



جمهورية العراق

وزارة التربية

المديرية العامة للتعليم المهني

العلوم الصناعية

الصناعي / تكيف الهواء والتثليج

الثاني

تأليف

أ.م.د. إحسان كاظم عباس

أ.د. محمد الهادي نعمة خليفة

أ.م.د. إبراهيم وسامي هادي

2025 م - 1447 هـ

الطبعة السابعة

استناداً إلى القانون يوزع مجاناً ويمنع بيعه وتداوله

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

ألّفت المديرية العامة للتعليم المهني لجنة متخصصة لإعداد كتاب العلوم الصناعية - المرحلة الثانية - لطلبة التعليم الصناعي - تخصص تكييف الهواء والتثليج، وهي مساهمة جزئية ضمن خطة شاملة لتحديث المناهج التعليمية لجميع الاختصاصات المهنية لتواكب النهضة العلمية والتكنولوجية التي يشهدها بل يعيشها العالم اليوم. وهو جزء مكمل للمعلومات النظرية لكتاب العلوم الصناعية المرحلة الأولى.

أعدّ الكتاب بواقع ثمانية فصول، تناول الفصل الأول منها موانع التثليج الأساسية والثانوية وتأثيرها على طبقة الأوزون والاحترار العالمي (Global Warming) كذلك التعريف بموانع التثليج الانتقالية والحديثة مسندة بمخططات وجداول تلك الموانع. أما الفصل الثاني فقد تناول مفهوم خزان التذير واستخدماته في منظومات التثليج المختلفة، ومنظومات التثليج متعددة المبخرات وذات مرحلة انضغاط واحدة، ومنظومات متعددة الانضغاط وبمبخر واحد، ومنظومات متعددة الانضغاط والمبخرات، أما الفصل الثالث فخصص لدراسة تأثير الجليد المتراكم على مبخرات منظومات التثليج في أداء المنظومة، وطرق إزالة الجليد من المنظومات. واشتمل الفصل الرابع على حفظ الأغذية باستخدام التثليج.

أما الفصل الخامس فتناول أجهزة السيطرة والتحكم على تدفق مائع التثليج الأساسي في المنظومات الانضغاطية. والفصل السادس اشتمل على منظومات التثليج غير الانضغاطية، ومنها الامتصاصية، التثليج بالهواء، الامتزاجية، نفت البخار، أنبوب الدوامة، والتثليج الكهروحراري.

أما الفصلين السابع والثامن فقد تم التركيز فيهما على الأجهزة الكهربائية الملحقة بمنظومة التثليج الانضغاطية، فجاء الفصل السابع ليناقد الظاهرة الكهرومغناطيسية والمحولات الكهربائية والتيار المتناوب. واستكملت بالفصل الثامن الذي تضمن المحركات الكهربائية والمراحل.

لقد تم إدراج أمثلة محلولة في حسابات القوانين والمعادلات الرياضية وغيرها في المواضيع ذات العلاقة. فضلاً عن إعطاء أسئلة مختلفة في نهاية كل فصل ليتمكن الطالب بمساعدة مدرسي المادة من فهم المادة العلمية بشكل أدق وأوسع، واستيعاب مهنة تخصص تكييف الهواء والتثليج بصورة علمية وفنية صحيحة ويكون قادراً على القيام بمهامه الفنية التي سوف يُكَلَّف بها مستقبلاً من نصب أجهزة تكييف الهواء والتثليج وصيانتها وتحليل العطلات التي سوف تحصل وإيجاد الحلول المنطقية الصحيحة لها.

إن الفصول الدراسية المذكورة آنفاً اعتمدت بشكل أساسي على المفردات العلمية لطلبة المرحلة الثانية، وعلى ما تلقاه الطالب في المرحلة الأولى، لذا فإنها ستكون (بعون الله) القاعدة الأساسية للمراحل الدراسية اللاحقة، وساندة لكتاب التدريب العملي للمراحل الدراسية الثلاث.

نتمنى من الله عز وجل أن نكون قد وفقنا في جهدنا بإعداد هذا الكتاب، وسنكون شاكرين لكل الأخوة المعنيين بهذه المادة إذا ما رفقوا بملاحظاتهم وآرائهم حول الكتاب مع شكرنا واعتزازنا بالجميع.

والله موفق

المؤلفون

بغداد / 2011

ص	المحتويات	ص	ص
الفصل الأول		موانع التثليج	
	مقدمة	6	
	خواص موانع التثليج	7	
	الخواص الفيزيائية لموانع التثليج	12	
	موانع التثليج وطبقة الأوزون	13	
	موانع التثليج البديلة	17	
	الرطوبة في موانع التثليج	21	
	اختيار موانع التثليج	22	
	مخططات الضغط المحتوى الحراري	23	
	أسئلة الفصل الأول	29	
الفصل الثاني		منظومات التثليج المركبة	
	مقدمة	31	
	إزالة غاز التذيرير	32	
	التبريد البيئي	34	
	منظومات متعددة الانضغاط	37	
	منظومات متعددة المراحل	38	
	منظومات متعددة المبخرات	47	
	المنظومات التعاقبية	54	
	أسئلة الفصل الثاني	63	
الفصل الثالث		إزالة الجليد في منظومات التثليج	
	مقدمة	66	
	إذابة الجليد باستخدام المسخنات	67	
	إذابة الجليد بالغاز الساخن	69	
	أسباب تراكم الجليد	72	
	أسئلة الفصل الثالث	73	
الفصل الرابع		حفظ الأغذية	
	مقدمة	75	
	الكائنات العضوية الدقيقة	75	
	الطرائق القديمة لحفظ الأغذية	77	
	الطرائق الحديثة لحفظ الأغذية	78	
	السيطرة على نمو الكائنات الدقيقة	80	
	تثليج وتجميد الأغذية	84	
	أسئلة الفصل الرابع	91	
الفصل الخامس		السيطرة على موانع التثليج	
	مقدمة	93	
	صمام التمدد الآلي	94	
	صمام التمدد الحراري	96	
	صمام التمدد الكهربائي	104	
	صمام عوامة الضغط الواطئ	105	
	صمام عوامة الضغط العالي	106	
	الصمام الرباعي	108	
	أسئلة الفصل الخامس	112	
الفصل السادس		منظومات التثليج الأخرى	
	مقدمة	114	
	التثليج بالثلج الجاف	114	
	التثليج الامتصاصي	116	
	التبريد الامتزاجي	123	
	الثلاجة الامتزاجية	124	
	التثليج بنفث البخار	128	
	دورة الهواء للتثليج	130	
	أسئلة الفصل السادس	134	
الفصل السابع		الكهرومغناطيسية والمحولات	
	مقدمة	136	
	التيار الكهربائي	136	
	التيار المتناوب أحادي الطور	137	
	التيار المتناوب ثلاثي الطور	138	
	المغناطيسية الكهربائية	141	
	دوائر المحثات	147	
	المحولات الكهربائية	151	
	التيار المتناوب والعناصر الكهربائية	158	
	أسئلة الفصل السابع	162	
الفصل الثامن		المحركات الكهربائية	
	المحركات الكهربائية ثلاثية الطور	165	
	المحركات الحثية	165	
	المحركات التزامنية	172	
	المحركات الكهربائية أحادية الطور	173	
	مرحلات بدء الحركة	179	
	حماية المحركات الكهربائية	184	
	موصلات التيار ومفاتيح التشغيل	186	
	أسئلة الفصل الثامن	188	

الفصل الأول

موائع التثليج

Refrigerants



موانع التثليج Refrigerants

Introduction

1-1 مقدمة

يطلق على مائع التثليج في منظومات التثليج بالمادة الفعالة أو الشغالة (Working Substance) ويسمى أيضاً مائع التثليج الأساسي (Primary Refrigerant)، ومائع التثليج الأساسي هو وسيط لنقل الحرارة من المبخر (الذي يكون في الحيز المراد تبريده أو تثليجه) إلى المكثف (الذي يكون خارج الحيز المراد تبريده أو تثليجه)، حيث تتم عملية نقل الحرارة عن طريق تبخر مائع التثليج في المبخر عند ضغط واطئ مما يؤدي إلى امتصاص مائع التثليج للحرارة من الحيز المراد تثليجه أو تبريده، بعد ذلك يضغط بخار مائع التثليج المحمل بالحرارة وينقل إلى المكثف، حيث يتم طرح الحرارة إلى المحيط الخارجي وبسبب طرحه للحرارة يتحول جميع بخار مائع التثليج إلى سائل في نهاية المكثف.

وبشكل عام لا يوجد مائع تثليج مثالي يستطيع تغطية جميع تطبيقات التثليج المختلفة، لهذا هنالك أنواع مختلفة من موانع التثليج لكل منها محاسنه ومساوئه ومدى ملائمته لتطبيق معين دون غيره.

بالرجوع للفصل الخامس من كتاب العلوم الصناعية للمرحلة الأولى يلاحظ إن موانع التثليج الأساسية قد قسمت إلى خمس مجموعات رئيسية هي:

- الهالوكاربونات (Halocarbons) 
- الهيدروكربونات (Hydrocarbons) 
- الموانع اللاعضوية (Inorganic Fluids) 
- الموانع الايزوتروبية (Azeotropic Fluids) 
- الموانع العضوية غير المشبعة (Unsaturated Organic Fluids) 

وقد وضحت خواص موانع التثليج بشكل عام مع الأسلوب المعتمد من قبل الجمعية الأميركية لمهندسي التدفئة والتثليج وتكييف الهواء (ASHRAE) لترقيم موانع التثليج من أجل التمييز بينها. كما تم التطرق بشكل موجز إلى تأثير موانع التثليج على طبقة الأوزون (Ozone Layer) وظاهرة الاحترار العالمي (Global Warming)، وما هي الموانع الانتقالية والبديلة في الوقت الحالي.

في هذا الفصل سيتم إعطاء تفاصيل أكثر دقة عن موانع التثليج الأساسية المستعملة في منظومات التثليج الانضغاطية (Vapor Compression Refrigeration Systems)، خواصها، استعمالاتها، فضلاً على المعالجات العلمية لتأثير موانع التثليج على طبقة الأوزون وظاهرة الاحترار العالمي التي أدت بدورها إلى ظهور موانع تثليج انتقالية وبديلة.

Refrigerant Properties

2-1 خواص موانع التثليج

يمكن إجمال خواص مائع التثليج المراد استخدامه لتطبيق محدد بالخواص الحرارية، الفيزيائية، البيئية والأمان، فضلاً على الجانب الاقتصادي وخواص أخرى لها أهمية تعتمد على نوع التطبيق. وفيما يأتي توضيح لهذه الخواص وتأثيرها:

Thermal Properties

1-2-1 الخواص الحرارية

1- ضغط السحب (P_s) Suction Pressure

يفضل أن يكون ضغط بخار مائع التثليج المسحوب من قبل الضاغط (ضغط التشبع) أعلى من الضغط الجوي وذلك لمنع تسرب الهواء الجوي والرطوبة إلى داخل المنظومة، وكذلك لتسهيل اكتشاف تسرب مائع التثليج من المنظومة. كما يفضل ارتفاع ضغط السحب لأن ارتفاعه يؤدي إلى تقليل إزاحة الضاغط وبالنسبة صغر حجم الضاغط المستخدم بالمنظومة.

2- ضغط التصريف (P_c) Discharge Pressure

يفضل أن يكون ضغط بخار مائع التثليج الخارج من الضاغط بعد عملية الانضغاط (ضغط المكثف) أقل ما يمكن وذلك لتقليل الجهد الميكانيكي على أجزاء منظومة التثليج والتي تشمل الضاغط والمكثف.

3- نسبة الانضغاط Compression Ratio

تعرف نسبة الانضغاط بأنها النسبة بين ضغط التصريف (P_c) إلى ضغط السحب (P_s) وتكتب (P_c/P_s)، وتكون قيمتها أكبر من واحد دائماً، وهذه النسبة يجب أن تكون أصغر ما يمكن للحصول على كفاءة حجمية عالية للضاغط وبالنسبة لتقليل من الطاقة المصروفة للانضغاط في الضاغط.

4- الحرارة الكامنة للتبخير (h_{fg}) Latent Heat of Vaporization

تعرف الحرارة الكامنة للتبخير بأنها الحرارة اللازمة لتحويل كيلوغرام واحد من سائل مائع التثليج عند ضغط ودرجة حرارة معينة إلى بخار عند الضغط ودرجة الحرارة نفسيهما. ويفضل أن تكون الحرارة الكامنة للتبخير لموانع التثليج (h_{fg}) أكبر ما يمكن، وذلك لتقليل كتلة مائع التثليج المارة في الدورة.

5- درجة حرارة الانجماد Freezing Temperature

يجب أن تكون لموانع التثليج درجة حرارة انجماد منخفضة، وذلك لتلافي انجماد مائع التثليج داخل منظومة التثليج، أي بعبارة أخرى يجب أن تكون درجة حرارة انجماد مائع التثليج أقل بكثير من أقل درجة حرارة يمكن أن تصلها منظومة التثليج.

6- درجة حرارة الغليان Boiling Temperature

وهي درجة الحرارة التي يتم فيها تحويل سائل مائع التثليج إلى بخار في المبخر، وللحصول على كفاءة جيدة لدورة التثليج، يفضل أن يستخدم مائع تثليج ذو درجة حرارة غليان منخفضة عند الضغط الجوي، إما إذا كانت درجة حرارة الغليان عالية فإنها تتطلب استخدام ضاغط بضغط سحب كبير (ضغط المبخر واطئ جداً قد يكون الضغط أقل من الضغط الجوي) للحصول على درجة الحرارة المنخفضة المطلوبة في المبخر وهذا يقلل من سعة التثليج للمنظومة وكذلك كفاءة التشغيل.

7- درجة الحرارة الحرجة Critical Temperature

تعرف درجة الحرارة الحرجة بأنها درجة الحرارة التي لا يمكن عندها تبديل طور مائع التثليج، أي أنه إذا وجد مائع التثليج بالحالة الغازية عند هذه الدرجة فإنه لا يمكن تحويل مائع التثليج إلى سائل مطلقاً، لذا يجب أن تكون درجة الحرارة الحرجة لمائع التثليج أعلى بكثير من درجة حرارة التكثيف.

يوضح الجدول (1-1) بعض الخواص الحرارية لبعض موانع التثليج شائعة الاستخدام. كما إن هنالك جداول في المراجع العلمية (يمكن الرجوع لها عند الحاجة)، تحتوي على جميع الخواص الحرارية وقيم معامل الأداء للمنظومة الانضغاطية النظرية والقدرة الحصانية لكل طن تثليج عند الظروف القياسية (15°C - درجة حرارة تبخر، 30°C درجة حرارة تكثف).

جدول 1-1 بعض الخواص الحرارية لبعض موانع التثليج

مائع التثليج	الصيغة الكيميائية	درجة حرارة الغليان عند الضغط الجوي $^{\circ}\text{C}$	درجة حرارة الانجماد $^{\circ}\text{C}$	الحرارة الكامنة للتبخير kJ/kg
R-12	CCl_2F_2	-29.8	-158	166
R-134a	$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$	-26.2	-103.3	217.2
R-22	CHClF_2	-40.8	-160	234.7
R-502	$\text{CHClF}_2/\text{CClF}_2\text{-CF}_3$	-45.4	-160	172.45
R-717	NH_3	-33.33	-77.7	1369.95

Physical Properties

2-2-1 الخواص الفيزيائية

1- الحجم النوعي للبخار Vapor Specific Volume

يعرف الحجم النوعي لبخار مائع التثليج بأنه حجم كيلوغرام واحد من مائع التثليج، كلما كبر الحجم النوعي لبخار مائع التثليج ازداد شغل الضاغط لدفع كتله معينة من بخار مائع التثليج، أي أن الحجم النوعي لبخار مائع التثليج يحدد الإزاحة للضاغط، لذا يتطلب أن يكون الحجم النوعي صغيراً من أجل تقليل حجم الضاغط وزيادة كفاءته في منظومة التثليج الانضغاطية.

2- الحرارة النوعية للسائل والبخار Liquid & Vapor Specific Heats

تعرف الحرارة النوعية للمادة بأنها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة كيلوغرام واحد من المادة درجة سيليزية واحدة. ويفضل أن تكون الحرارة النوعية لسائل مائع التثليج واطئة وذلك لتقليل كمية غاز التذيرير (Flash Gas) عند مدخل المبخر. لأن ضغط السائل ينخفض بعد صمام التمدد ونتيجة لذلك تنخفض درجة حرارته نتيجة تبخر جزء من السائل مكتسباً حرارته الكامنة للتبخير من الجزء المتبقي في حالة السيولة، كما يفضل أن تكون الحرارة النوعية لبخار المائع مرتفعة لأنها تساعد على تقليل تحميل البخار. إن مائع التثليج الذي يمتلك هاتين الخاصيتين يعطي حاصلاً تثليجياً مرتفعاً لوحدة الكتلة منه.

3- معامل التوصيل الحراري Thermal Conductivity

إن معامل التوصيل الحراري لمائع التثليج في طوريه السائل والبخار له أهمية في عملية تصميم أجزاء منظومة التثليج (المكثف والمبخر)، لكونه يدخل في حساب معامل انتقال الحرارة للمكثف والمبخر، حيث يفضل أن يكون معامل التوصيل الحراري لمائع التثليج عالياً في حالتي السيولة والبخار للحصول على معامل انتقال حرارة مرتفع.

4- اللزوجة Viscosity

إن خاصية اللزوجة لمائع التثليج في حالتي السائل والبخار، تكتسب أهميتها من خلال تأثيرها في معامل انتقال الحرارة في المبخر والمكثف، وكذلك تكون عاملاً أساسياً عند تصميم الضواغط في منظومات التثليج. وللحصول على معامل انتقال حرارة عالي وقدرة ضخ واطئة، يتطلب أن تكون لزوجة المائع منخفضة، أما إذا كانت اللزوجة عالية فإن المنظومة يجب أن تكون بأنابيب ذات حجوم أكبر لتجنب الخسائر في الضغط.

5- متانة العزل الكهربائي Dielectric Strength

إن متانة العزل الكهربائي تكون ذات أهمية عندما يستخدم مائع التثليج في الوحدات التي تحتوي على ضواغط مغلقة (Hermetic Compressors) وشبه مغلقة (Semi-Hermetic)، حيث يكون المحرك الكهربائي متلامساً مع مائع التثليج، وعليه فإن مائع التثليج يجب أن يكون ذا متانة عزل كهربائي عالية جداً. وتُقاس متانة العزل الكهربائي لموانع التثليج نسبة إلى متانة العزل الكهربائي لغاز النيتروجين.

Environmental & Safety Properties

3-2-1 الخواص البيئية والأمان

بالإضافة للخواص الحرارية والفيزيائية المذكورة آنفاً فإن الخواص البيئية والأمان عاملان مهمان أيضاً. وفي الحقيقة فإن موانع التثليج الصديقة للبيئة تُعد في يومنا هذا من العوامل الأساسية لتقرير مدى إمكانية استخدام مائع التثليج في تطبيق معين من عدمه. وفيما يلي أهم هذه الخواص:

1- مكافئ استنفاد الأوزون (ODP) Ozone Depletion Potential

طبقاً لبروتوكول مونتريال (Montreal Protocol) فإن مكافئ استنفاد الأوزون (ODP) لمائع التثليج يجب أن يكون صفراً (أي أن المائع لا يؤثر على طبقة الأوزون). لهذا فإن موانع التثليج التي تحتوي في تركيبها الكيميائي على ذرات الكلور (Chlorine) والبروم (Bromine) والتي تؤثر على طبقة الأوزون لا يجوز استخدامها كموانع تثليج.

2- مكافئ الاحترار العالمي (GWP) Global Warming Potential

تحتوي بعض موانع التثليج على غازات يمكن أن تفاقم ظاهرة الاحترار العالمي (GW)، وتُعد معالجة ظاهرة تناقص طبقة الأوزون ليست كافية وإنما يجب الانتباه أيضاً إلى مكافئ الاحترار العالمي، فعلى سبيل المثال فإن مائع التثليج R-134a، ذو مكافئ استنفاد للأوزون يساوي صفراً إلا أنه من الموانع ذات مكافئ احترار عالمي عالي، لذا وجب إبداله ببديل آخر مستقبلاً.

3- السُمية Toxicity

يجب أن يكون مائع التثليج غير سام ولا مضر بالصحة العامة للأشخاص الذين قد يكونون بتماس مباشر معه بسبب احتمال تسربه من المنظومة أو للعاملين في مجال التثليج خلال فترات الصيانة المختلفة. إن التسمم بموانع التثليج يعتمد بشكل أساسي على نسبة تركيزها في الهواء، إن السُمية هي عامل نسبي يعتمد على تركيز المادة السامة ومقدار زمن التعرض لها. وبهذا فإن بعض الموانع تكون

سامة رغم قلة تركيزها، والبعض الآخر متوسطة السمية حيث تكون خطورتها معتمدة على زيادة تركيزها وطول فترة التعرض لها.

إن بعض موانع التثليج مثل الكلوروفلوروكاربونية (CFCs) والهيدروكلوروفلوروكاربونية (HCFCs) غير سامة عند اختلاطها مع الهواء بالظروف الاعتيادية، لكنها تصبح عالية السمية عند تعرضها لشعلة أو مُسخن كهربائي وذلك لتحللها إلى عناصر عالية السمية. وبشكل عام فإن درجة الضرر تعتمد على:

- مقدار مائع التثليج مقارنة بالحيز الكلي.
- نوع شاغلي الحيز (نوع التطبيق المستخدمة من أجله منظومة التثليج).
- مدى وجود الشعلة وظروف وطرق الصيانة المستخدمة.

