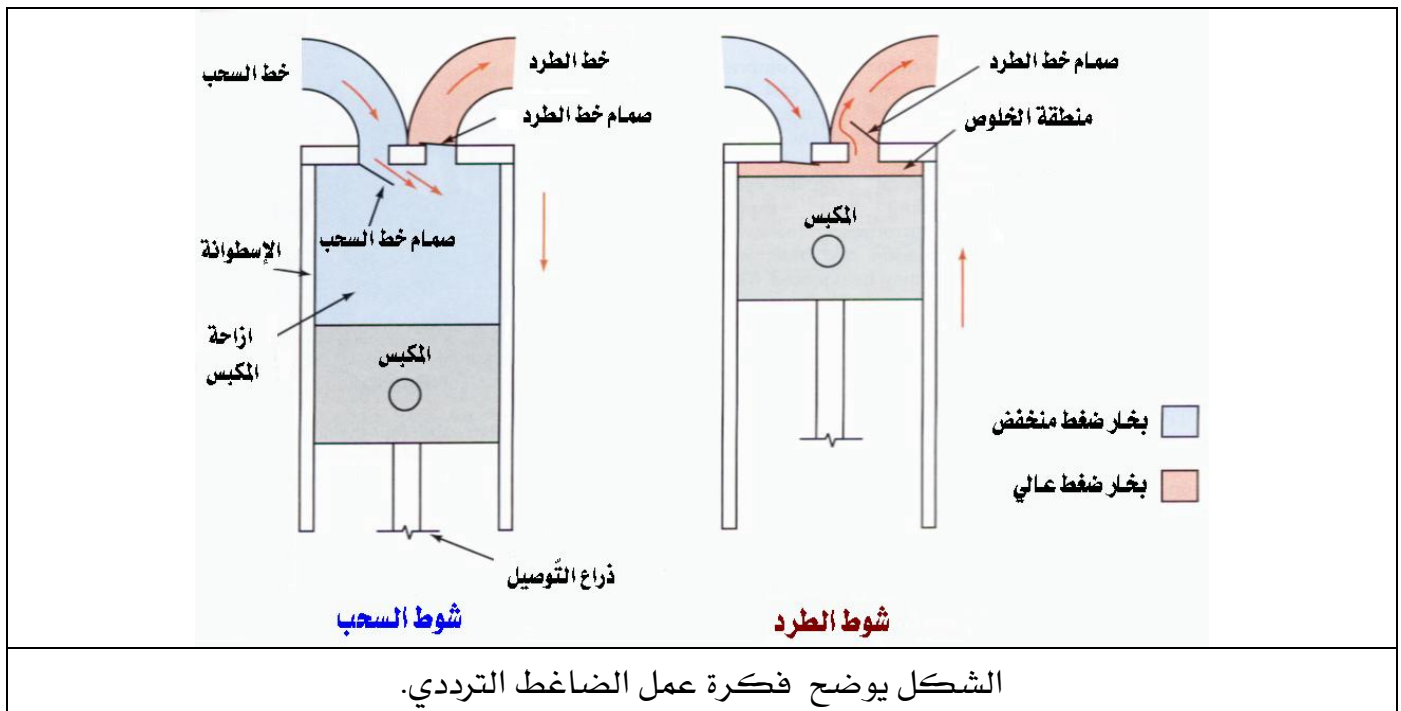
تعتمد نظرية عمل الضاغط الترددي على عمليتين أساسيتين هما عملية سحب غاز وسيط التبريد من المبخر إلى أسطوانة الضاغط وعملية ضغط غاز وسيط التبريد وضخه إلى المكثف. تتم هاتان العمليتان خلال شوطي السحب والانضغاط على النحو التالي:

- شوط السحب:

عندما يتحرك المكبس إلى الأسفل يحدث خلخلة داخل الأسطوانة مما يؤدي إلى فتح صمام السحب حيث يتم سحب غاز وسيط التبريد من المبخر إلى أسطوانة الضاغط. عند تعادل ضغط غاز وسيط التبريد بالأسطوانة مع ضغط أنبوب السحب المتصل بالمبخر يغلق صمام السحب. عند هذا الحد يكون المكبس قد وصل إلى النهاية السفلية لمشوار المكبس وامتص أكبر كمية من غاز وسيط التبريد.