4- الاشتعال (الانتقاد) والانفجار Flammability & Explosion

يفضل أن تكون موانع التثليج المستعملة في المنظومات المختلفة غير قابلة للاشتعال والانفجار وبخلافه يجب أن تكون هنالك احتياطات أمان خاصة لتجنب الحوادث. إن غالبية الموانع المستعملة حالياً في منظومات التثليج غير قابلة للانتقاد أو الانفجار، باستثناء الأمونيا والهيدروكربونات. إن خليط الأمونيا مع الهواء بنسبة من (16-25) % له قابلية اشتعال، وكذلك الهيدروكربونات فإنها ذات قابلية كبيرة للاشتعال والانفجار. والاثنتان يستعملان في بعض التطبيقات كون خواصهما الحرارية جيدة وذات تأثير قليل على طبقة الأوزون وظاهرة الاحترار العالمي.

Other Important Properties

4-2-1 خواص أخرى مهمة

1- التآكل Corrosion

يمكن أن يسبب مائع التثليج تآكلاً لأجزاء منظومة التثليج، لذا يجب اختيار مائع التثليج بدقة وذلك بتوافقه مع أجزاء المنظومة بحيث لا يسبب تآكل أجزاء المنظومة، كما إنه يجب أن يكون خاملاً كيميائياً ضمن مدى درجات الحرارة التي تعمل عليها المنظومة. وبصورة عامة لا تسبب الهالوكاربونات التآكل لجميع المعادن، إلا إنها تصبح حامضية بوجود الماء والهواء. إما الأمونيا فإنها تؤثر في المعادن غير الحديدية عند وجود الماء مثل الأنابيب المصنوعة من النحاس، لذلك يستعمل الفولاذ في منظومات التثليج التي يكون الأمونيا مائعاً للتثليج فيها.

2- الاستقرار الكيميائي Chemical Stability

إن موانع التثليج يجب أن تكون مستقرة كيميائياً مهما طالت فترة استخدامها في المنظومة، وغير قابلة للتحلل عند درجات الحرارة العاملة لمنظومة التثليج. بعض الموانع ونتيجة تحفيز بعض المعادن ينتج عن تحللها غازات غير قابلة للتكثف مسببة ارتفاع ضغط المكثف، لهذا يجب أن تكون موانع التثليج خاملة كيميائياً مع جميع المواد المستعملة في تصنيع أجزاء منظومات التثليج.

3- الرائحة Odor

إن رائحة مائع التثليج قد تكون متميزة تساعد أحياناً على اكتشاف التسرب، وأحياناً تكون سبباً للإضرار بالمواد المخزونة وخصوصاً المواد الغذائية ذات الحساسية العالية (مثل اللحم الذي يفقد طعمه عند تلامسه مع الأمونيا). كما إن هنالك موانع تثليج عديمة الرائحة أو ذات رائحة قليلة جداً.

4- سهولة الكشف عن التسرب Ease of Leak Detection

يجب أن تكون عملية الكشف عن تسرب مائع التثليج من الدورة سهلة وممكنة وبالطرائق التقليدية، ويكون تسرب مائع التثليج إلى خارج الدورة إذا كان ضغط التبخير أكبر من الضغط الجوي، أما إذا كان ضغط التبخير أقل من الضغط الجوي فإن التسرب يكون من الخارج إلى داخل المنظومة (الهواء الخارجي سوف يدخل خلال أنابيب منظومة التثليج) وهنا يصعب كشف التسرب.

5- الامتزاج مع زيت التزييت Miscibility with Lubricating Oil

إن مائع التثليج يجب أن يكون في حالة استقرار كيميائي وطبيعي مع وجود الزيت كي لا يكون هنالك تأثير في الزيت والمائع معاً عند تلامسهما. ولهذا نرى أن موانع التثليج يمكن أن تقسم إلى ثلاث مجاميع اعتماداً على قابلية امتزاجها مع زيت التزييت وهي:

مجموعة تمتزج بالزيت كلياً مثل (R-11 ، R-12 ، R-113) حيث إن الزيت الذي يصل المبخر يرجع للضاغط ممتزجاً بمائع التثليج مرة أخرى، وأي جزء منفصل عن المائع يتم إرجاعه إما بواسطة التناقل أو بواسطة السحب للغاز بسرعة عالية (خصوصية تصميم خط السحب بالمنظومة).

مجموعة تمتزج بالزيت جزئياً حيث تقسم هذه المجموعة إلى موانع ذات امتزاجيه منخفضة مثل (R-13 ، R-502)، موانع ذات امتزاجيه متوسطة مثل (R-22 ، R-114) وأخرى ذات امتزاجيه عالية مثل (R-13B₁ ، R-501) ولهذه المجموعة يتطلب بعض الاحتياطات التصميمية لضمان رجوع الزيت إلى الضاغط.

مجموعة لا تمتزج بالزيت، مثل الأمونيا وثاني أكسيد الكربون، والتي تتطلب تركيب جهاز فاصل الزيت بعد الضاغط في خط التصريف لمنع الزيت من الوصول للمكثف وإعادة إلى ضاغط المنظومة.

6- الخواص الاقتصادية Economic Properties

يفضل أن تكون موانع التثليج المستعملة قليلة الكلفة وسهلة التوافر. وهنا يجب أن يؤخذ بنظر الاعتبار الكلفة الابتدائية وكلفة الصيانة والإصلاح اعتماداً على سعة منظومة التثليج. كمقارنة لموانع التثليج يُعد الأمونيا أرخص الموانع يليه R-12 ثم R-22.

3-1 موانع التثليج وطبقة الأوزون Refrigerants & Ozone Layer

طبقة الأوزون عبارة عن طبقة رقيقة تحتوي على غاز الأوزون (O_3) تحيط بالغلاف الجوي للكرة الأرضية على ارتفاع يتراوح بين 8-20 كم. تعمل طبقة الأوزون كمرشح (Filter) لأشعة الشمس فوق البنفسجية UV (Ultraviolet) لحماية الحياة على الكرة الأرضية.

إن الأشعة فوق البنفسجية عبارة عن إشعاعات غير مرئية ذات طول موجي بين 0.03 إلى 0.40 مايكرومتر. إن تسرب كمية كبيرة من الأشعة فوق البنفسجية إلى الأرض يسبب: سرطان الجلد، إعتام عدسة عين الإنسان، ضعف نظام المناعة عند الكائنات الحية، التقليل من إنتاجية المحاصيل الزراعية، والتأثير في الكائنات البحرية.

لقد تبين للعلماء إن أحد أسباب اضمحلال طبقة الأوزون، هو وجود المركبات الكلوروفلوروكاربونية Chlorofluorocarbons (CFCs) المستخدمة كموانع تثليج. حيث إن الأشعة فوق البنفسجية تحلل هذه المركبات إلى ذرات الفلور والكلور والكربون. يقوم عنصر الكلور باضمحلال طبقة الأوزون مسبباً زيادة تسرب الأشعة فوق البنفسجية إلى الأرض والشكل (1-1) يبين الآثار التدميرية في الأرض بفعل المركبات الكلوروفلوروكاربونية. ويبين الشكل (2-1) عمل المركبات الكلوروفلوروكاربونية في تحطيم طبقة الأوزون من خلال تفاعل الكلور (Cl) مع الأوزون (O_3). ويمكن تلخيص العملية كما يأتي:

عندما تصطدم مركبات الكلوروفلوروكربونات بأشعة الشمس فوق البنفسجية فإنها تتحلل لتعطي ذرة كلور حرة.



تهاجم ذرة كلور حرة غير مستقرة ذرة أوزون غير مستقرة وتسلب منها ذرة أوكسجين وتحول الباقي إلى جزيئة أوكسجين مستقرة وجزيئة أوكسيد الكلور غير المستقرة وكما يأتي:



وهنا يلاحظ إن الأيون الفعال (ClO) لا يبقى بهذه الصورة مدة زمنية طويلة، بل سيتفاعل مع ذرة أوكسجين حرة، كما يأتي:



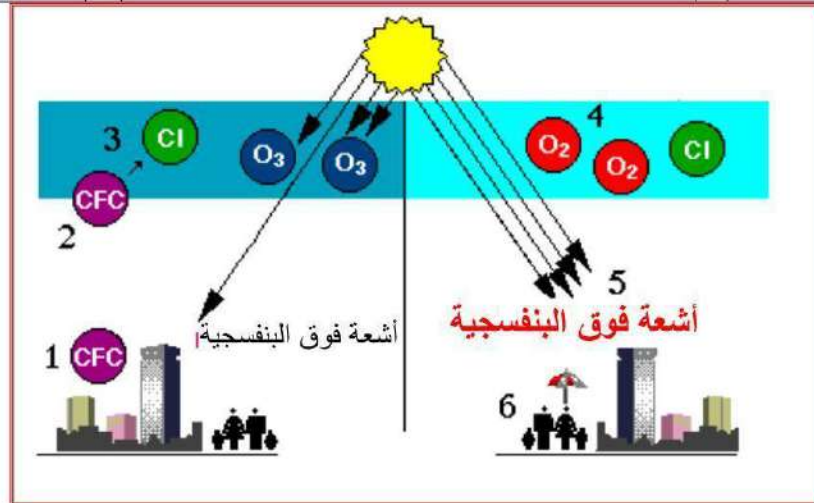
ومن العلاقة الأخيرة، يلاحظ عودة ذرة الكلور الفعال مرة أخرى، ولهذا نجد إن (ClO) يسلك سلوك عامل مساعد لسلسلة من التفاعلات الكيماوية حيث يقدر العلماء من خلال التجارب المختبرية لتأثير الكلور في جزيئات الأوزون، إن ذرة الكلور الواحدة لها قابلية تدمير بحدود 100000 جزيئة من الأوزون. ومع استمرار هذه العملية يتم اضمحلال طبقة الأوزون. حيث يلاحظ مقدار تآكل طبقة الأوزون بسبب جزئ واحد من الكلور عليك أن تقدر حجم المشكلة ومقدار التأثير الكبير لموانع التثليج على هذه الطبقة.

يسمى تأثير موانع التثليج الكلوروفلوروكاربونية CFCs على طبقة الأوزون بمكافئ استنفاد الأوزون (Ozone Depletion Potential (ODP)). ويعرف مكافئ استنفاد الأوزون على إنه مقدار تناقص الأوزون بسبب باوند واحد (1 Ib) من أي هالوكاربون نسبة إلى التناقص الذي يحدثه باوند واحد من مائع التثليج R-11. لهذا فإن (ODP = 1) لمائع التثليج R-11 و (ODP = 0.05) لمائع التثليج R-22.

والجدول (2-1) يوضح قيم مكافئ استنفاد الأوزون لبعض موانع التثليج. إن إمكانية موانع التثليج CFCs التدميرية لطبقة الأوزون تتراوح بين 1 إلى 10.6.

جدول 1-2 مكافئ استنفاد الأوزون لبعض موانع التثليج

مائع التثليج	الصيغة الكيميائية	مكافئ استنفاد الأوزون
CFC-11	CCl_3F	1.00
CFC-12	CCl_2F_2	1.00
CFC-113	CCl_2FCClF_2	0.90
CFC-114	$CClF_2CF_3$	0.85
CFC-115	CCF_3	0.44
Halon-1301	CF_3Br	16.00
CFC/HFC-500	CFC-12(73.8%)/HFC-152a (26.2%)	0.738
CFC-HFCFC-502	HCFC-22(48.8%)/CFC-115(51.2%)	0.25
HCFC-22	$CHClF_2$	0.05
HCFC-123	$CHCl_2CF_3$	0.02-0.06
HCFC-124	$CHClF_2CF_3$	0.02-0.04
HCFC-142b	CH_3CClF_2	0.065
HFC-125	CHF_2CF_3	0.00
HFC-134a	CH_2F_2	0.00
HFC-152a	CH_3CHF_2	0.00



- 1- تسرب موانع التثليج CFCs.
- 2- ارتفاع المركبات إلى طبقة الأوزون.
- 3- تحرر ذرة كلور بسبب الأشعة فوق البنفسجية.
- 4- يتحول الأوزون إلى أوكسجين بفعل الكلور.
- 5- اضمحلال طبقة الأوزون.
- 6- مرور الأشعة فوق البنفسجية بصورة أكبر وتأثير سلبي في البيئة.

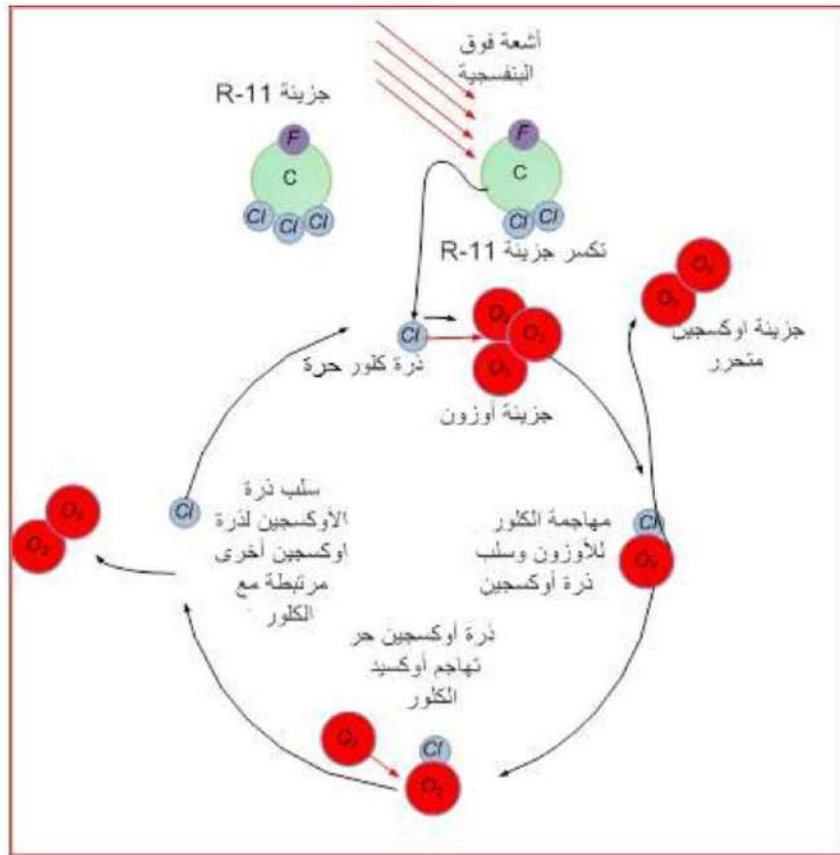
شكل 1-1 تأثير اضمحلال طبقة الأوزون في الأرض بفعل المركبات الكلوروفلوروكاربونية

1-3-1 اتفاقية فيينا وبروتوكول مونتريال Vienna Convention & Montreal Protocol

وقع العديد من دول العالم على اتفاقية فيينا لحماية طبقة الأوزون في عام 1985 ووقع على بروتوكول مونتريال في عام 1987، إدراكاً من العالم بأهمية المحافظة على طبقة الأوزون.

ينص بروتوكول مونتريال لحماية طبقة الأوزون على التخلص تدريجياً من إنتاج واستخدام موانع التثليج الكلوروفلوروكاربونية (CFCs) وكما يأتي:

1. التخلص من إنتاج موانع التثليج R-11 و R-12 في الفترة من 1986 – 2000.
2. التخلص من موانع التثليج HCFCs في الفترة ما بين 2015 - 2020 وخاصة R-22.
3. الاتفاقية استتنت الدول النامية في الفترة الابتدائية حتى عام 2005.
4. تم إنتاج بدائل لموانع التثليج صديقة للأوزون مثل R-134a.
5. إعادة استعمال موانع التثليج مرة أخرى بعد تنقيتها وتنظيفها.



شكل 1-2 يوضح طريقة تفاعل الكلور مع الأوزون

تُعد اتفاقية فيينا اتفاقية متبادلة بين الدول المتقدمة والدول النامية، إذ تقوم الدول النامية بموجبها بالتخلص التدريجي من المواد المستنفدة لطبقة الأوزون، مقابل قيام الدول المتقدمة بتقديم المساعدات المالية والفنية للدول النامية لتمكينها من الإيفاء بالتزاماتها. ومن أهم أهداف هذه الاتفاقية ما يأتي:

- أ- المحافظة على طبقة الأوزون.
- ب- تسهيل نقل وتوطين التكنولوجيا السليمة في الدول النامية.
- ت- تعزيز الوعي بقضايا الأوزون لدى كافة شرائح المجتمع.
- ث- بناء القدرات الوطنية.

بموجب بروتوكول مونتريال فقد توقفت الدول المتقدمة عن إنتاج واستعمال المواد المستنفدة لطبقة الأوزون منذ عام 1996، وقد حدد البروتوكول المواعيد التالية للدول النامية لخفض استهلاكها والتوقف عن استعمال المواد المستنفدة لطبقة الأوزون.

- أ- تخفيض مستويات الاستهلاك 1999/1/1.
- ب- خفض 50% من الاستهلاك في عام 2005.
- ت- خفض 85% من مستوى الاستهلاك عام 2007.
- ث- التوقف النهائي عن الاستهلاك عام 2010.

وتجدر الإشارة إلى أن هنالك أكثر من تعديل وتغيير على الاتفاقية منها تغيير فيينا عام 1995، تعديل وتغيير مونتريال عام 1997، تعديل وتغيير بكين عام 1999. وكان لهذه التعديلات أثر كبير في تحسين الآلية المالية والفنية لخطوات التخلص من موانع التثليج الضارة، فضلاً على إدخال مواد جديدة خاضعة للرقابة واعتماد التشريعات اللازمة لضبط خفض استعمال المواد المستنفدة لطبقة الأوزون.

انضم العراق إلى هذه الاتفاقية والبروتوكول بتاريخ 25-6-2008، ليصبح البلد رقم 193 بين دول العالم. ينتمي العراق إلى الشبكة الإقليمية لدول غرب آسيا (REWA) مع الأردن وسوريا ولبنان ودول مجلس التعاون الخليجي.

Alternative Refrigerants

4-1 موانع التثليج البديلة

لقد طورت واستخدمت الموانع الكلوروفلوروكاربونية CFCs كموانع تثليج منذ عام 1930، وكانت موانع تمتاز بالأمان وعدم الاشتعال وغير سامة. وفي ثمانينات القرن الماضي ظهر التأثير التدميري لهذه الموانع على طبقة الأوزون، وكما أشير سابقاً في هذا الفصل فقد وضعت ضوابط عالمية لإيقاف استخدامها.

وقد استخدمت الموانع الهيدروفلوروكاربونية HFCs كمادة بديلة انتقالية لـ CFCs، لكونها أقل تأثيراً على طبقة الأوزون. كما بينت الدراسات إن المواد الهيدروفلوروكاربونية HFCs ذات تأثير قليل جداً على طبقة الأوزون ويمكن استخدامها كموانع تثليج بديلة لـ CFCs، لأنها (HFCs) تمتاز بالأمان، وإنها غير قابلة للاشتعال ولا تسبب التآكل ولا تحدث ضباباً دخانياً. كمحصلة للجهود العلمية وللحفاظ على البيئة فقد أصبحت HFCs و HCFCs البدائل الانتقالية للموانع الـ CFCs. لكن تأثير HFCs في ظاهرة الاحترار العالمي، كانت السبب الأساسي لاستمرار البحث عن بدائل أخرى، تكون صديقة للبيئة.

لهذه الأسباب عادت الفكرة إلى إعادة استخدام موانع تثليج ذات سمية أو قابلية اشتعال مثل الأمونيا والهيدروكربونات بدلاً عن HFCs. وخلاصة القول إن الموانع التي تعتبر حالياً البدائل الأساسية للموانع CFCs هي الأمونيا، ثاني أكسيد الكربون، والهيدروكربونات وخالنطها.

Ammonia NH₃

1-4-1 الأمونيا

الأمونيا NH₃ (R-717) التي تمتاز بخصائص تثليجية جيدة وعديمة التأثير على طبقة الأوزون وليس لها تأثير في ظاهرة الاحترار العالمي، تمتاز بخواص حرارية جيدة جداً، ومن مميزات أن الطاقة المصروفة لإنتاج طن تثليج واحد هي أقل من مثيلاتها من موانع التثليج، فضلاً على تميزها برائحة حادة يمكن تحسسها مهما تكن نسبتها في الهواء، كما أنها أخف من الهواء. إلا أنها سامة وقابلة للاشتعال في ظروف محددة ولا تستعمل مع الأنابيب النحاسية بسبب تآكل الأنابيب نتيجة تماسها مع الأمونيا.

Carbon Dioxide CO₂

2-4-1 ثاني أكسيد الكربون

ثاني أكسيد الكربون R-744 من موانع التثليج التي كانت تستعمل بشكل واسع قبل أن يتم استبدالها بالموانع CFCs وتوقف العمل بها بحدود عام 1950، وعلى الرغم من أن غاز ثاني أكسيد الكربون هو المسبب لظاهرة الاحترار العالمي، إلا أن تأثيره في ظاهرة الاحترار العالمي أقل بآلاف المرات من تلك التي تسببها موانع التثليج من النوع HFCs. هذا فضلاً على رخص ثمنه وامتيازه الحرارية العالية جداً، دعت إلى العودة لاستعماله كمائع تثليج بديل. ومن أهم خصائص غاز ثاني أكسيد الكربون ما يأتي:

أ- تعمل المنظومة العاملة بغاز CO₂ تحت ضغط عالٍ وقد تكون أعلى من تلك العاملة بالمائع

R-410A.

ب- أقل تأثيراً في سلامة الإنسان ولكن يتطلب أن يكون مستوى تركيزه قليل في المناطق المشغولة.

- ت- أثقل من الهواء وكذلك من الهيدوفلوروكاربونات.
- ث- يمكن استعماله مع الأنابيب النحاسية.
- ج- درجة حرارته الحرجة منخفضة.
- ح- لا يمكن الحصول عليه بالحالة السائلة تحت ضغط أقل من 520 kPa، بل على شكل ثلج جاف Dry Ice.
- خ- يكون مناسباً كمائع تثليج للمنظومات العاملة بدرجات حرارة منخفضة.
- د- يمكن استعماله كبديل لـ HFCs في المنظومات التعاقبية.

التطبيقات التي يمكن أن يستعمل فيها ثاني أكسيد الكربون كمائع تثليج هي:

1. مخازن التثليج.
2. أنظمة التثليج في المحلات التجارية.
3. المضخات الحرارية.

Hydrocarbons HCs

3-4-1 الهيدروكربونات

تعد الهيدروكربونات من موانع التثليج الممتازة، وتوجد في محيطنا بصورة طبيعية، أي أنها غير مصنعة ومنها الإيثان C_2H_6 (R-170)، والبروبان C_3H_8 (R-290)، والبيوتان (R-600) C_4H_{10} والأيسوببيوتان C_4H_{10} (R-600a) وأخيراً البروبلين C_3H_6 (R-1270)، ويمكن للهيدروكربونات أن تكون مناسبة لكثير من التطبيقات، بعد أن يتم التأكد من عامل الأمان عند استعمالها. تمتاز الهيدروكربونات برخص الثمن وخواصها الحرارية الممتازة مقارنة بموانع التثليج من النوع HFCs، إضافة إلى أن الضواغط التي تتعامل مع الهيدروكربونات تحتاج إلى زيوت معدنية، وهي ثابتة كيميائياً. وقد انتشر استخدامها خارج معامل البتروكيمياويات، إلا أن لها قابلية اشتعال عندما يكون تركيزها في الهواء بين 2 و 10 %، وهذه الخاصية تتطلب الانتباه. وعند إمكانية تحقيق عنصر الأمان، يمكن أن تكون الهيدروكربونات بدائل للموانع HFCs في أغلب منظومات التثليج الصغيرة والمتوسطة.

التطبيقات التي يمكن استخدام HCs كموانع تثليج هي:

- أ- أجهزة التثليج المنزلية.
- ب- المنظومات التعاقبية مع غاز ثاني أكسيد الكربون.

4-4-1 الخلائط الطبيعية

Natural mixtures

يمكن إنتاج موانع تثليج جديدة عن طريق خلط عددٍ من موانع التثليج الطبيعية بنسب وزنية مختلفة، ومن هذه الخلائط هو خليط الأمونيا مع الهيدروكربونات أو ثاني أوكسيد الكربون مع الهيدروكربونات، ولا يجوز خلط الأمونيا مع ثاني أوكسيد الكربون، لأن الناتج سيكون مادة سامة جداً. وهناك من الخلائط الطبيعية المستخدم حالياً هو R-723 (خليط مكون من الأمونيا بنسبة 60% والدايمثيل بنسبة 40%)، والمتوافر تجارياً في الوقت الحاضر في أوروبا كبديل للمائع R-22. ورغم أنه لا يختلف عن الأمونيا من ناحية السلامة، إلا أن R-723 يمتاز عن الأمونيا بما يأتي:

أ- يكون له معامل أداء أعلى من الأمونيا.

ب- تكون درجة حرارة تصريف الضاغط أقل مما لو كان الأمونيا مائع تثليج.

ت- له قابلية امتزاج بالزيت أفضل من الأمونيا.

لقد تم إنتاج بدائل لموانع التثليج بخواص لا تؤثر على طبقة الأوزون، لاستخدامها في مختلف مجالات التثليج وتكييف الهواء بدلاً من موانع التثليج القديمة، وكما هو موضح بالجدول (3-1) والشكل (3-1) مع استخداماتها.

جدول 3-1 موانع التثليج البديلة

موانع التثليج المراد إبدالها				نوع البديل
HCFC-22	CFC-502	CFC-12	CFC-11	
غير موجود	402A	401A	123	البديل HCFC منظومات جديدة أو إعادة تأهيل المنظومات القديمة
	402B	401B		
	403A	409A		
	403B	409B		
	408A			
	411B			
407C	404A	134a	134a جديد فقط	البديل HFC منظومات جديدة أو إعادة تأهيل المنظومات القديمة
417A	407A	413A		
جديد فقط 410A	407B			
جديد فقط 134a	507			
HC	HC	HC	أمونيا	بدائل أخرى
أمونيا	أمونيا	أمونيا		منظومات جديدة فقط

جدول 1-4 الرطوبة المسموح بها لبعض موانع التثليج

مائع التثليج	النسبة المسموح بها جزء لكل مليون جزء	أقصى نسبة مسموح بها جزء لكل مليون جزء
R-134a	أقل من 5	15
R-22	أقل من 30	100
R-502	أقل من 15	50

جدول 1-5 نسبة الرطوبة عند درجات حرارة مختلفة

نسبة الرطوبة لكل مائع (ppm)						درجة الحرارة
R-13B1	R-502	R-500	R-22	R-12		
2	40	48	120	1.7		-40
5	69	81	195	3.8		-20
10	115	129	308	8.3		0
21	180	200	472	17		20
40	278	293	690	32		40

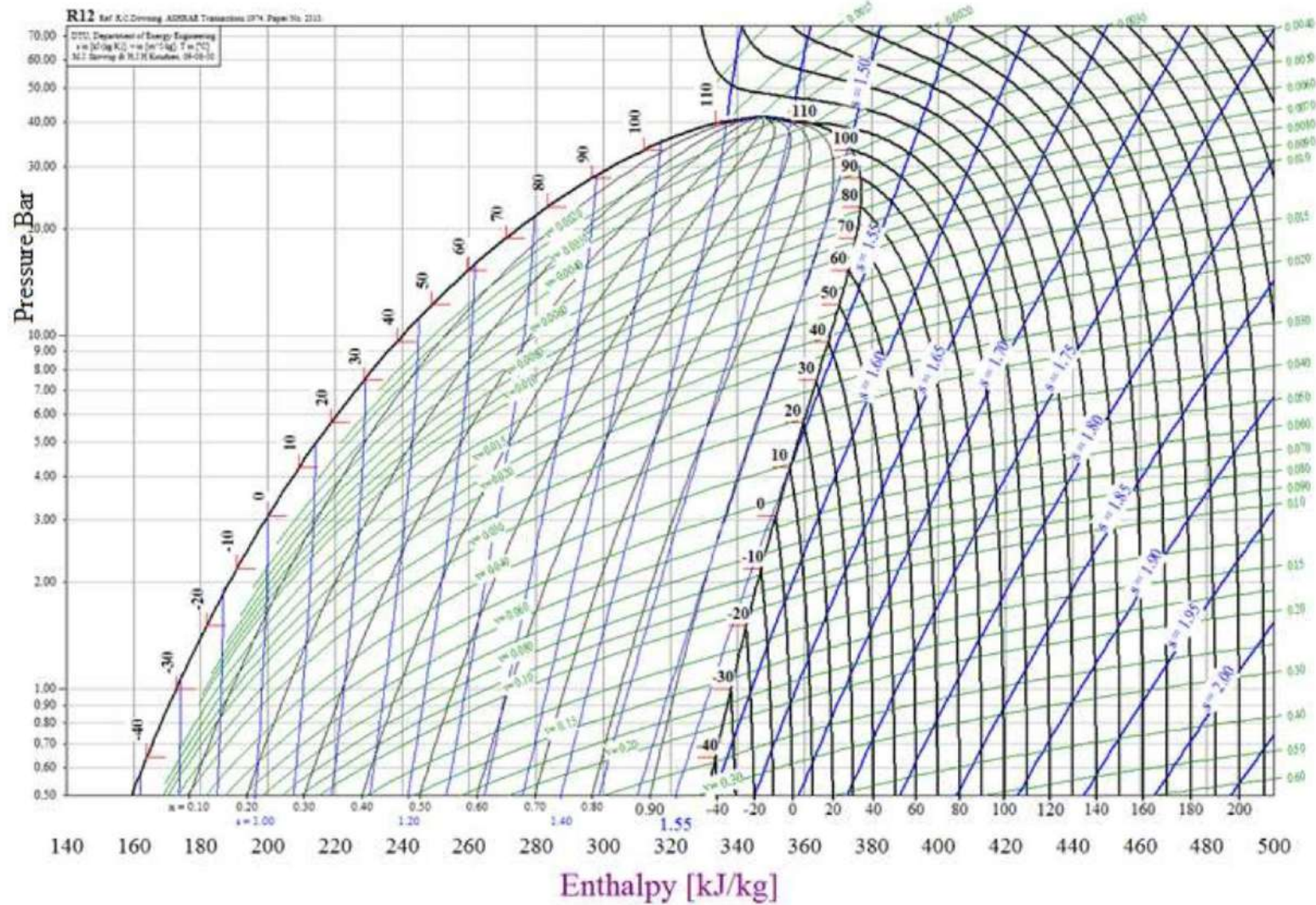
Refrigerant Selection

6-1 اختيار موانع التثليج

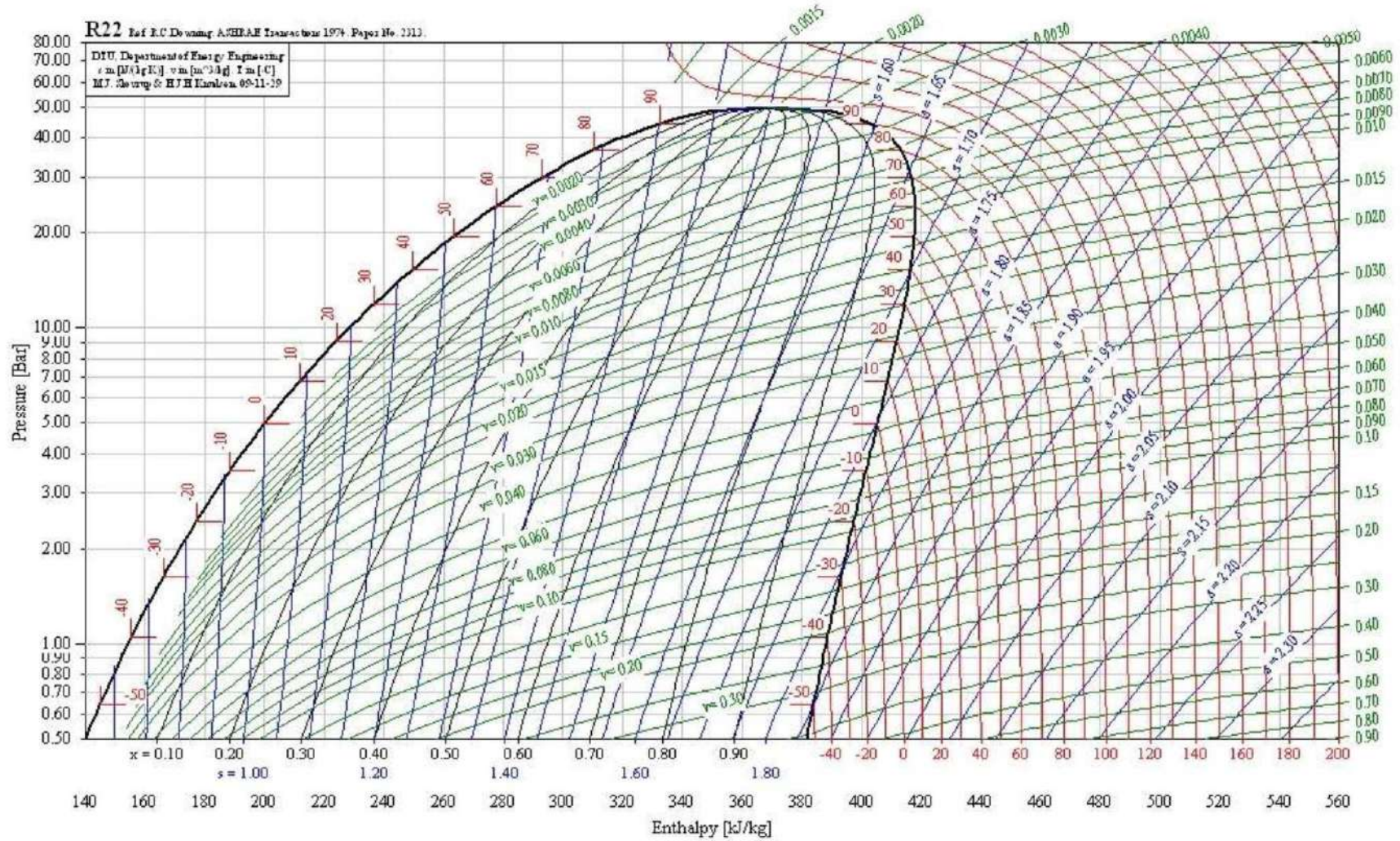
لغرض اختيار مائع التثليج يجب أن تؤخذ كافة الخواص التي تمت الإشارة إليها، مع دراسة نوع التطبيق، لأن الخواص ونوع التطبيق هما العاملان الأساسيان لاختيار مائع التثليج، كما تجدر الإشارة إنه لا يوجد مائع تثليج يمكن استخدامه لجميع التطبيقات، لأن التطبيقات المختلفة تتطلب خواص مختلفة.

يجب الاهتمام بالخواص الأساسية التالية عند اختيار مائع التثليج ونوع الضاغط:

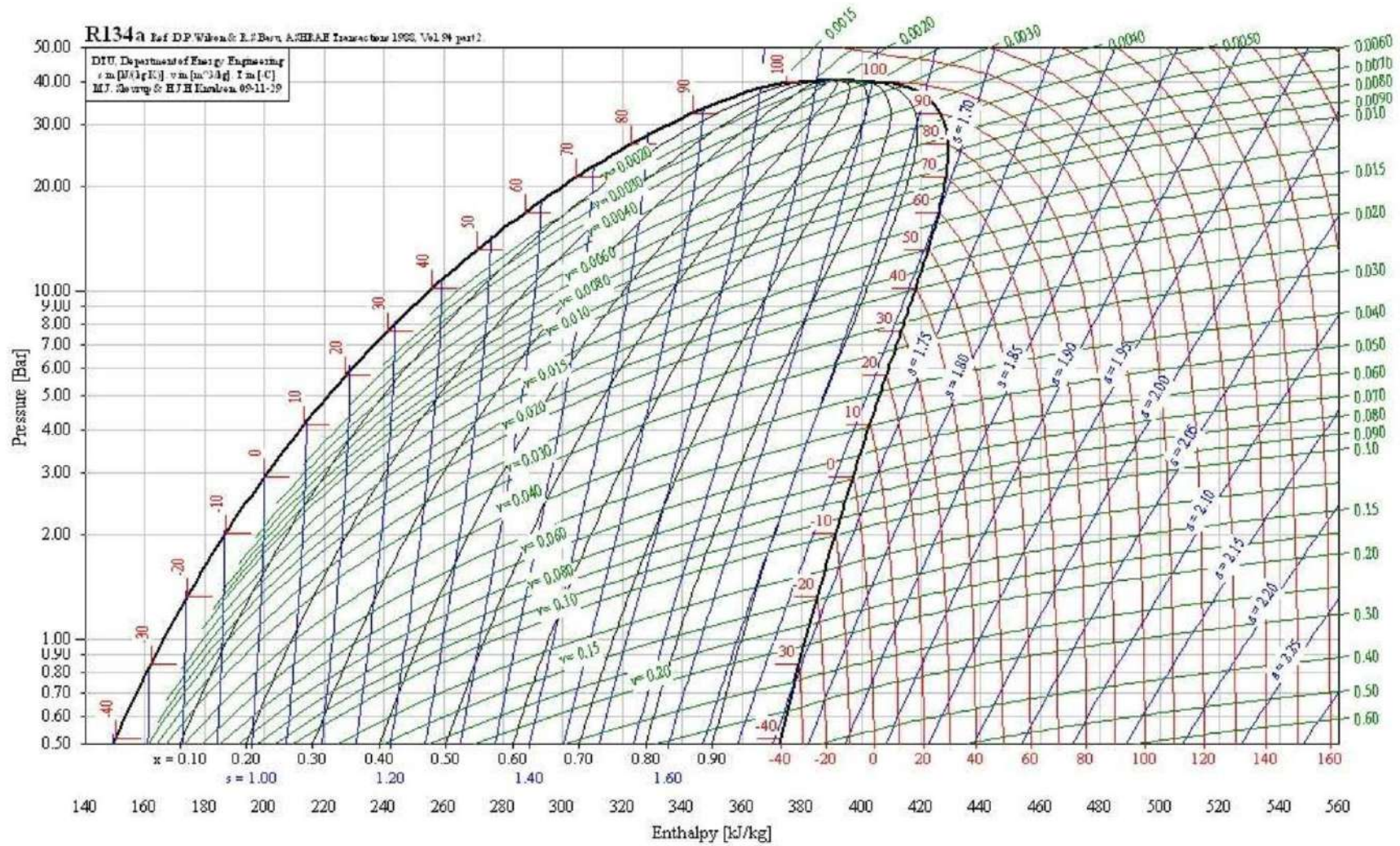
1. أن يكون المائع صديقاً للبيئة.
2. مدى الضغوط التشغيلية ونسبة الانضغاط.
3. درجة حرارة المبخر.
4. قابلية الامتزاج بالزيت.



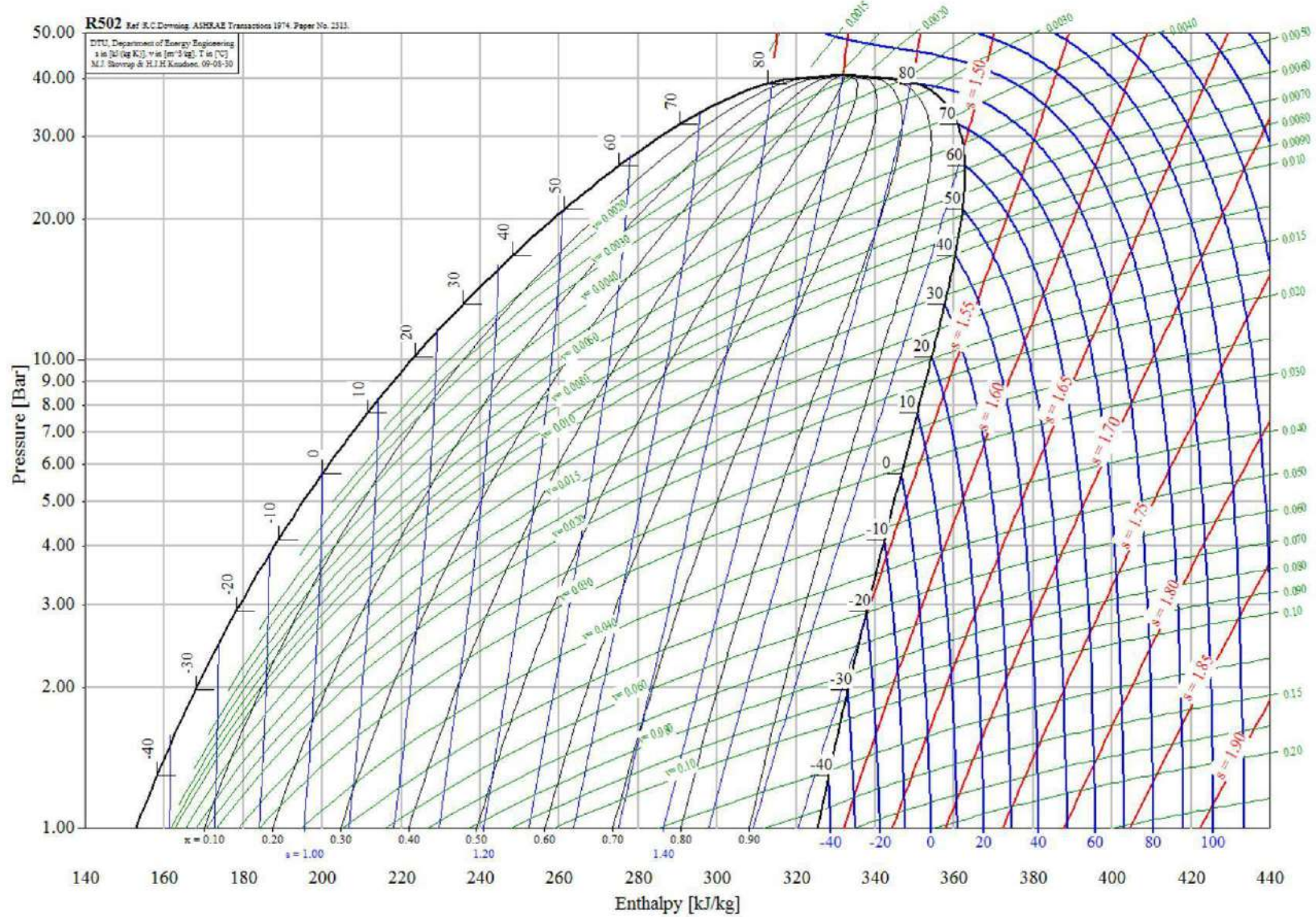
مخطط 1-1 ضغط - محتوى حراري لمائع التثليج R-12