- شوط الانضغاط:

يبدأ المكبس في التحرك إلى أعلى لإجراء عملية ضغط غاز وسيط التبريد حيث يكون صمام السحب مغلق ولا يسمح بعودة غاز وسيط التبريد إلى المبخر لأنه يعمل كصمام عدم رجوع. عند ارتفاع ضغط غاز وسيط التبريد داخل الأسطوانة نتيجة عملية الانضغاط يفتح صمام الطرد حيث يمر غاز وسيط التبريد من خلاله خارج أسطوانة الضاغط مندفعاً إلى المكثف. عندها يكون المكبس قد وصل إلى الحد الأعلى من مشوار المكبس ليعود بالانخفاض مرة أخرى وتبدأ معه دورة جديدة. من الجدير بالذكر أن كل لفه من عمود المرفق ينتج عنها شوطين سحب وانضغاط.



الضاغط الدوراني:

يتميز الضاغط الدوراني بكفاءة عالية في التشغيل وصغر حجمه مقارنة بالضاغط الترددي الذي له نفس السعة. يستخدم الضاغط الدوراني في الحالات التي يلزم عندها إدارة حجم كبير من غاز وسيط التبريد بدائرة التبريد، أيضا عندما تكون هناك ضرورة لدرجة انضغاط منخفضة. يعتمد الضاغط الدوراني في عملية انضغاط غاز وسيط التبريد على انزلاق أو تدحرج العضو الدوار للضاغط على السطح الداخلي للأسطوانة الموجود بها الغاز.

مكونات الضاغط الدوراني

يتكون الضاغط الدوراني من الأجزاء الرئيسية الآتية:

- عمود الإدارة

يستمد عمود الإدارة حركته الدورانية من المحرك الكهربائي المتصل به مباشرة من إحدى نهاياته أما النهاية الأخرى فهي مزودة بكامة مستديرة لامركزية ينحرف مركزها عن محور عمود الإدارة كما هو مبين بالشكل التالي يصنع عمود الإدارة من الصلب الفولاذي بتقنية عالية الجودة لتأمين الدقة المطلوبة في التصنيع.

- العضو الدوار (الروتور)

وهو عبارة عن حلقة مستديرة مصنوعة من الصلب الفولاذي قطرها الداخلي أكبر من قطر الكامة وقطرها الخارجي أصغر من قطر الأسطوانة. يستمد العضو الدوار حركته الدورانية من دوران الكامة على سطح جداره الداخلي ويرجع هذا إلى عدم تمركز الكامة مع عمود الإدارة لذلك تظل الكامة ملامسة للسطح الداخلي للعضو الدوار وبالتالي تنقل إليه الحركة.

- الأسطوانة:

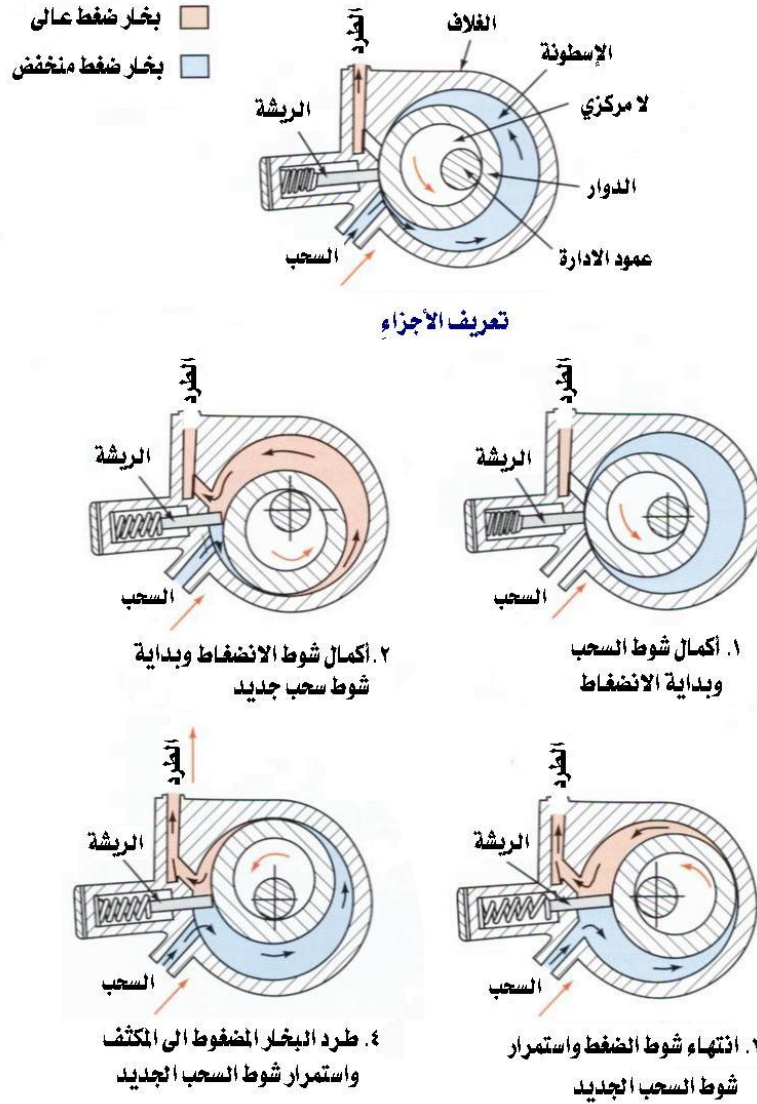
تعتبر الأسطوانة غرفة ضخ غاز وسيط التبريد فهي مزودة بفتحتين لدخول وخروج غاز وسيط التبريد يفصل بين هاتين الفتحتين تجويف توضع به الريشة المنزلقة كما هو مبين بالشكل التالي. يوضع العضو الدوار بداخل الأسطوانة بحيث يكون مركزه بعيد عن مركز الأسطوانة مما يسمح بوجود نقطة تماس بين السطح الخارجي للعضو الدوار وجدار الأسطوانة الداخلي من جهة أما من الجهة المقابلة فيبقى فراغ هلال الشكل يملؤه غاز وسيط التبريد.

- الريشة المنزقة :

تستخدم الريشة المنزقة للفصل بين فتحتي دخول وخروج غاز وسيط التبريد حيث تغلق الممر بينهما لضمان سريان غاز وسيط التبريد في اتجاه واحد. لذلك فالريشة مزودة بإحدى نهايتها بنايض يجعلها دائماً ملاسة للعضو الدوار بحيث تنزلق عليه وتتحرك باستمرار إلى الأمام والخلف أثناء دورانه. نظرية عمل الضاغط الدوراني:

يوضح الشكل التالي كيفية عمل الضاغط الدوراني ويمكن تلخيصها على النحو التالي:

- خلال دوران المحرك الكهربائي تدور معه الكامة التي بدورها تدير العضو الدوار حول السطح الداخلي للأسطوانة. عندما تمر نقطة تماس العضو الدوار والأسطوانة على فتحة الطرد فإنها تغلق؛ في نفس الوقت تكون فتحة السحب مفتوحة وتسمح بدخول غاز وسيط التبريد ليملاً الفراغ الهلالي.
- باستمرار تحرك العضو الدوار تغلق فتحتي السحب والطرد ويصبح غاز وسيط التبريد ضمن حجم مغلق حيث يرتفع ضغطه نتيجة استمرار تحرك العضو الدوار.
- تبتعد نقطة التماس عن فتحة الطرد فيسمح بخروج غاز وسيط التبريد المضغوط والمدفوع أمام العضو الدوار المتحرك ليخرج إلى المكثف.
- باستمرار تحرك العضو الدوار تفتح فتحة السحب لتدخل دفعة جديدة من غاز وسيط التبريد حيث تعمل الريشة المنزقة على غلق الممر بين فتحتي السحب والطرد ويندفع الغاز في اتجاه دوران العضو الدوار. تستخدم صمامات عدم رجوع على خطي السحب والطرد لمنع عودة وسيط التبريد من المكثف إلى المبخر خلال فترة توقف عمل الضاغط.



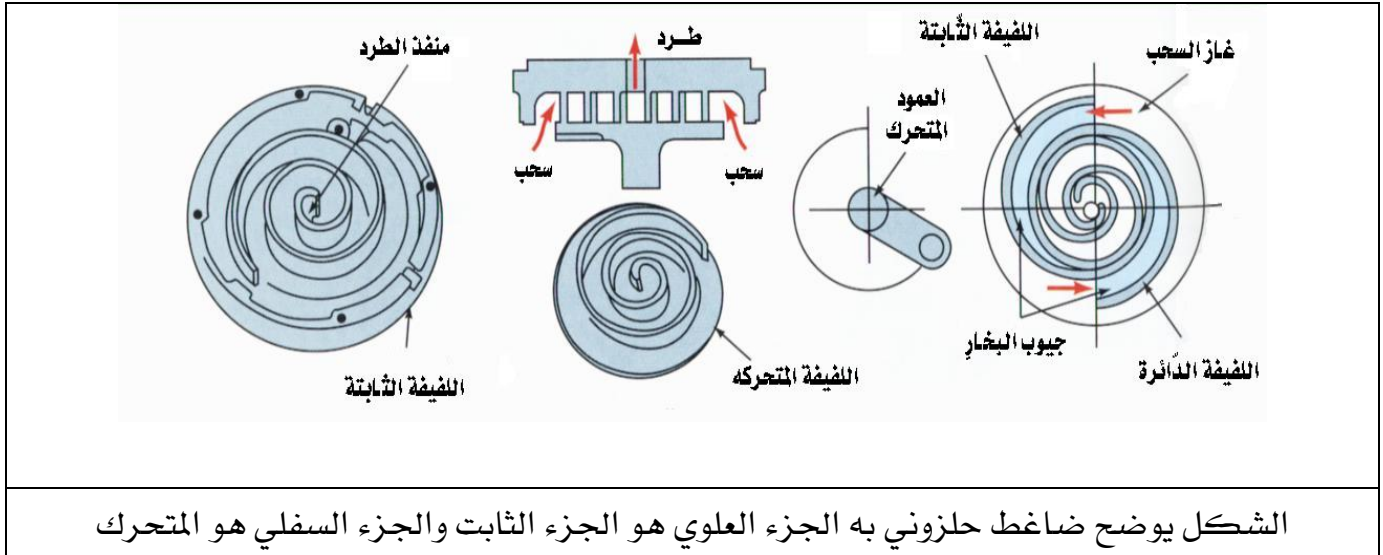
الشكل يوضح كيفية عمل الضاغط الدوراني.

الضاغط الحلزوني

الضاغط الحلزوني الموضح بالشكل التالي هو من أحدث الضواغط المطورة المستخدمة الآن في دورات التبريد التي تعمل في مجالات تكييف الهواء.

الضاغط الحلزوني له جزء ثابت على شكل حلزون، وجزء آخر متحرك مماثل في شكله للجزء الثابت كما هو مبين بالشكل التالي. عند دوران الجزء المتحرك ينضغط غاز وسيط التبريد في الحلزون بين الجزئين الثابت والمتحرك حيث يزداد الضغط كلما اتجه الغاز إلى داخل الحلزون متوجهاً إلى المركز.