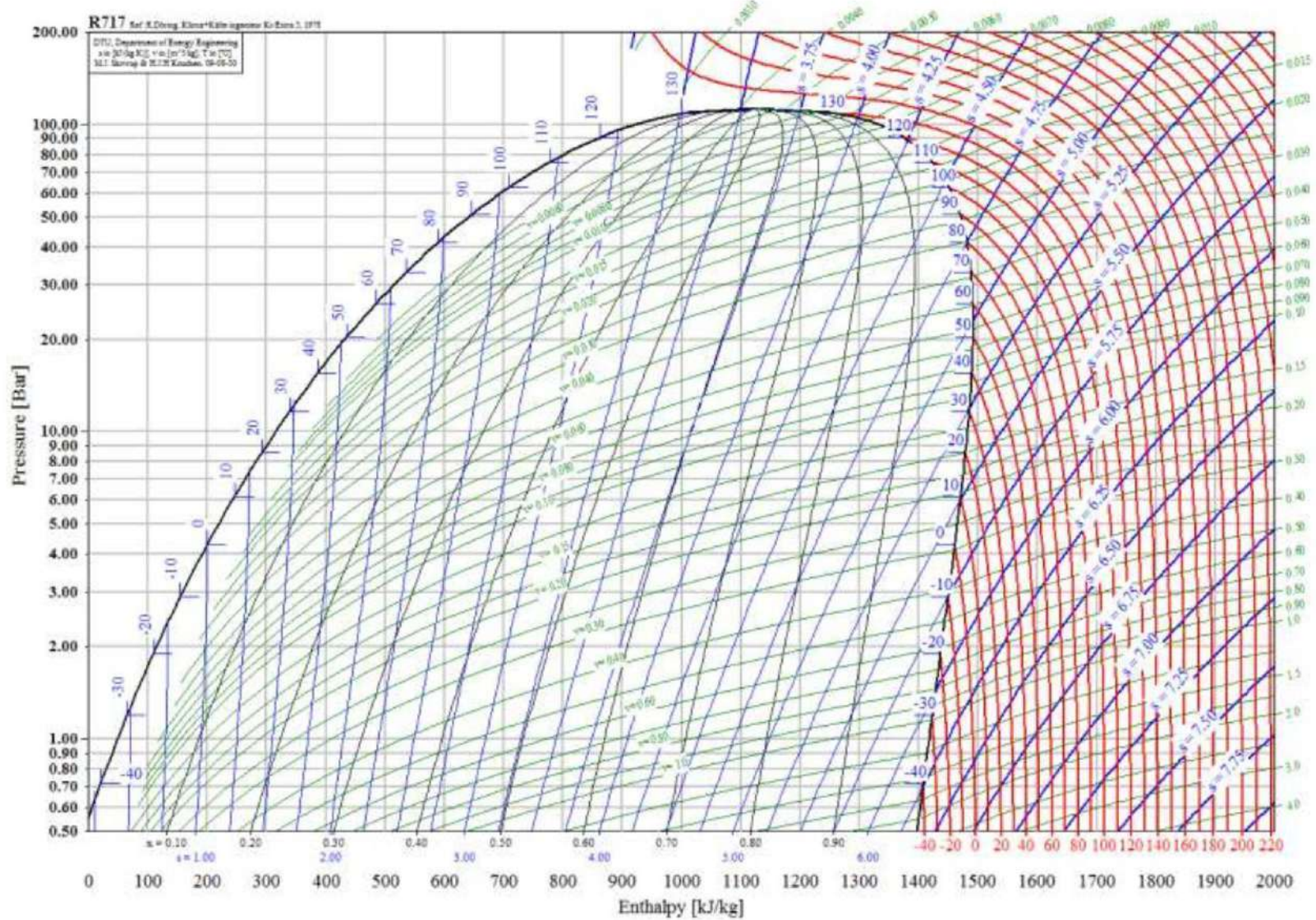
مخطط 2-1 ضغط - محتوى حراري لمائع التثليج R-22



مخطط 3-1 ضغط - محتوى حراري لمائع التثليج R-134a



مخطط 5-1 ضغط - محتوى حراري لمائع التثليج R-502



مخطط 6-1 ضغط - محتوى حراري للأمونيا R-717

أسئلة الفصل الأول

س(1) عرّف ما يأتي:

مانع التثليج، الهيدروكربونات، موانع التثليج البديلة، موانع التثليج الانتقالية، مكافئ استنفاد الأوزون، مكافئ الاحترار العالمي، نسبة الانضغاط، اللزوجة، الخلائط الطبيعية.

س(2) أذكر أهم الخواص الواجب مراعاتها لاختيار مانع تثليج؟

س(3) علل ما يأتي:

أ- اضمحلال طبقة الأوزون.

ب- استعمال الأنابيب الفولاذية بدل النحاسية في منظومات التثليج التي تعمل بالأمونيا.

ج- استعمال الأمونيا كمائع تثليج على الرغم من كونه ساماً وقابلاً للاشتعال والانفجار.

د- وجود ظاهرة الاحترار العالمي.

هـ- العودة لاستعمال غاز ثاني أكسيد الكربون كمائع تثليج في بعض منظومات التثليج.

س(4) اذكر الموانع البديلة لكل من موانع التثليج التالية:

R-134a R-11 R-12 R-22

س(5) عدد خواص موانع التثليج الحرارية، البيئية، والأمان.

س(6) اذكر خواص المائع R-723، وقارنها مع خواص الأمونيا.

س(7) رتب موانع التثليج ترتيباً تصاعدياً حسب تأثيرها على طبقة الأوزون:

R-134a R-22 R-12 R-11

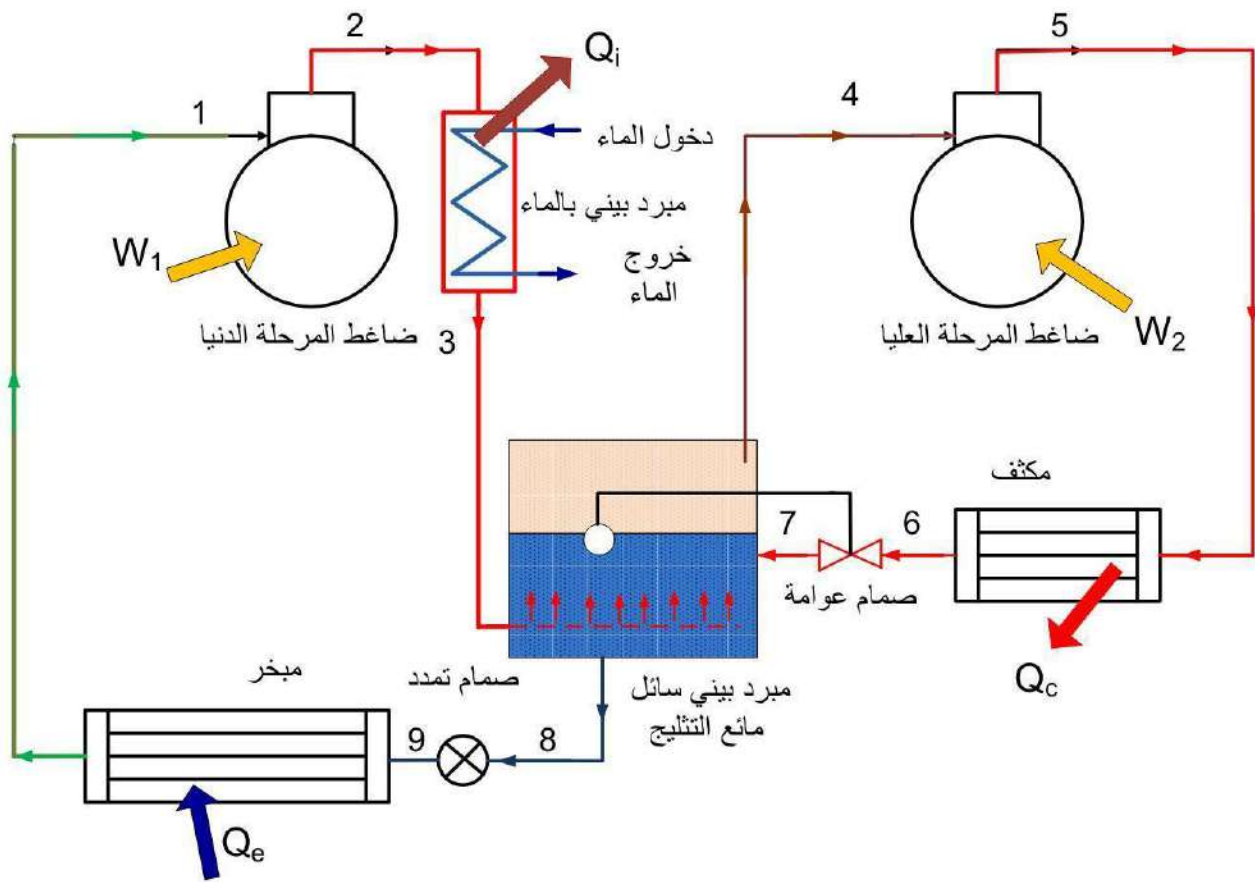
س(8) ما هو بروتوكول مونتريال؟ وما هي بنود اتفاقية فينا؟

س(9) ماذا تعرف عن ظاهرة البيت الزجاجي؟ (ابحث عن ذلك).

الفصل الثاني

منظومات التثليج المركبة

Compound Refrigeration Systems



منظومات التثليج المركبة

Compound Refrigeration Systems

Introduction

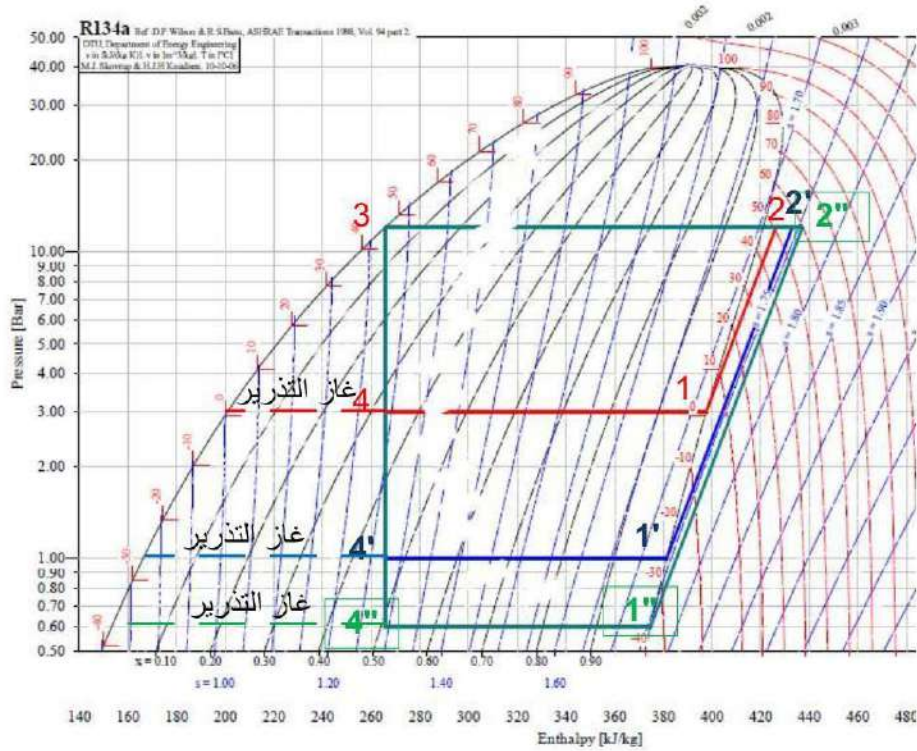
1-2 مقدمة

تعمل منظومات التثليج التقليدية بمرحلة انضغاط واحدة بين ضغطين، الأول هو ضغط منخفض (ضغط المبخر) والثاني هو ضغط عالي (ضغط المكثف)، ويتحسن أداء المنظومة كلما كان الفرق بين الضغطين قليلاً، أو بعبارة أخرى كلما كان الفرق بين درجتي حرارة المكثف والمبخر صغيراً، أي أن سعة التثليج والكفاءة للمنظومة تعتمد بشكل أساسي على الفرق بين درجتي حرارة التكثيف والتبخير (وكذلك الضغوط المناظرة لهما)، فكلما زاد الفرق قلت السعة والكفاءة وبالعكس.

في بعض التطبيقات الخاصة يكون الفرق بين درجتي حرارة التكثيف والتبخير كبيراً، إما بسبب الحاجة إلى رفع درجة حرارة التكثيف بحيث تكون أكبر من درجة حرارة المحيط، أو بسبب الحاجة إلى الحصول على درجات حرارة منخفضة في المبخر، أو الاثنان معاً. مثال ذلك مصانع تجميد المواد الغذائية التي تتطلب أن تصل درجة حرارة المبخر بحدود (-40°C) وفي المصانع الكيميائية ولتسييل الغازات قد تصل درجة الحرارة إلى (-150°C). كما إن متطلبات درجة حرارة التكثيف قد تكون عالية وخصوصاً عند استخدام منظومة التثليج كمضخة حرارية (Heat Pump)، فعند هذه الظروف يصبح استخدام المنظومات الاعتيادية (بمرحلة انضغاط واحدة) غير اقتصادي وغير عملي. ويبين الشكل (1-2) تأثير انخفاض درجة حرارة المبخر عند بقاء درجة حرارة المكثف ثابتة، حيث يلاحظ الزيادة بخسائر التمدد (Throttling) وزيادة كل من درجة حرارة تحميص البخار ودرجة حرارة البخار الخارج من الضاغط وكمية البخار الداخل للمبخر والحجم النوعي للبخار الداخل للضاغط. وكنتيجه لهذه الزيادات فإن التأثير التبريدي للمنظومة سينخفض مع ارتفاع شغل الانضغاط وينتج عن ذلك انخفاض معامل أداء (COP) منظومة الانضغاط بمرحلة واحدة. بشكل عام تكون درجة حرارة المبخر في المنظومات العاملة بموائع التثليج الهالوجينية والأمونيا، بحدود (-30°C) للمنظومات ذات الانضغاط بمرحلة واحدة، في حين أنها تساوي (-60°C) للمنظومات العاملة بمرحلتين انضغاط، وتكون درجة حرارة المبخر أقل من ذلك إذا كان الانضغاط بثلاث مراحل، في تطبيقات أخرى تكون الحاجة إلى توفير درجات حرارة مختلفة في المنظومة الواحدة، وهذا يتم عن طريق تزويد المنظومة بعدد من المبخرات العاملة كل يعمل عند درجة حرارة معينة، مثال ذلك مصانع الألبان التي تحتاج إلى درجة حرارة تقارب (2°C) لتبريد الحليب تبريداً أولاً ثم تنخفض درجة الحرارة إلى (-30°C) لعمل الثلجات، ففي مثل هذه الحالات يكون من المفيد استخدام منظومة واحدة متعددة المبخرات (Multi-Evaporators).

إن المنظومات المركبة تعمل بشكل عام باثنين أو أكثر من الضغوط المنخفضة، وتصنف إلى:

1. منظومات متعددة الانضغاط Multi-Compression Systems
2. منظومات متعددة المبخرات Multi-Evaporator Systems
3. منظومات تعاقبية Cascade Systems



شكل 2-1 مخطط الضغط - محتوى حراري (إنثالبي) لدورة تثليج تعمل بضغوط تبخير مختلفة

لاحظ زيادة شغل الضاغط (2-1) مع ازدياد الفرق بين ضغط التكثيف وضغط التبخير، ومع زيادة شغل الضاغط يقل معامل أداء الدورة.

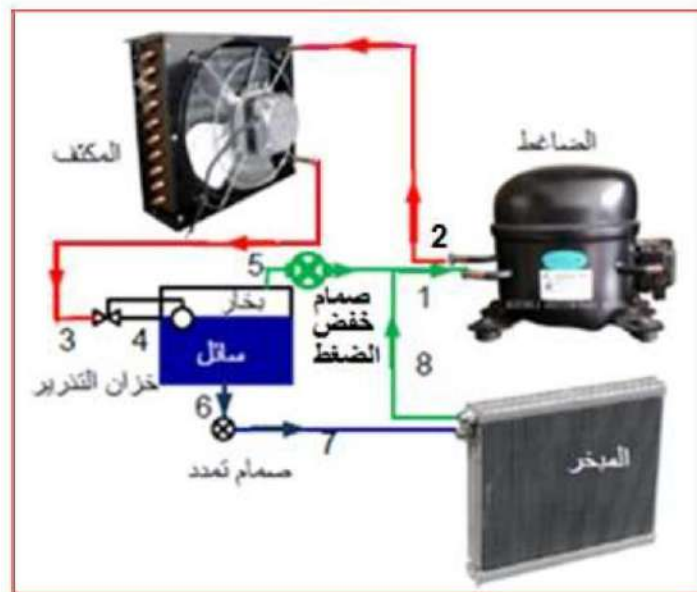
Flash Gas Removal

2-2 إزالة غاز التذير (الوميض)

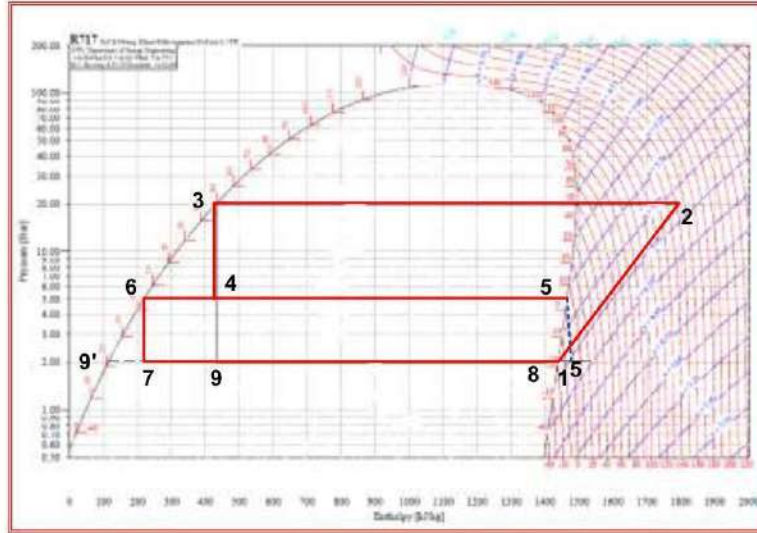
من مساوئ عمل الضاغط عند نسبة انضغاط عالية (أي بين ضغط تكثيف مرتفع وضغط تبخير منخفض) هو زيادة كمية غاز التذير (الوميض) (Flash Gas)، الناتج بعد عملية تمدد مانع التثليج، كما هو مبين في الشكل (2-1) ومن المعروف إن غاز التذير يكون في حالة بخار مشبع وليس له تأثير ملحوظ في التأثير التبريدي للمبخر، بل بالعكس فهو يسبب زيادة خسائر الضغط إذا سمح له بالمرور خلال المبخر. ويمكن أن يتم تحسين معامل أداء المنظومة (COP) إذا تمت إزالة غاز التذير عند تكونه وإعادته إلى الضاغط مرة أخرى ليعاد ضغطه ومن ثم دفعه إلى المكثف دون السماح له بالمرور خلال المبخر.

ومن إحدى الطرائق المستخدمة لسحب غاز التذير هي استخدام خزان التذير (Flash Tank)، المبين في الشكل (2-2) وخزان التذير عبارة عن خزان ضغط (Pressure Vessel) يتم بداخله الفصل بين سائل وبخار مائع التثليج، ويتم الفصل عند ضغط متوسط (Intermediate Pressure)، ويتم فيه السماح لسائل مائع التثليج بالمرور خلال أداة التمدد، في حين أن بخار مائع التثليج يسحب من قبل الضاغط عبر أنبوب متصل بين خط السحب للضاغط وخزان التذير.

ويمكن رسم الدورة المبينة في الشكل (2-2) على مخطط الضغط - المحتوى الحراري المبين في الشكل (2-3)، حيث تبدأ الدورة عند الرقم (1) والذي يمثل عملية سحب بخار مائع التثليج، ثم عملية انضغاط لبخار مائع التثليج ليرتفع ضغطه من النقطة (1) إلى النقطة (2)، وبعد ذلك عملية تكثيف في المكثف، ليخرج مائع التثليج بحالة سائل ساخن عند ضغط التكثيف عند النقطة (3)، بعد ذلك عملية تمدد أولية من الضغط العالي إلى الضغط المتوسط عندها نحصل على بخار رطب عند النقطة (4)، يدخل البخار الرطب خزان التذير حيث يفصل بخار مائع التثليج والذي هو عند النقطة (5) ويرسل إلى خط سحب الضاغط عبر صمام مخفض للضغط، أما سائل مائع التثليج والذي هو عند النقطة (6) فإنه يتمدد عبر صمام تمدد آخر، حيث يتمدد إلى النقطة (7) وبعدها يذهب إلى المبخر ليتبخر ويخرج بحالة بخار رطب عند النقطة (8) وحال خروجه يختلط مع بخار التذير عند النقطة (5) ومنها ينتج البخار عند النقطة (1) الذاهب إلى الضاغط. ويلاحظ انخفاض كمية غاز التذير الداخل إلى المبخر من المسافة (9-9) عند عدم استخدام خزان تذير إلى المسافة (7-9) ومنها نلاحظ زيادة التأثير التبريدي المبين في الخط (7-8) في حالة استخدام خزان تذير مقارنة بالتأثير التبريدي الممثل بالخط (8-9) في حال عدم استخدام خزان تذير.



شكل 2-2 خزان التذير في دورة التثليج



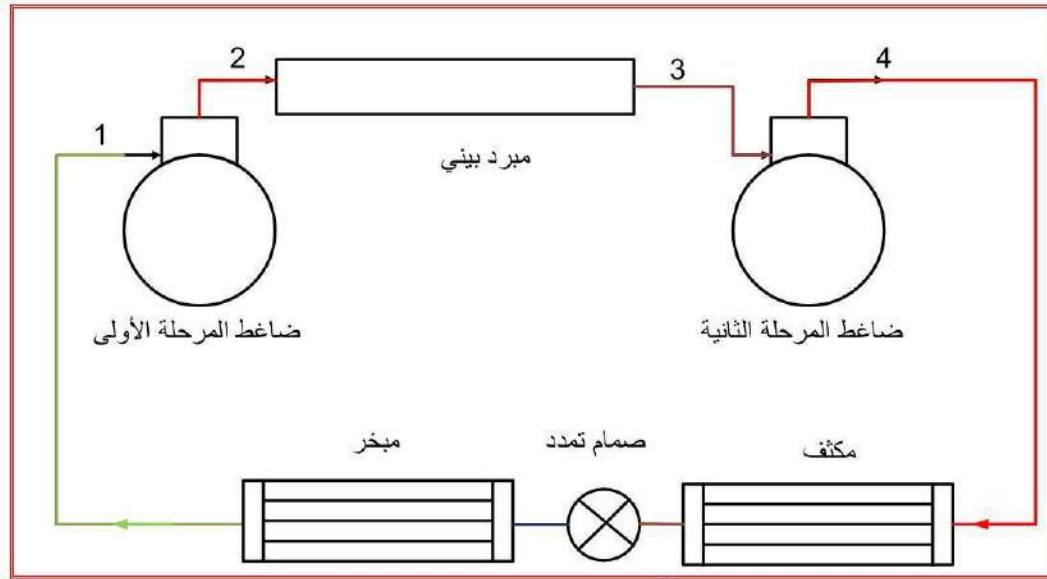
شكل 2-3 دورة التثليج على مخطط الضغط - المحتوى الحراري

2-3 التبريد البيئي في منظومات الانضغاط المتعدد

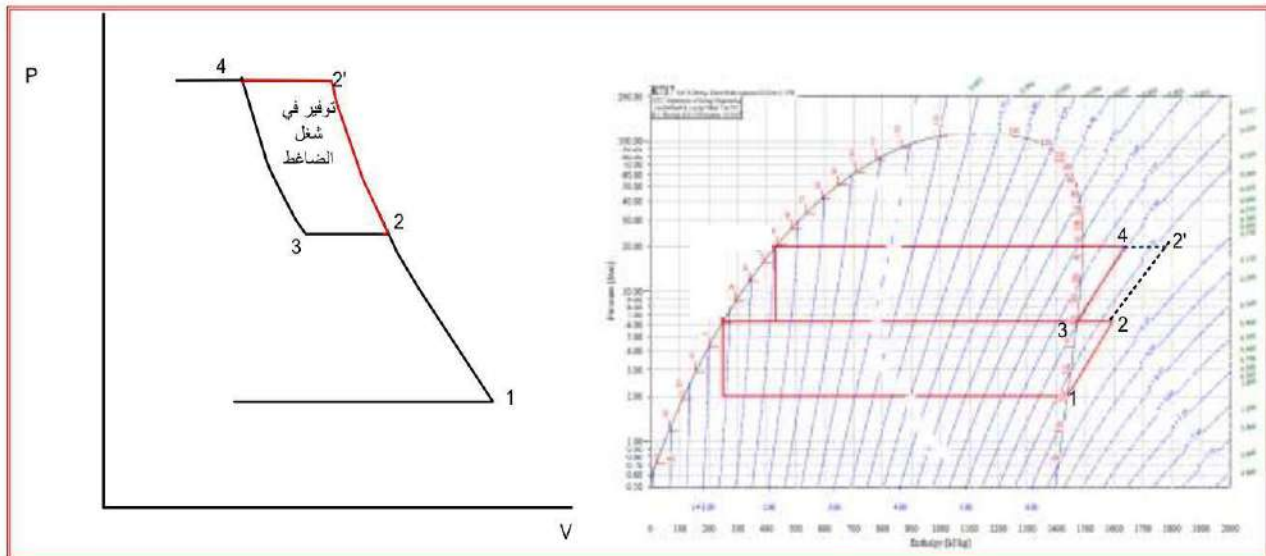
Inter Cooling in Multi-Stage Compression

التبريد البيئي هو عبارة عن تبريد لبخار مائع التثليج بعد ضغطه أولاً من قبل ضاغط المرحلة الأولى، وبعد أن يبرد بخار مائع التثليج يُسحب من قبل ضاغط المرحلة الثانية، وكما هو مبين في الشكل (2-4 أ)، ويُعد المبدأ الأساسي لاستخدام التبريد البيئي في منظومات الانضغاط متعددة المراحل، هو من أجل تقليل درجة حرارة بخار مائع التثليج وبالتالي تقليل حجمه النوعي، ثم تقليل شغل الانضغاط. ولتوضيح ذلك يمكن ملاحظة الشكل (2-4 ب) الذي يمثل عملية الانضغاط بمرحلتين مع وجود مبرد بيئي، فلو تمت عملية الانضغاط بمرحلة واحدة ودون وجود مبرد بيئي لارتفع الضغط من النقطة (1) إلى النقطة (2) مباشرة، في حين أن عملية الانضغاط بمرحلتين مع مبرد بيئي هي ثلاث عمليات متعاقبة هي (1 → 2) الانضغاط من ضغط المبخر إلى ضغط المبرد البيئي، عملية التبريد البيئي بثبات الضغط (2 → 3) وعملية الانضغاط الثانية من ضغط المبرد البيئي إلى ضغط المكثف (3 → 4). إن مقدار الشغل النوعي الذي تم تقليله تمثله المساحة المظللة (2-4-3-2)، وكما هو مبين في الشكل (2-4 ب) على مخطط الضغط - الحجم لمائع التثليج المستخدم عندما تكون عمليات الانضغاط بالحالة المثالية وبدون انتقال للحرارة من الضاغط إلى الخارج، أي: بدون خسائر ولذا تكون عملية الانضغاط **بثبات الإنتروبي (Isentropic Process)**.

ومن ملاحظة الشكل (2-4 ب) نرى أن التبريد البيئي بين عمليتي الانضغاط يمكن أن يقلل الشغل النسبي للضاغط بمقدار المساحة (2-4-3-2) فضلاً عن أنه يقلل درجة حرارة الغاز بعد عملية الانضغاط في المرحلة الثانية مما يقود إلى تحسين عملية تزييت الضاغط وبالنتيجة زيادة العمر التشغيلي للضاغط. والتبريد البيئي يمكن الحصول عليه إما من خلال استخدام مبادل حراري أو خزان تذيير.



شكل 2-4 أ انضغاط بمرحلتين مع مبرد بيني

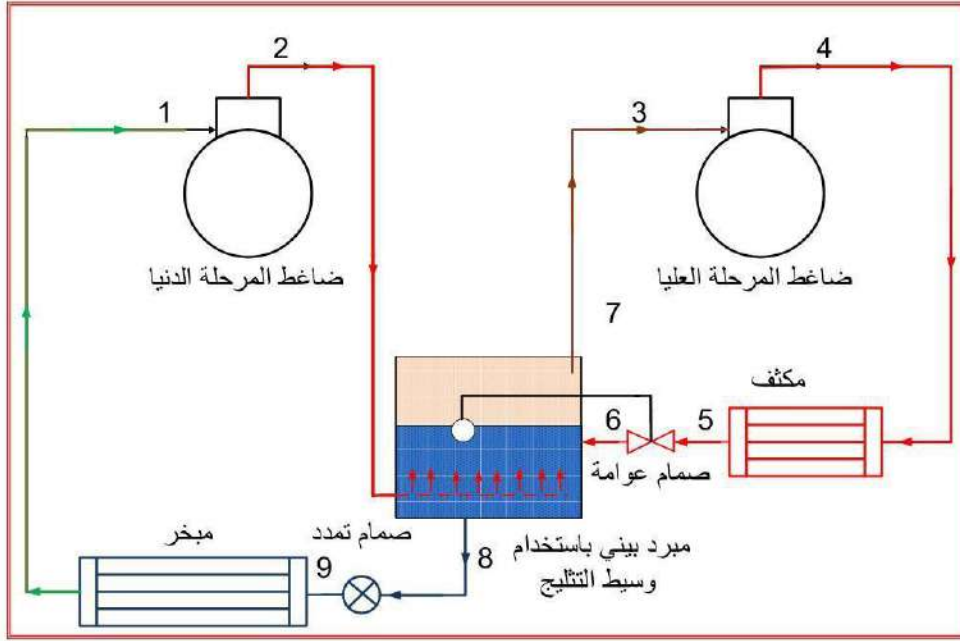


شكل 2-4 ب عملية انضغاط بمرحلتين مع مبرد بيني على مخططي الضغط - المحتوى الحراري والضغط - الحجم

Inter-Cooling by Heat Exchanger

1-3-2 التبريد البيني بمبادل حراري

يستخدم الماء في بعض الأحيان لتبريد المبرد البيني وبين الشكل (2-5) رسم تخطيطي للتبريد البيني باستخدام مبادل حراري يكون فيه الماء هو الوسيط الذي يسحب الحرارة من بخار مائع التثليج بعد المرحلة الأولى من الانضغاط. لكن هذا النوع من التبريد البيني محدود الاستخدام في منظومات التثليج بسبب عدم إمكانية الماء لإيصال البخار المحمص الخارج من ضاغط المرحلة الأولى إلى درجة حرارة تشبع البخار، وذلك بسبب محدودية درجة حرارة الماء المتوافر. ويستخدم التبريد البيني باستخدام الماء بشكل مألوف في ضواغط الهواء.



شكل 6-2 مبرد بيني باستخدام سائل مانع التثليج

Multi-Compression Systems

4-2 منظومات متعددة الانضغاط

إن اختيار الضغط الوسطي (ضغط التبريد البيني) يُعد أحد المهام التصميمية في منظومات الانضغاط متعددة المراحل. لضواغط الهواء يحسب ضغط التبريد البيني الأمثل (Optimum) من العلاقة الآتية:

$$P_i = \sqrt{P_L \times P_H}$$

إذ أن:

kPa	ضغط المبرد البيني	P_i
kPa	ضغط بخار مانع التثليج الأدنى في الدورة (ضغط المبخر)	P_L
kPa	ضغط بخار مانع التثليج الأعلى في الدورة (ضغط المكثف)	P_H

وتستخدم المعادلة التالية في الانضغاط متعدد المراحل في منظومات التثليج، وفيها تدخل درجتين حرارة المكثف والمبخر ضمن معادلة حساب الضغط الوسطي وكما يأتي:

$$P_i = \sqrt{P_L \times P_H \times \frac{T_c}{T_e}}$$

إذ أن:

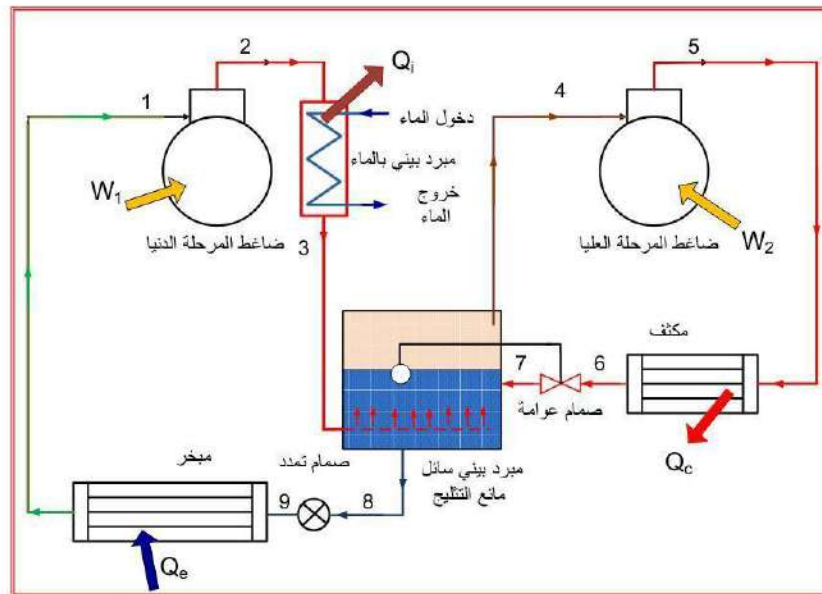
K	درجة حرارة التثليج	T_c
K	درجة حرارة التبخير	T_e

ويمكن ملاحظة العديد من تطبيقات وأنواع المبردات البينية ومنها:

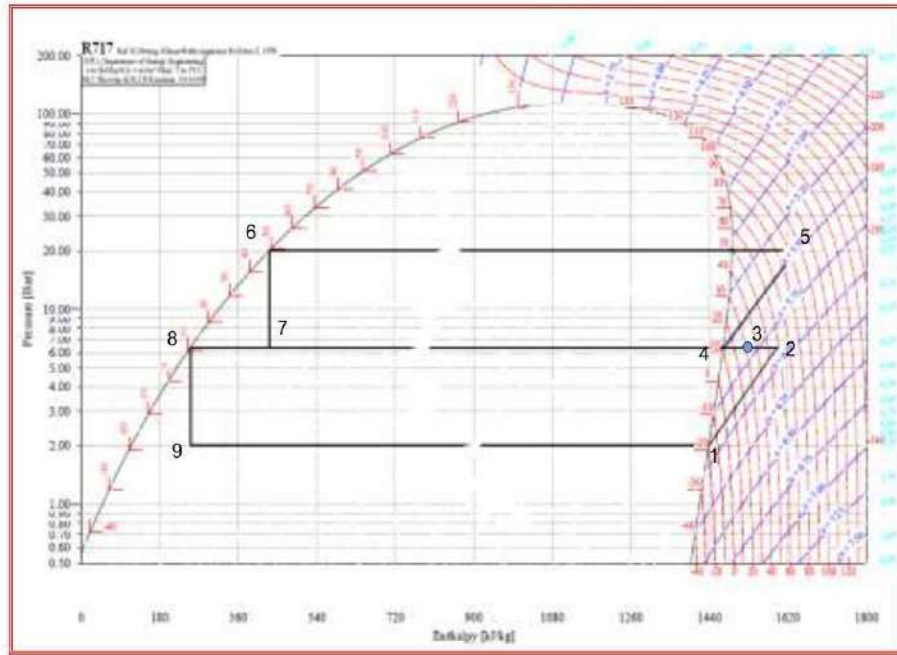
- 1- منظومات متعددة المراحل مع إزالة غاز التذير وتبريد بيني.
- 2- منظومات متعددة المراحل مع خزان تذير لإزالة غاز التذير.
- 3- منظومات متعددة المراحل مع خزان تذير للتبريد البيني فقط.

1-4-2 منظومات متعددة المراحل مع إزالة غاز التذير وتبريد بيني

يستخدم المبرد البيني المبرد بالماء مع التبريد البيني بخزان التذير لزيادة كفاءة تبريد بخار مائع التثليج بعد الانضغاط الأولي، وكما مبين في الشكل (2-7)، ففي المرحلة الأولى للتبريد يستخدم الماء لخفض درجة حرارة بخار مائع التثليج من النقطة (2) إلى النقطة (3)، وبعد ذلك يمرر البخار خلال سائل مائع التثليج في الخزان، ويخرج بخار مائع التثليج في حالة التشبع عند النقطة (4).
لدراسة أداء المنظومة، يمكن الرجوع إلى أساسيات علم الديناميك الحراري وتطبيق قانوني حفظ الكتلة والطاقة على كل جزء من أجزاء المنظومة، وعلى فرض إن خزان التذير معزولاً عزلاً حرارياً تاماً مع إهمال التغيرات في طاقتي الوضع والحركة لمائع التثليج عند مروره في كل جزء من المنظومة. ومن أجل تحليل أداء المنظومة يمكن الرجوع إلى مخطط ضغط - محتوى حراري للمنظومة والمبين بالشكل (2-8) والذي تظهر عليه خواص مائع التثليج والعمليات التي يمر بها خلال أجزاء المنظومة.



شكل 2-7 مرحلتا انضغاط مع إزالة غاز التذير باستخدام خزان التذير ومبادل حراري



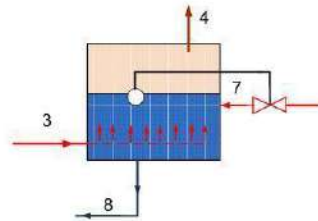
شكل 2-8 مخطط ضغط - محتوى حراري للمنظومة المبينة بالشكل (2-7)

بالإمكان الحصول على العلاقات التالية، من خلال تطبيق معادلة حفظ الكتلة والطاقة على أجزاء المنظومة وكما يأتي:

1- خزان التذير (Flash Tank Chamber): عند تطبيق قانون حفظ الكتلة على خزان التذير والذي ينص على أن الكتل الداخلة إلى النظام يجب أن تساوي الكتل الخارجة منه نستنتج المعادلة (1-2)، إما عند تطبيق قانون حفظ الطاقة الذي ينص على أن مجموع الطاقات الداخلة إلى النظام تساوي مجموع الطاقات الخارجة منه، نستنتج المعادلة (2-2) وكما يأتي:

$$m_7 + m_3 = m_8 + m_4 \quad (2-1)$$

$$m_7 h_7 + m_3 h_3 = m_8 h_8 + m_4 h_4 \quad (2-2)$$



2- صمام التمدد (Expansion Valve): كما تعلمنا من العلوم الصناعية للصف الأول إن عملية التمدد هي عملية خنق وفيها يتساوى المحتوى الحراري للمائع قبل الدخول مع المحتوى الحراري للمائع بعد الخروج مع تساوي كل من الكتلة الداخلة والكتلة الخارجة.

$$m_8 = m_9 \quad (2-3)$$

$$h_8 = h_9 \quad (2-4)$$

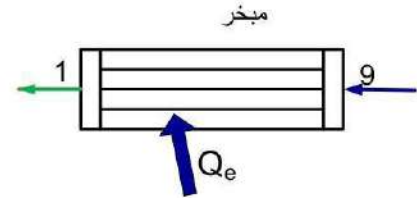


3- المبخر Evaporator : يتبخر سائل مائع التثليج في المبخر ويتحول إلى بخار، وحسب قانون حفظ الكتلة فإن الكتلة الداخلة تساوي الكتلة الخارجة، ومن قانون حفظ الطاقة نستنتج أن الطاقة الداخلة إلى المبخر مضافاً إليها الطاقة الحرارية التي سحبها المبخر تساوي الطاقة الخارجة من المبخر وكما يأتي:

$$m_9 = m_1 = m_I \quad (2-5)$$

$$Q_e + m_9 h_9 = m_1 h_1 \quad (2-6 a)$$

$$Q_e = m_1 (h_1 - h_9) \quad (2-6 b)$$

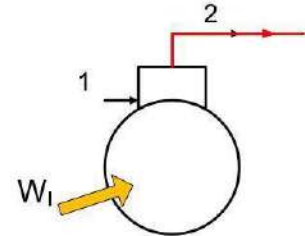


4- ضاغط المرحلة الدنيا Compressor I : في ضاغط المرحلة الدنيا يستلم الضاغط بخار مائع التثليج عند النقطة (1) ويضغط عن طريق إضافة شغل إلى الضاغط، وطاقة بخار مائع التثليج الخارج تساوي مجموع الطاقة التي بذلت على الضاغط لإنجاز شغل الانضغاط مضافاً إليها طاقة بخار مائع التثليج قبل الانضغاط وكما يلي:

$$m_9 = m_1 = m_I \quad (2-7)$$

$$W_I + m_1 h_1 = m_2 h_2 \quad (2-8 a)$$

$$W_I = m_1 (h_2 - h_1) \quad (2-8 b)$$



إذ أن:

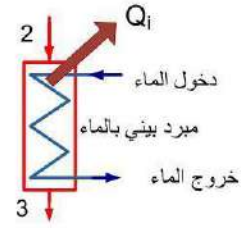
kg/s	كتلة مائع التثليج المضغوطة من قبل ضاغط المرحلة الدنيا	m_I
kW	الطاقة المستهلكة في الضاغط الأول	W_I

5- المبرد البيئي بالماء Water Intercooler (Heat Exchanger) : يستخدم المبرد البيئي بالماء كما ذكرنا سابقاً لتبريد بخار مائع التثليج الخارج من ضاغط المرحلة الدنيا، حيث يتم إمرار ماء بارد حول الأنبوب الذي يحمل بخار مائع التثليج، حيث يسحب الماء جزءاً من الحرارة من بخار مائع التثليج، وعند تطبيق قانوني حفظ الكتلة والطاقة نحصل على ما يأتي:

$$m_3 = m_2 = m_I \quad (2-9)$$

$$m_2 h_2 = m_3 h_3 + Q_i \quad (2-10 a)$$

$$Q_i = m_I (h_2 - h_3) \quad (2-10 b)$$



إذ أن:

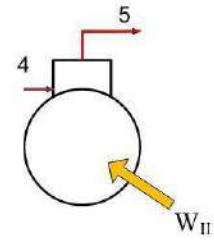
Q_i	الحرارة المنتقلة من مائع التثليج إلى ماء التبريد في المبادل الحراري	kW
-------	---	----

6- ضاغط المرحلة العليا II – Compressor : يقوم ضاغط المرحلة العليا بضغط بخار مائع التثليج الخارج من المبرد البيني ورفع ضغطه إلى ضغط المكثف وبتطبيق معادلتى حفظ الكتلة والطاقة نحصل على ما يأتي:

$$m_4 = m_5 = m_{II} \quad (2-11)$$

$$W_{II} + m_4 h_4 = m_5 h_5 \quad (2-12 a)$$

$$W_{II} = m_{II} (h_5 - h_4) \quad (2-12 b)$$

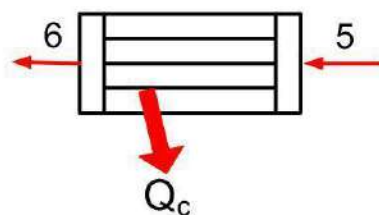


إذ أن:

m_{II}	معدل التدفق الكتلي لمائع التثليج خلال ضاغط المرحلة العليا	kg/s
W_{II}	شغل الانضغاط أو الطاقة المصروفة لضاغط المرحلة العليا	kW

7- المكثف Condenser : من المعروف أن المكثف يقوم بطرح الحرارة من مائع التثليج ليحوله إلى الحالة السائلة أي أن الموازنة الحرارية للمكثف تتم عن طريق مساواة الطاقة الداخلة مع مجموع الحرارة المطرودة من المكثف وطاقة سائل مائع التثليج الخارج من المكثف وكما يأتي:

مكثف



$$m_5 = m_6 = m_{II} \quad (2-13)$$

$$m_5 h_5 = m_6 h_6 + Q_c \quad (2-14 a)$$

$$Q_c = m_{II} (h_5 - h_6) \quad (2-14 b)$$

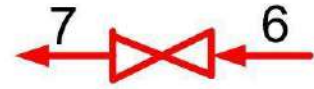
إذ أن:

kW	الحرارة المطروحة من المكثف	Q_c
----	----------------------------	-------

8- صمام ذو العوامة Float Valve : إن الإجراء الذي يتم خلال صمام العوامة هو مشابه تماماً لما يحصل في صمام التمدد لذا هي عملية خنق وفيها يتساوى المحتوى الحراري للمائع قبل الدخول مع المحتوى الحراري للمائع بعد الخروج مع تساوي كل من الكتلة الداخلة والكتلة الخارجة

$$m_6 = m_7 = m_{II} \quad (2-15)$$

$$h_6 = h_7 \quad (2-16)$$



من خلال المعادلات المذكورة نستطيع أن نحسب كتلة مائع التثليج في مرحلة الانضغاط الدنيا عن طريق (2-6 b) حيث أن سعة المنظومة تكون عادة معروفة ومنها نستطيع حساب الكتلة كما يأتي:

$$Q_e = m_I (h_1 - h_9) \quad (2-6 b)$$

$$m_I = \frac{Q_e}{h_1 - h_9} \quad (2-6 c)$$

إما كتلة بخار مائع التثليج التي تضغط في ضاغط المرحلة العليا فتحسب من المعادلة:

$$m_{II} = \frac{h_3 - h_8}{h_4 - h_7} \quad (2-17)$$

ومن هذه العلاقة يمكن ملاحظة إمكانية تقليل كتلة مائع التثليج المارة خلال مرحلة الانضغاط العليا (m_{II}) من خلال تقليل المحتوى الحراري لبخار المائع الداخل لخزان الوميض بعد خروجه من المبادل الحراري.