وتعتمد سعة الضاغط على حجم الحلزون وارتفاع حائطه. والضاغط مزود بفتحة جانبية للسحب وتتصل بالمبخر عن طريق أنبوب السحب وفتحة أخرى للطرد موجودة عند مركز الحلزون وتتصل بالمكثف عن طريق أنبوب الطرد.

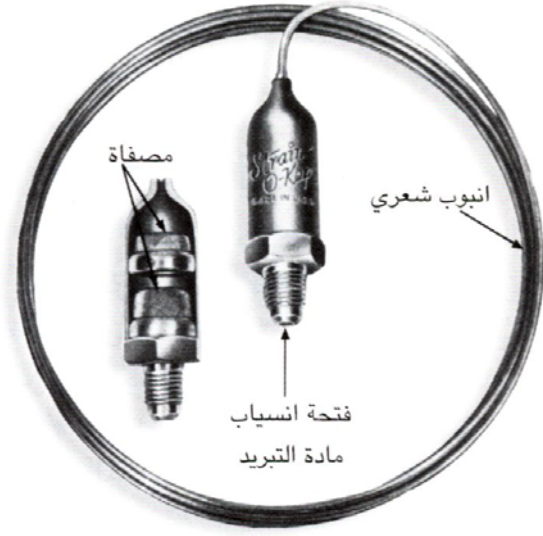
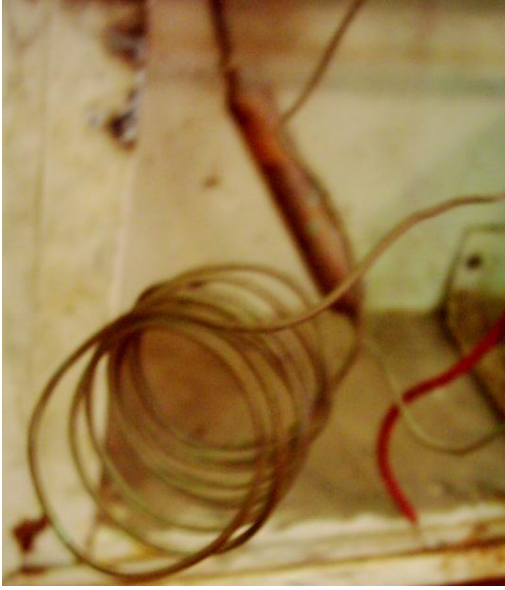


أنواع المكثفات:

المكثفات عبارة عن مبادلات حرارية، فهي مشابهة للمبخرات ولكنها تعمل على طرد الحرارة من وسيط التبريد إلى الهواء الخارجي. والمكثفات التي تستخدم في وحدات التبريد الصغيرة مثل الثلاجات والمكيفات تعتمد في تبريدها على الهواء إما عن طريق الحمل الطبيعي أو عن طريق دفع الهواء بواسطة مروحة التبريد (الحمل القسري). في بعض وحدات التبريد كبيرة السعة يتم تبريد المكثف بواسطة تيار من الماء.

الأنبوبة الشعرية

هي أبسط أنواع أجهزة التمدد وتستخدم في الوحدات ذات السعات الصغيرة والأحمال الثابتة. والأنبوبة الشعرية الموضحة بالشكل التالي عبارة عن أنبوب طويل غير ملحوم (سيملس) مصنوعة من النحاس ذو قطر داخلي صغير ودقيق يتراوح ما بين 1/2 إلى 2 ملليمتر. تزود الأنبوبة الشعرية عند مدخلها بمرشح/مجفف لمنع دخول أي شوائب بداخلها نظرا لصغر قطرها. وتتميز الأنبوبة الشعرية برخص ثمنها وسهولة تصنيعها وطول عمرها في التشغيل.



الشكل يوضح الأنبوبة الشعرية