إما مقدار البخار الإضافي المتولد نتيجة عملية إزالة تحميص البخار في خزان التذير:

$$m_{gen} = m_I \times \frac{h_3 - h_4}{h_4 - h_8} \quad (2-18)$$

kg/s	كتلة بخار مائع التثليج المتكون في أثناء عملية التذير	m_{gen}
------	--	-----------

معامل أداء المنظومة COP فيحسب من المعادلة الآتية:

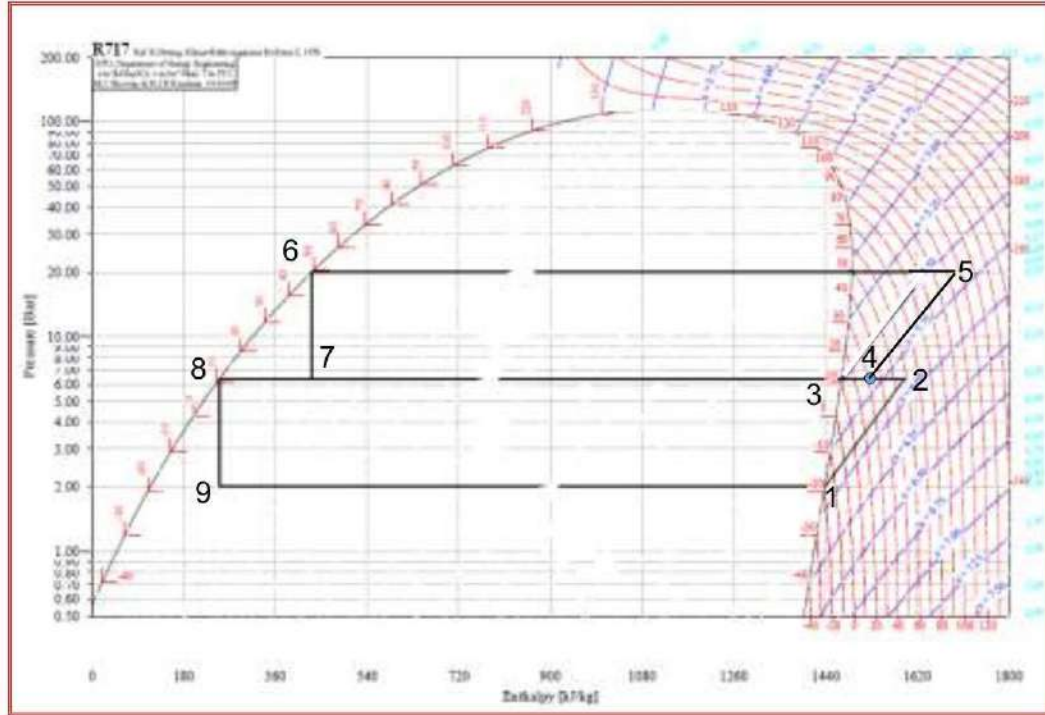
$$COP = \frac{Q_e}{W_I + W_{II}} = \frac{m_I(h_1 - h_9)}{m_I(h_2 - h_1) + m_{II}(h_5 - h_4)} \quad (2-19)$$

إذ أن:

	معامل أداء المنظومة	COP
kW	سعة المنظومة	Q_e
kW	الطاقة المستهلكة في ضاغط المرحلة الدنيا	W_I
kW	الطاقة المستهلكة في ضاغط المرحلة العليا	W_{II}
kg/s	كتلة مائع التثليج المجهز من قبل ضاغط المرحلة الدنيا	m_I
kg/s	كتلة مائع التثليج المجهزة من قبل ضاغط المرحلة العليا	m_{II}

من إيجابيات هذه الدورة:

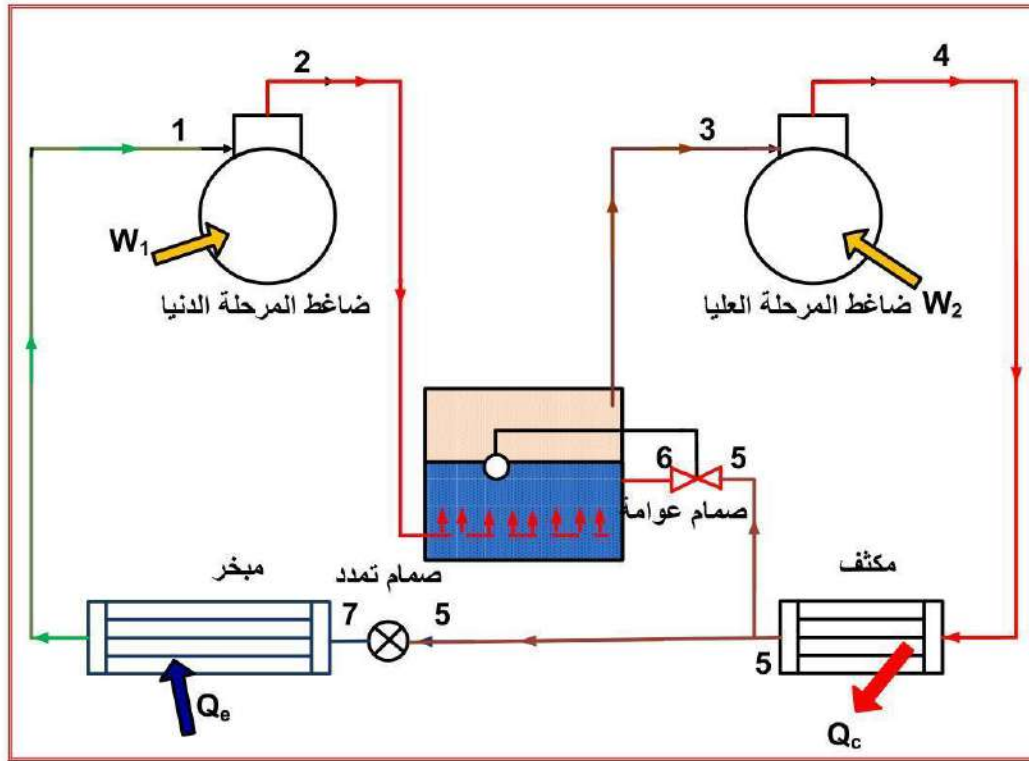
- 1- من ملاحظة مخطط الدورة على مخطط الضغط - المحتوى الحراري المبينة في الشكل (2-8) هو أن نسبة الجفاف (Dryness Fraction) لمائع التثليج الداخل للمبخر قليل، وهذا يعني زيادة مائع التثليج في الحالة السائلة وتقليله بالحالة الغازية، وهذا يؤدي إلى زيادة التأثير التبريدي، فضلاً عن انخفاض خسائر الضغط نتيجة لقلّة بخار مائع التثليج الداخل إلى المبخر إضافة إلى تحسن انتقال الحرارة في المبخر.
- 2- زيادة الكفاءة الحجمية للضاغط بسبب الانخفاض في حجم الغاز النوعي فضلاً عن انخفاض نسبة الانضغاط.
- 3- انخفاض درجة حرارة الغاز الخارج من مرحلة الانضغاط العليا وبالتالي تقليل الحمل على المكثف.



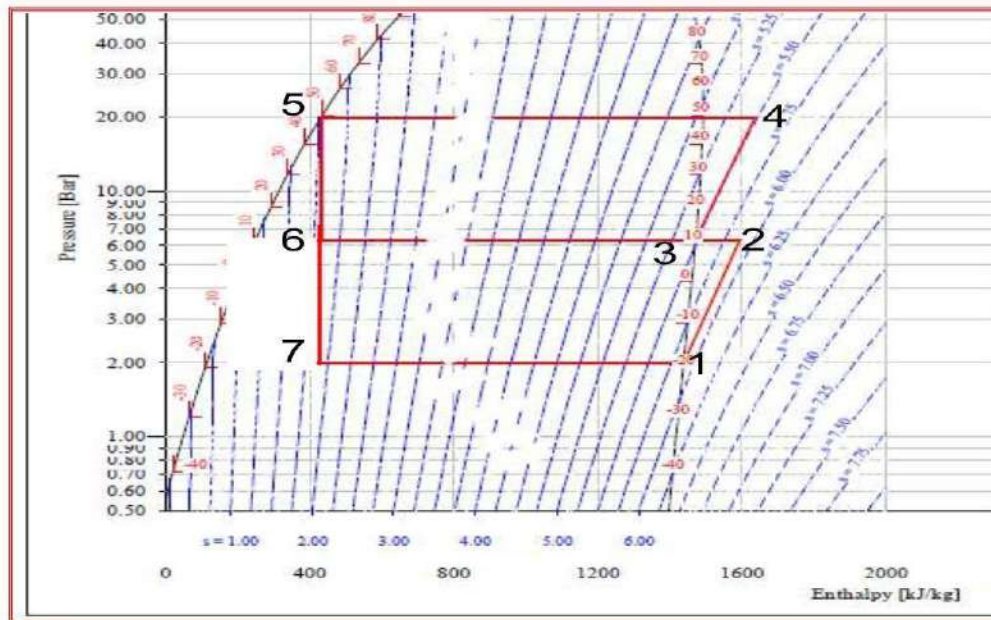
شكل 2-10 مخطط ضغط – محتوى حراري لمنظومة انضغاط بمرحلتين تستخدم خزان التذير لإزالة غاز التذير

3-4-2 منظومات متعددة المراحل مع خزان تذير للتبريد البيئي فقط

يستخدم خزان التذير في بعض الأحيان في تبريد بخار مائع التثليج بعد انضغاطه في مرحلة الانضغاط الدنيا، ولا يتم في هذه الحالة إزالة غاز التذير بعد التمدد الأولي، ويُعد هذا النوع من التبريد البيئي بسيطاً ويستخدم عندما لا تكون نسبة الانضغاط عالية. ويبين الشكل (2-11) أحد أنواع المنظومات متعددة المراحل مع خزان تذير للتبريد البيئي فقط، ويلاحظ أن بخار مائع التثليج المجهز من قبل ضاغط المرحلة الدنيا عند النقطة (2) يمر خلال سائل مائع التثليج في خزان التذير وإزالة حرارة التحميص منه ليخرج عند النقطة (3)، في حين أن الشكل (2-12) يبين الدورة على مخطط الضغط – المحتوى الحراري. وتجدر الإشارة هنا إلى عدم تساوي كتلة بخار مائع التثليج المجهز من قبل ضاغط المرحلة الدنيا مع تلك التي تجهز من قبل ضاغط المرحلة العليا، وذلك بسبب تبخر جزء من سائل مائع التثليج في أثناء مرور بخار مائع التثليج خلال خزان التذير، وعلى هذا الأساس يدفع ضاغط المرحلة العليا كتلة مائع تثليج أكبر من تلك التي يجهزها ضاغط المرحلة الدنيا.



شكل 2-11 مخطط منظومة بمرحلتين انضغاط مع خزان التذير كمبرد ببني فقط



شكل 2-12 مخطط ضغط - إنثالبي لمنظومة بمرحلتين انضغاط مع خزان التذير كمبرد ببني فقط

Multi-Evaporator Systems

5-2 منظومات متعددة المبخرات

في بعض التطبيقات تكون الحاجة إلى توفير درجات حرارة مختلفة في منظومة تبريد واحدة، فمثلاً في مخازن التبريد والتثليج يتطلب الأمر تبريد المواد الغذائية تبريداً أولاً ثم بعد ذلك يتم إجراء عمليات صناعية معينة عليها عند درجات حرارة منخفضة، وحيث أن استخدام عدة منظومات تثليج لتحقيق هذا الغرض يُعد مكلفاً من ناحية الكلفة الابتدائية وكلفتي النصب والصيانة، لذا تم استحداث منظومات تثليج تعمل بضغوط واحد أو عدة ضواغط وتكون مجهزة بعدد من المبخرات كل يعمل عند درجة حرارة مختلفة أو تعمل جميعها عند درجة الحرارة نفسها ولكن ذات ساعات مختلفة. ويمكن تصنيف منظومات التثليج متعددة المبخرات إلى ما يأتي:

1- منظومات متعددة المبخرات وضغط واحد.

2- منظومات متعددة المبخرات ومتعددة الضواغط.

وفيما يلي توضيح لمكونات المنظومات متعددة المبخرات، من خلال توضيح منظومة بمبخرين وضغط واحد، وأخرى بمبخرين وضغطين.

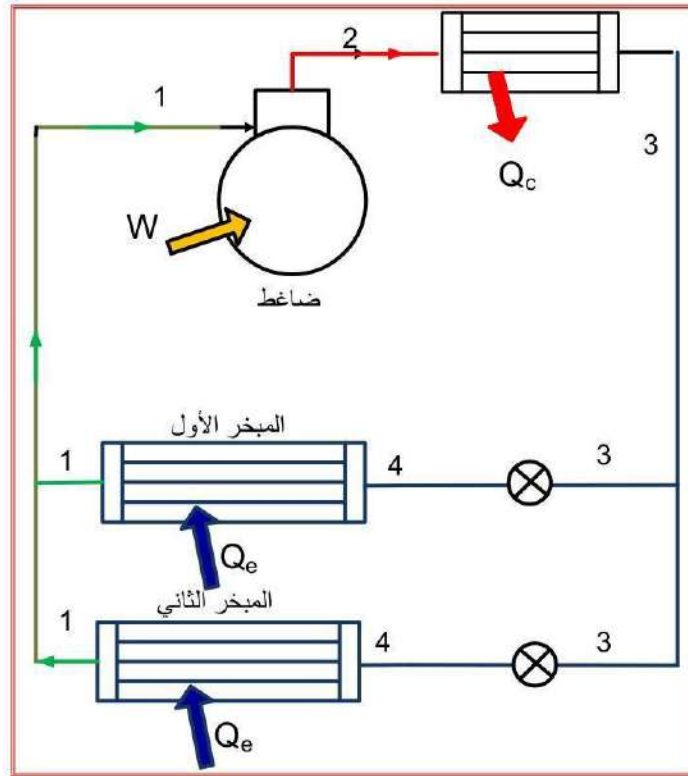
1-5-2 منظومة بمبخرين عند درجة حرارة واحدة وضغط واحد

Two Evaporators at Same Temperature and One Compressor

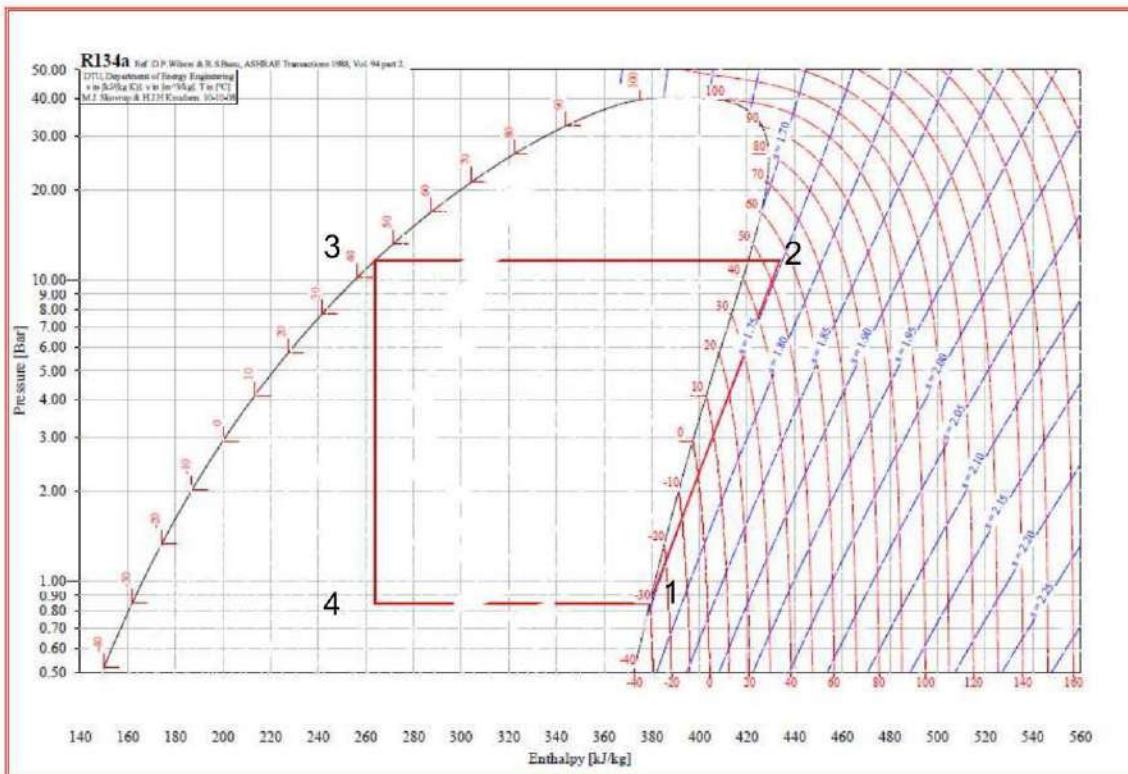
تتميز هذه المنظومة بتساوي درجة حرارة المبخرات العاملة في الدورة، ويزود كل مبخر بصمام تمدد ذي سعة ثابتة مما يؤدي إلى تساوي ضغط المبخرات العاملة في الدورة الواحدة، وقد تتساوى سعة المبخرات أو تختلف سعتها، فمثلاً قد يكون المبخر الأول عند درجة حرارة مقدارها (-30°C) وبسعة 10 TR، والمبخر الثاني درجة الحرارة نفسها ولكن بسعة مقدارها 30 TR وهكذا. الشكل (2-13) يبين منظومة تثليج بمبخرين يعملان عند درجة الحرارة نفسها في حين أن الشكل (2-14) يبين الدورة على مخطط الضغط - المحتوى الحراري. ويمكن حساب معامل أداء الدورة من المعادلة الآتية:

$$COP = \frac{Q_{el} + Q_{ell}}{W_c} \quad (2-20)$$

تُعد هذه المنظومات من المنظومات الاقتصادية وقليلة المشاكل، فضلاً عن إمكانيةها لخدمة مبخرات عند درجة الحرارة نفسها وبمواقع مختلفة وباستخدام ضاغط واحد.



شكل 2-13 منظومة تثليج متعددة المبخرات تعمل عند درجة حرارة واحدة



شكل 2-14 دورة تثليج منظومة متعددة المبخرات تعمل عند درجة الحرارة نفسها على مخطط الضغط - المحتوى الحراري

2-5-2 منظومة بمبخرين عند درجات حرارة مختلفة وضغط واحد

Two Evaporators at Different Temperatures and One Compressor

نحتاج في بعض التطبيقات إلى مبخرات تعمل عند درجات حرارة مختلفة في منظومة تثليج واحدة، ويمكن تحقيق ذلك عن طريق تزويد المنظومة بعدد من المبخرات ويزود كل مبخر بصمام تمدد خاص يمكنه التحكم بضغط المبخر وبالتالي بدرجة حرارة المبخر، وللسيطرة على عمل المنظومة يجب تزويد نهاية المبخر ذي درجة الحرارة العالية بمنظم لضغط السحب وذلك لمنع تداور بخار مائع التثليج ما بين المبخرات العاملة، فضلاً عن أن المبخر الأكثر درجة حرارة يكون عند ضغط أكبر من ضغط المبخر الآخر. لذا يجب تقليل ضغط البخار بعد خروجه من هذا المبخر وقبل سحبه من قبل الضاغط، ويبين الشكل (2-15) مخطط الدورة، في حين يبين الشكل (2-16) الدورة على مخطط الضغط - المحتوى الحراري.

في هذه المنظومة يلاحظ ارتفاع قيمة التأثير التبريدي للمبخر II، لكن هذا الارتفاع قد لا يحسن معامل الأداء للمنظومة بشكل ملحوظ، لأن البخار المار بالمبخر II سيتم خفض ضغطه باستخدام صمام تنظيم الضغط (Pressure Regulator Valve) PRV .

يحسب معامل أداء هذه المنظومة من المعادلة التالية:

$$COP = \frac{Q_{eI} + Q_{eII}}{W_c} = \frac{m_I \times (h_7 - h_5) + m_{II} \times (h_6 - h_4)}{(m_I + m_{II}) \times (h_2 - h_1)} \quad (2-21)$$

إذ أن:

		معامل أداء الدورة	COP
kW		القدرة المبذولة على الضاغط	W _c
kW		سعة المبخر الأول	Q _{eI}
kW		سعة المبخر الثاني	Q _{eII}
kg/s		كتلة مائع التثليج المارة في المبخر الأول	m _I
kg/s		كتلة مائع التثليج المارة بالمبخر الثاني	m _{II}

ويمكن حساب كتل موائع التثليج المارة في كل مبخر من المعادلتين الآتيتين:

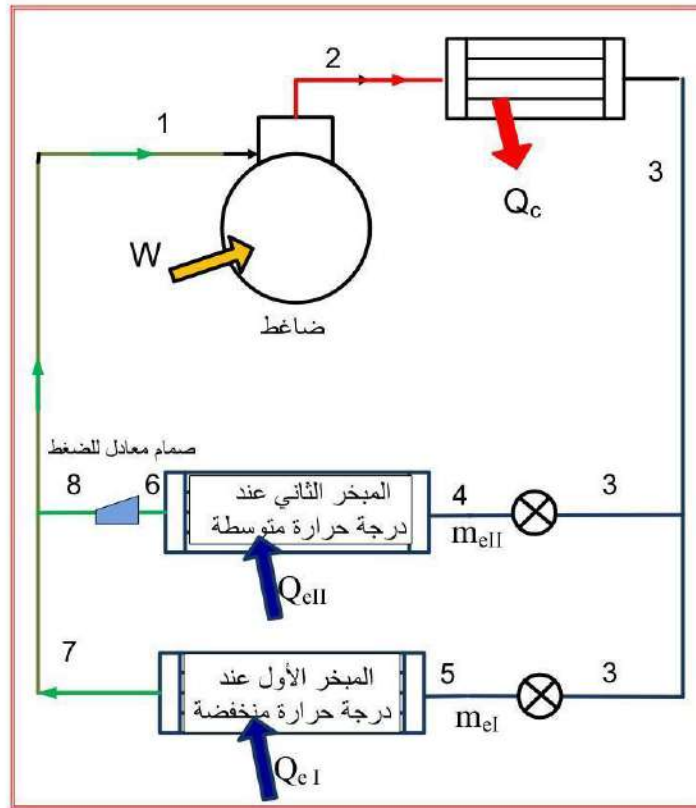
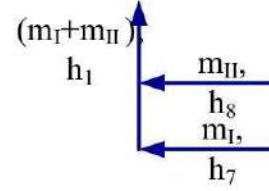
$$m_I = \frac{Q_{eI}}{(h_7 - h_5)} \quad (2-22)$$

$$m_{II} = \frac{Q_{eII}}{(h_6 - h_4)} \quad (2-23)$$

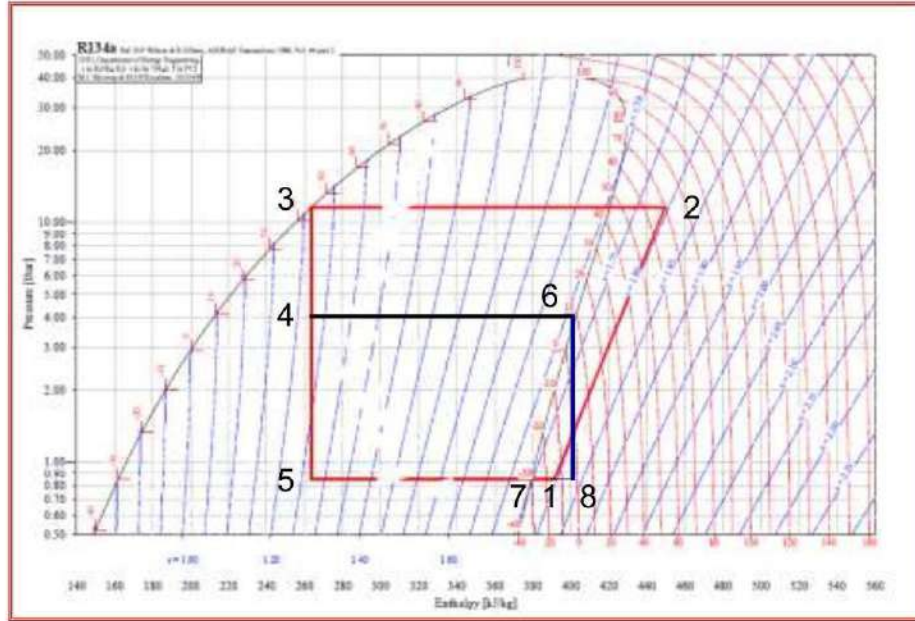
ويمكن حساب مواصفات بخار مائع التثليج عند خط سحب الضاغط، النقطة (1) بعد تطبيق قانون حفظ الطاقة على النقطة (1) وكما يأتي:

$$(m_I + m_{II}) \times h_1 = m_I \times h_7 + m_{II} \times h_8$$

$$h_1 = \frac{m_I \times h_7 + m_{II} \times h_8}{m_I + m_{II}} \quad (2-24)$$



شكل 2-15 منظومة تثليج متعددة المبخرات تعمل المبخرات عند درجات حرارة مختلفة، وضاغط واحد

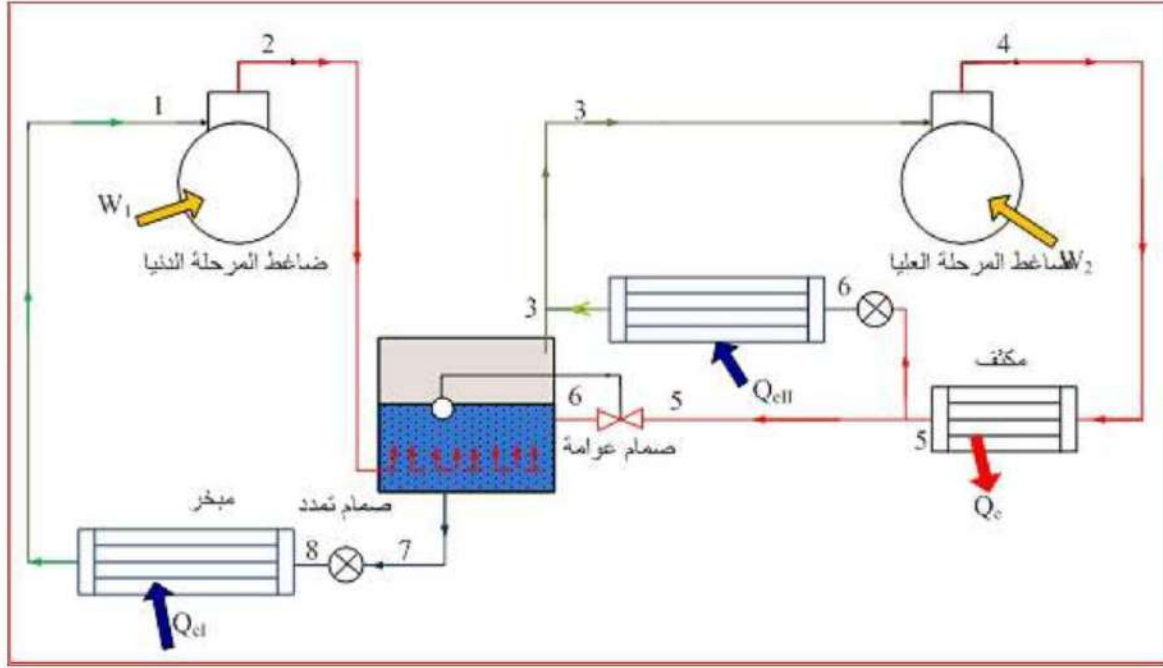


شكل 2-16 دورة منظومة تثليج متعددة المبخرات تعمل المبخرات عند درجات حرارة مختلفة، وضغط واحد على مخطط الضغط - المحتوى الحراري

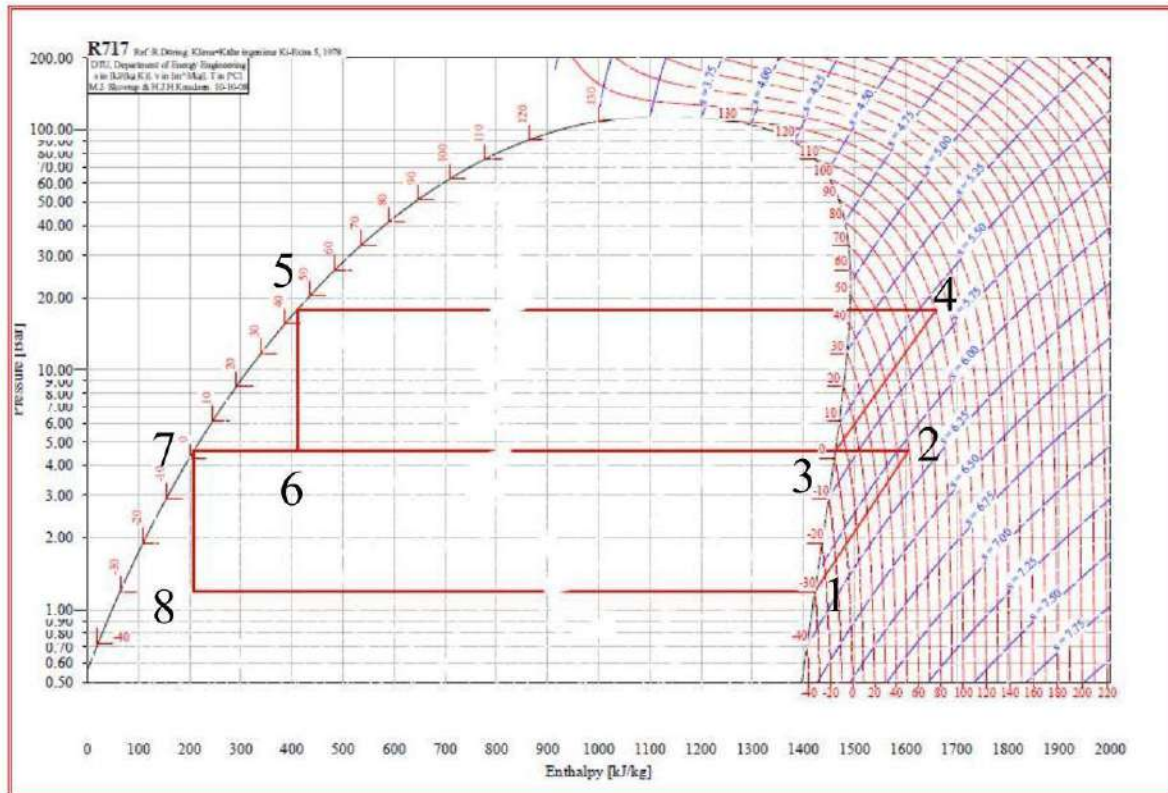
3-5-2 منظومات بمبخرين وضغطتين

Two Evaporators and Two Compressors

منظومات التثليج الانضغاطية ذات المبخرين بدرجات حرارة مختلفة ولأحمال حرارية مختلفة، وعاملة بمرحلتين انضغاط شائعة الاستخدام في مجال التثليج الصناعي، كما إنها تكون ذات كفاءة جيدة، ومثال ذلك في معمل تصنيع المنتجات الغذائية، عندما يكون أحد المبخرات بدرجة حرارة (-40°C) لتجميد السريع للمنتجات والمبخر الآخر بدرجة حرارة (-25°C) لخرن المنتجات الغذائية المجمدة. ويبين الشكل (2-17) والشكل (2-18) رسم تخطيطي ومخطط ضغط - محتوى حراري لمنظومة تثليج انضغاطية بمبخرين وضغطتين مع خزان تذير لإزالة غاز التذير والتبريد البيئي، كما يُلاحظ من الرسم التخطيطي للمنظومة إن ضغط المبخر II، هو ضغط خزان التذير، كما إن التأثير التبريدي للمبخر I سيتحسن بسبب تسلمه سائلاً مشبعاً من أسفل خزان التذير. كما أن الطاقة المصروفة في مرحلتين الانضغاط ستخفض وخصوصاً عندما يكون مائع التثليج هو الأمونيا.



شكل 17-2 دورة تثليج بمبخرين يعملان عند درجات حرارة مختلفة وضاعطين



شكل 18-2 دورة تثليج بمبخرين يعملان عند درجات حرارة مختلفة وضاعطين على مخطط الضغط - المحتوى الحراري

ويمكن حساب معامل أداء المنظومة من القانون الآتي:

$$COP = \frac{Q_{eI} + Q_{eII}}{W_{cI} + W_{cII}} = \frac{m_I \times (h_1 - h_8) + m_{II} \times (h_3 - h_6)}{m_I \times (h_2 - h_1) + m_{II} \times (h_4 - h_3)} \quad (2-25)$$

ويمكن حساب معدل تدفق مائع التثليج المار في كل ضاغط من العلاقتين أدناه:

$$m_I = \frac{Q_{eI}}{(h_1 - h_8)} \quad (2-26)$$

$$m_{II} = \frac{Q_{eII}}{(h_3 - h_6)} \quad (2-27)$$

إذ أن:

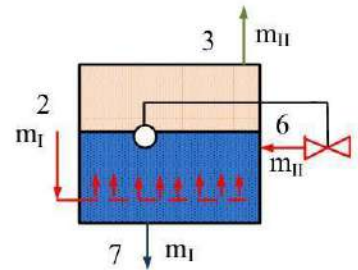
	معامل أداء الدورة	COP
kW	القدرة المبذولة على ضاغط المرحلة الدنيا	W_{cI}
kW	القدرة المبذولة على ضاغط المرحلة العليا	W_{cII}
kW	سعة المبخر الأول	Q_{eI}
kW	سعة المبخر الثاني	Q_{eII}
kg/s	كتلة مائع التثليج المارة في المبخر الأول	m_I
kg/s	كتلة مائع التثليج المارة في المبخر الثاني	m_{II}

ويمكن حساب قيمة كتلة مائع التثليج المارة في ضاغط المرحلة العليا بعد تطبيق قانون حفظ الطاقة على خزان التبريد وكما يأتي:

$$m_I h_2 + m_{II} h_6 = m_I h_7 + m_{II} h_3$$

$$m_I (h_2 - h_7) = m_{II} (h_3 - h_6)$$

$$m_{II} = \frac{m_I (h_2 - h_7)}{(h_3 - h_6)} \quad (2-28)$$



Cascade Systems

6-2 المنظومات التعاقبية

تتكون المنظومات التعاقبية من دورتي تثليج شبه مستقلتين، وكما هو مبين في الشكل (2-19) الدورة الأولى المبينة باللون الأحمر تُعد دورة خدمية تعمل عند درجات حرارة عليا، حيث يتم ضغط مائع تثليج معين من قبل ضاغط المرحلة العليا ويتم تكثيف بخاره في المكثف، ثم صمام التمدد وبعد صمام التمدد يحدث تداخل بين الدورتين، حيث يستخدم مبخر الدورة ذات درجات الحرارة العالية (المؤشر باللون الأحمر) بتبريد مكثف دورة درجات الحرارة المنخفضة (المؤشر باللون الأزرق) وبعد تبخر مائع دورة التثليج العليا يُعاد سحبه مرة أخرى وضغطه. أما دورة التثليج ذات درجات الحرارة المنخفضة (المؤشرة باللون الأزرق) تسحب مائع التثليج من المبخر ثم تضغطه وبعد ذلك يدفع إلى المكثف المرتبط بمبخر الدورة ذات درجات الحرارة العليا، فيتكثف بخار مائع التثليج ويمر عبر صمام التمدد ثم المبخر ذي درجات الحرارة الدنيا، وهكذا تستمر الدورة، ويبين الشكل (2-20) مخطط الدورة على مخطط الضغط - المحتوى الحراري ويلاحظ من الشكل أن لكل دورة مائع تثليج خاص بها لذا تم رسم كل دورة على المخطط الخاص بها. وتم استحداث هذه الدورة لغرض التخلص من سلبيات الدورة متعددة الضواغط والتي تتلخص في الآتي:

1- في الدورة متعددة الضواغط يجب استعمال مائع تثليج واحد ويجب التقيد بخواص مائع التثليج التي تشمل درجة الحرارة الحرجة ودرجة حرارة الانجماد. أي أن الهبوط بدرجات حرارة المبخر والارتفاع بدرجة حرارة التكثيف تكون محددة تبعاً للعاملين المذكورين في أعلاه.

2- إن عمل المنظومة متعددة الضواغط بمائع تثليج واحد، قد يكون بضغط عالٍ أو واطئ لا يتلاءم مع أغلب موائع التثليج باستثناء مائعي التثليج R-12 ، R-22 والأمونيا. وإذا أريد استعمال مائع آخر، فيجب أن تعمل المنظومة بضغط أو طاً من الضغط الجوي، مما يتطلب أن يكون الضاغط ذا إزاحة كبيرة، فضلاً عن تعرض المنظومة لاحتمال تسرب الهواء الخارجي إلى داخلها.

3- احتمال انتقال الزيت من ضاغط إلى آخر، مما قد يسبب عطل الضاغط.

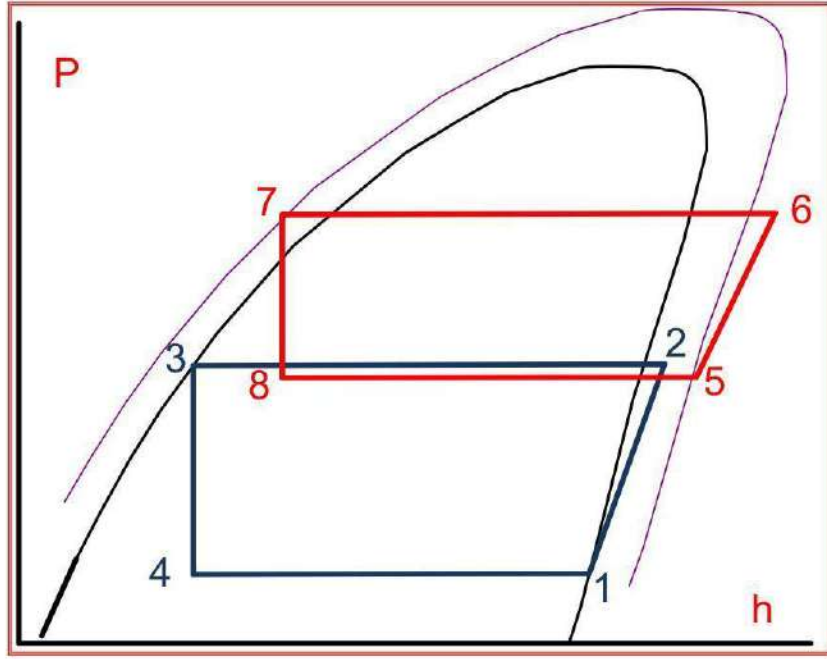
لذا فإن استخدام المنظومات التعاقبية يمكن أن يعطي المصمم حرية أكبر في اختيار درجات الحرارة العاملة عن طريق حرية اختيار مائع التثليج الملائم لكل دورة تثليج.

ومن تطبيقات المنظومات التعاقبية ما يأتي:

أ- تسييل الغازات الصناعية.

ب- صناعة الثلج الجاف.

ت- التجميد واطئ درجة الحرارة (Deep Freezing) وغيرها.

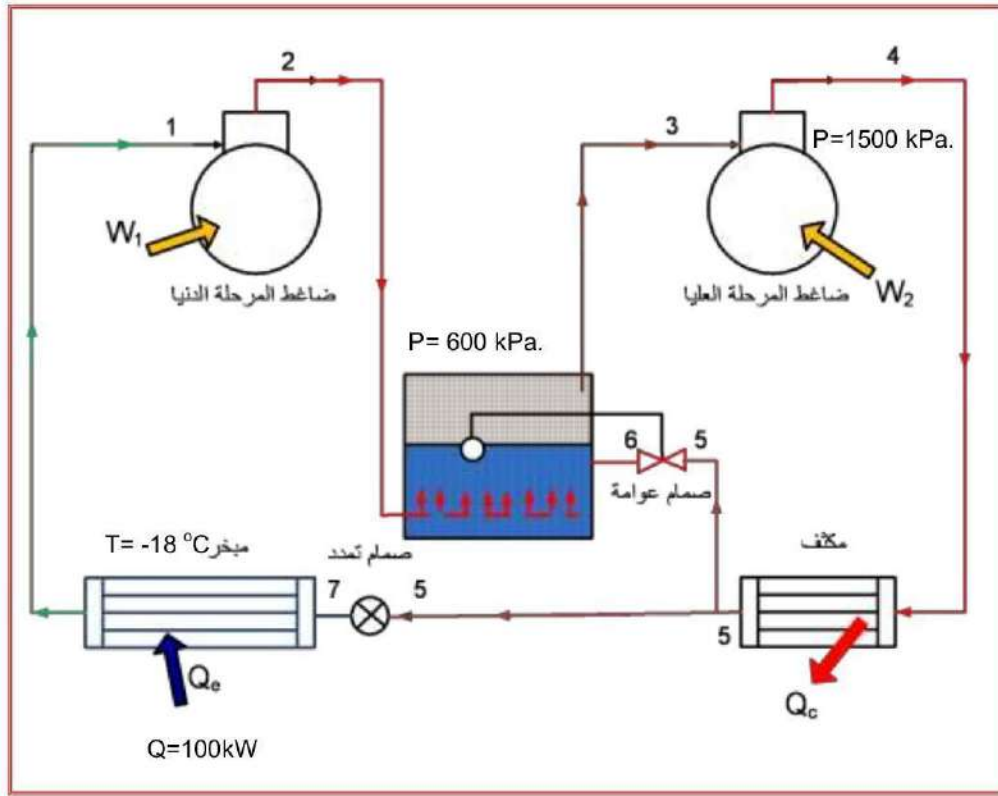


شكل 2-20 دورة التثليج التعاقبية على مخطط الضغط - المحتوى الحراري

مثال محلول (1)

منظومة تثليج تعمل بمرحلة انضغاط واحدة، سعتها 100 kW عند درجة حرارة مبخر (-30°C) وضغط تكثيف 1500 kPa، تم تطويرها إلى منظومة مركبة كما في الشكل (2-21)، وكان الضغط البيني 600 kPa، إذا كان خزان التذير يعمل كمبرد بيني وليس لإزالة غاز التذير. وعلى فرض كون المائع R-22 وحالته مشبعة عند الخروج من المبخر، المكثف، المبرد البيني وكان الانضغاط بثبات الانتروبي. احسب:

1. الطاقة المصروفة للمنظومة الاعتيادية
2. الطاقة المصروفة للمنظومة المركبة
3. قارن بين معامل الأداء للمنظومتين
4. قارن بين درجات الحرارة للمائع الداخل للمكثف في المنظومتين



شكل 2-21 منظومة المثال الأول

الحل

أولاً: عندما تكون منظومة انضغاطية بمرحلة انضغاط واحدة.

المعطيات

منظومة انضغاطية بمرحلة واحدة تعمل بمائع التثليج R-22
درجة حرارة المبخر (-30°C) ، ضغط المكثف 1500 kPa
حالة مائع التثليج مشبع عند الخروج من المبخر والمكثف، والانضغاط بثبات الانتروبي.

المطلوب

- الطاقة المصروفة للمنظومة
- معامل أداء المنظومة
- درجة حرارة المائع الخارج من الضاغط

طريقة الحل:

اعتماداً على المعطيات أعلاه، يتم تمثيل الدورة للمنظومة على مخطط ضغط - محتوى حراري للمائع R-22 وكما هو مبين بالشكل (22-2)

$h_3 = h_4$	h_2	h_1
248.4	449.9 kJ/kg	392.7 kJ/kg

تُحسب الطاقة المصروفة في المنظومة عن طريق ضرب شغل الانضغاط للمائع خلال العملية 2-1 في كتلة مائع التثليج.

$$W = m (h_2 - h_1)$$

حيث أن m هو معدل التدفق الكتلي للمائع التثليج خلال الضاغط، وهو مساوي لمعدل التدفق الكتلي للمائع m خلال المبخر. وبما إن سعة المنظومة التثليجية معلومة، وحسابها ينتج من خلال تطبيق معادلة سعة المنظومة Q_e وهي:

$$Q_e = m (h_1 - h_4)$$

إذاً قيمة m يمكن الحصول عليها

$$m = \frac{Q_e}{(h_1 - h_4)} = \frac{100}{(392.7 - 248.4)} = 0.693 \text{ kg/s}$$

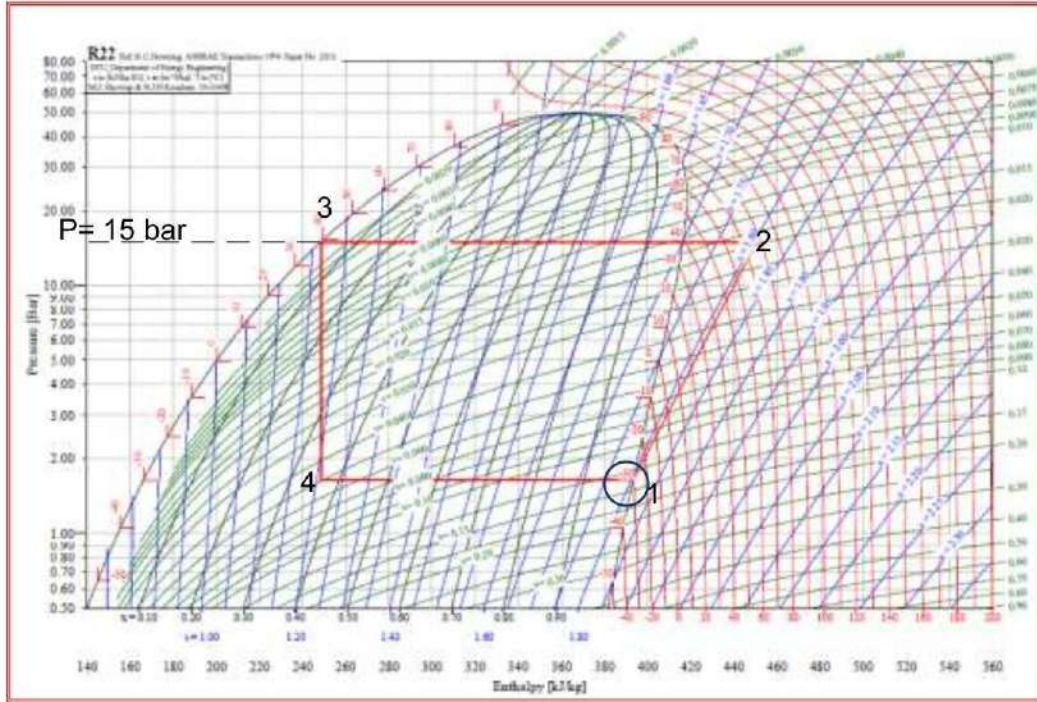
بعد معرفة قيمة التدفق الكتلي، يتم حساب طاقة الانضغاط، وذلك لمعلومية الشغل النوعي $(h_2 - h_1)$ ، لأن قيم المحتوى الحراري تم تحديدها من المخطط وكما جاء في أعلاه.

طاقة الانضغاط = معدل التدفق الكتلي × الشغل النوعي

$$W_c = m (h_2 - h_1) = 0.693 \times (449.9 - 392.7) = 39.64 \text{ kW}$$

وبعد حساب شغل المنظومة يمكن حساب معامل أدائها، لأنه يساوي السعة التثليجية للمنظومة مقسوماً على شغل الانضغاط:

$$COP = \frac{Q_e}{W_c} = \frac{100}{39.64} = 2.523$$



شكل 2-2 دورة التثليج على مخطط الضغط - المحتوى الحراري

ويمكن معرفة درجة حرارة تجهيز بخار مائع التثليج، النقطة (2) من مخطط الضغط - المحتوى الحراري الذي يساوي (76.93°C).

ثانياً: عندما تكون منظومة انضغاطية بمرحلتين انضغاط.

المعطيات

منظومة انضغاطية بمرحلتين انضغاط تعمل بمائع التثليج R-22

درجة حرارة المبخر (-30°C)، ضغط المكثف 1500 kPa

المبرد البيئي وخزان التذخير بضغط 600 kPa

حالة مائع التثليج مشبع عند الخروج من المبخر والمكثف والانضغاط بثبوت الانتروبي.

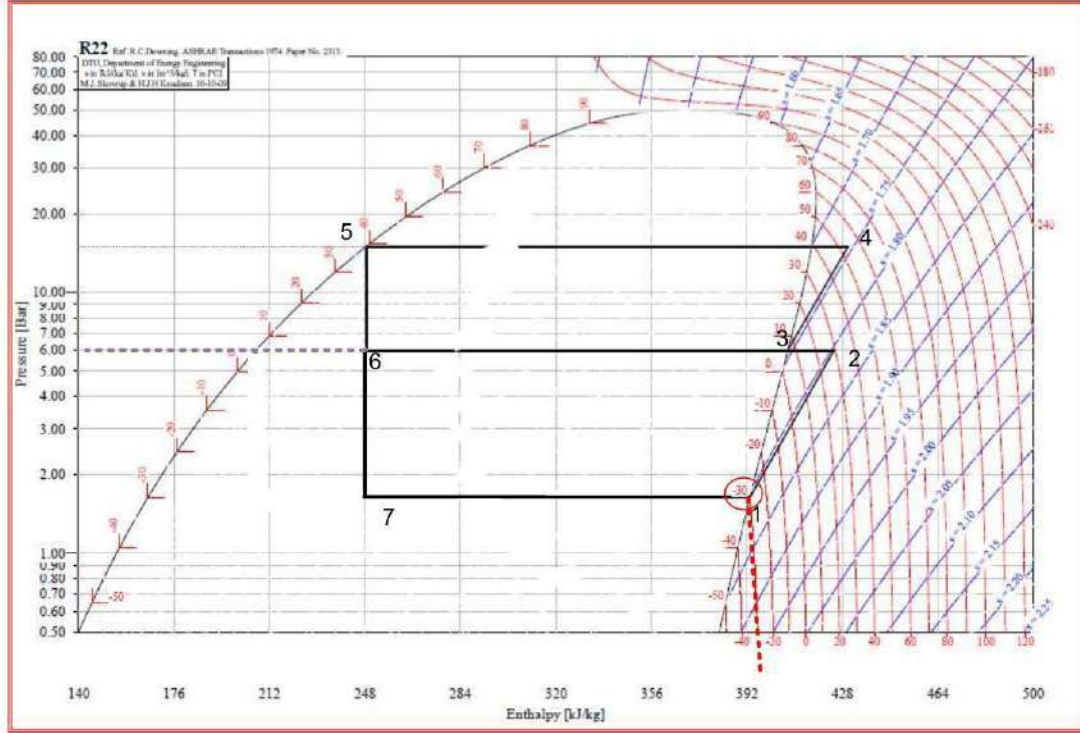
المطلوب

- 1- الطاقة المصروفة للمنظومة
- 2- معامل أداء المنظومة
- 3- درجة حرارة المائع الخارج من ضاغط مرحلة الانضغاط العالي

طريقة الحل:

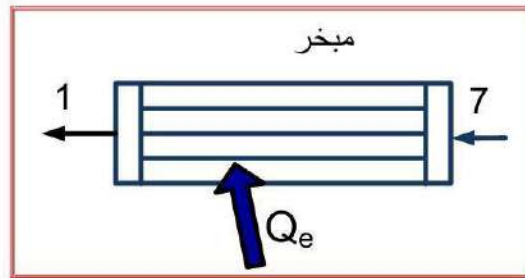
اعتماداً على المعطيات المذكورة، يتم تمثيل الدورة للمنظومة على مخطط ضغط - محتوى حراري للمائع R-22 وكما هو مبين بالشكل (23-2)

$h_5 = h_6 = h_7$	h_4	h_3	h_2	h_1
248.4	429.9	407.2	424.4	392.7



شكل 23-2 مخطط الدورة على مخطط الضغط - المحتوى الحراري

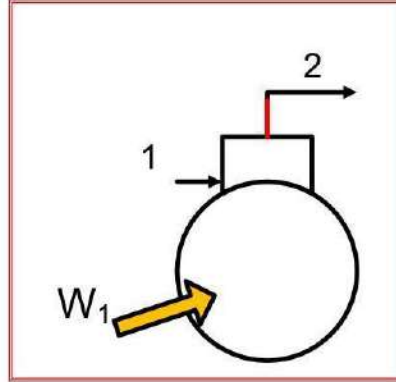
وبالاعتماد على معادلات الحل بالجزء الأول ومعادلات المادة العلمية في متن الفصل يمكن حساب معدل التدفق الكتلي خلال ضاغط المرحلة الدنيا، من خلال حساب معدل التدفق الكتلي خلال المبخر m_{el} . وتطبيق معادلة سعة المنظومة Q_e وهي :



$$Q_e = m_{el} (h_1 - h_7)$$

$$m_{eI} = \frac{Q_e}{(h_1 - h_7)} = \frac{100}{(392.7 - 248.4)} = 0.693 \text{ kg/s}$$

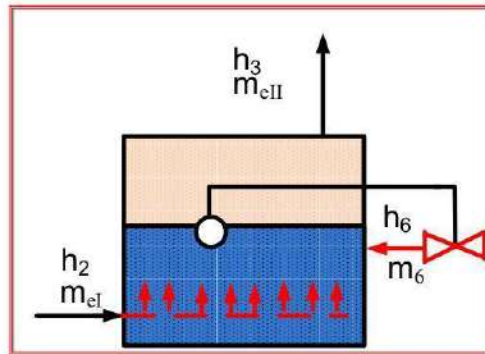
بعد معرفة قيمة التدفق الكتلي ، يتم حساب طاقة الانضغاط وكما يأتي:



$$W_1 = m_{eI} (h_2 - h_1) = 0.693 (424.4 - 392.7) = 21.97 \text{ kW}$$

إن معدل التدفق الكتلي خلال مرحلة الانضغاط العليا، m_{eII} يمكن حسابه من تطبيق معادلة حفظ

الطاقة على المبرد البيني، وكما يأتي:



$$m_{eI} + m_6 = m_{eII}$$

$$m_6 = m_{eII} - m_{eI}$$

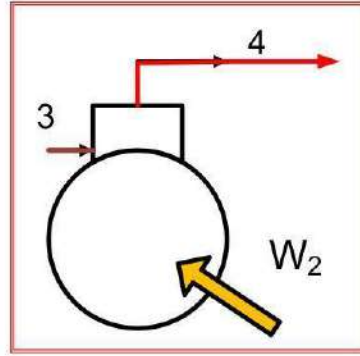
$$m_{eI} \times h_2 + m_6 \times h_6 = m_{eII} \times h_3$$

$$m_{eI} \times h_2 + (m_{eII} - m_{eI}) \times h_6 = m_{eII} \times h_3$$

$$m_{eI} \times (h_2 - h_6) = m_{eII} \times (h_3 - h_6)$$

$$m_{eII} = \frac{m_{eI}(h_2 - h_6)}{h_3 - h_6} = \frac{0.693(424.4 - 248.4)}{407.2 - 248.4} = 0.768 \text{ kg/s}$$

تحتسب الطاقة المصروفة في ضاغط المرحلة العليا كما يأتي:



$$W_2 = m_{\text{ell}} (h_4 - h_3) = 0.768 (429.6 - 407.2) = 17.2 \text{ kW}$$

وبما إن شغل الانضغاط للمنظومة يساوي شغل الانضغاط لمرحلتي الانضغاط

$$W = W_1 + W_2 = 21.97 + 17.2 = 39.17 \text{ kW}$$

$$COP = \frac{Q_{el}}{W_1 + W_2} = \frac{100}{21.97 + 17.2} = 2.553$$

إما درجة حرارة تجهيز بخار مائع التثليج من ضاغط المرحلة العليا فتستخرج من مخطط الضغط – المحتوى الحراري وتساوي (53.33°C) في حين أنها تساوي (28.94°C) بعد ضاغط المرحلة الدنيا.

من النتائج أعلاه، يلاحظ أن تبديل المنظومة من مرحلة انضغاط واحدة إلى مرحلتين انضغاط، نتج عنه ما يأتي :

- 1- لم يكن هنالك تأثير كبير في معامل الأداء COP، بل كانت نسبة الزيادة بحدود 2.1%.
- 2- هنالك تأثير كبير في درجة الحرارة الخارجة من مرحلة الانضغاط والداخلية للمكثف يساوي تقريبا (24°C).

أسئلة الفصل الثاني

س1) عرّف ما يأتي:

منظومة التثليج المركبة، المنظومة التعاقبية، غاز التذير، خزان التذير، التبريد البيني.

س2) اشرح معزراً إجابتك بالرسم مع التأشير على الأجزاء، ورسم مخطط ضغط - محتوى حراري، لكل مما يأتي:

- أ- منظومة انضغاطية تعاقبية بمرحلتين.
- ب- منظومة بمبخرين وضاعطين.
- ت- منظومة بمرحلة انضغاط واحدة ومبخرين بدرجات حرارة مختلفة.
- ث- منظومة بمرحلتين انضغاط مع خزان تذير يستخدم كمبرد بيبي.
- ج- منظومة بمرحلتين انضغاط مع إزالة غاز التذير باستخدام خزان تذير ومبادل حراري

س3) علل ما يأتي:

1. استعمال منظومة التثليج المركبة.
2. إزالة غاز التذير لمائع التثليج قبل دخوله المبخر في بعض منظومات التثليج.
3. استعمال المبرد البيبي في بعض منظومات التثليج.
4. استعمال صمام تقليل الضغط في المنظومات متعددة المبخرات والمختلفة في درجات الحرارة.

س4) للتبريد البيبي في منظومات التثليج المركبة:

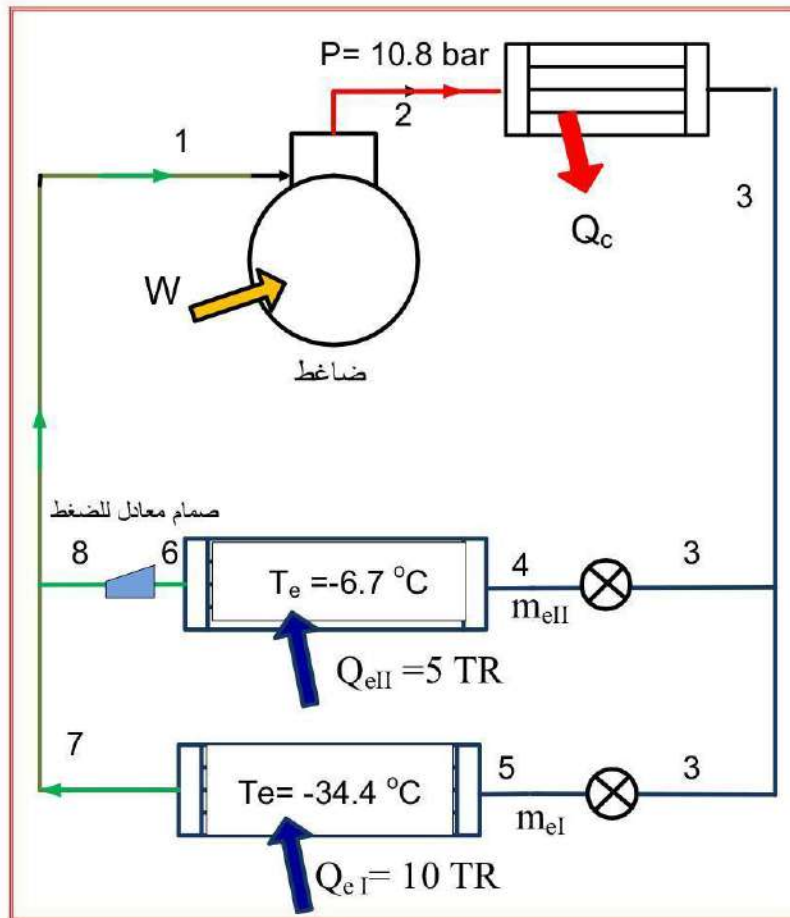
1. عدد الأنواع، موضحاً إياها بالرسم.
2. اذكر المعادلات الحاكمة لها.
3. قارن بين الأنواع المستخدمة.

س5) ما مقدار الطاقة اللازمة لضغط 20 kg/min من الأمونيا، من بخار مشبع بضغط مقداره 1.4 bar إلى ضغط تكثيف 10 bar، وباستخدام مرحلتين انضغاط وتبريد بيبي بواسطة سائل مائع التثليج عند 4 bar، إذا كان سائل مائع التثليج يترك المكثف مشبعاً، وبخاره يترك المبخر بحالة تشبع.

س6) الشكل في أدناه يمثل منظومة انضغاطية تعمل بالأمونيا كمائع تثليج، ولها مبخران يعملان بسعات ودرجة حرارة كما مؤشر بالشكل. إذا كان ضغط المكثف 10.8 bar، وعلى فرض كون الانضغاط بثبوت الإنتروبي، وإن المانع يخرج من المبخر والمكثف بحالة مشبعة، بعد تمثيل الدورة على مخطط ضغط - محتوى حراري للمائع R-717، احسب:

أ- مقدار طاقة الانضغاط بوحدة kW للمنظومة

ب- إذا تم استبدال المنظومة بأخرى تعمل بضاغطين، ما مقدار طاقة الانضغاط المطلوبة بوحدة kW.



الفصل الثالث

إزالة الجليد

Defrosting



إزالة الجليد

Defrosting

Introduction

1-3 مقدمة

إن أحد الشروط الواجب توافرها لعمل منظومة التثليج الانضغاطية بشكل سليم وأمين، هو عودة مائع التثليج ليدخل الضاغط من المبخر على شكل بخار، وهذا يتطلب أن يتبخر مائع التثليج بشكل كامل. وحتى تتم عملية التبخر، يجب أن تسهل عملية انتقال الحرارة من الحيز المطلوب تبريده عبر جدار المبخر إلى مائع التثليج المار خلال المبخر (أي أن تكون المقاومة الحرارية بين مائع التثليج والحيز المبرد أقل ما يمكن وحسب التصميم الأساسي للمنظومة)، ولكي تعمل المنظومة بكفاءة يجب أن تكون عملية انتقال الحرارة خلال المبخر ذات كفاءة عالية، ومن العوامل المؤثرة في هذه الكفاءة تراكم الأوساخ والجليد على سطح ملف المبخر.

إن قيمة العزل الحراري للجليد تعتمد بشكل أساسي على وجود الهواء بداخله (لأن الهواء ذو موصلية رديئة لانتقال الحرارة) وكذلك سمك طبقة الجليد المتكونة فوق ملف المبخر. إن الجليد تحت درجة حرارة الصفر السيليزي بقليل سيكون خفيف الوزن كبير الحجم لاحتوائه على كمية كبيرة من الهواء، لكنه يذوب أسرع من تلك الطبقة الصلبة من الثلج الناتج عن درجات الحرارة المنخفضة.

إن عملية إذابة الجليد تُعد من الضروريات الواجب تنفيذها، ففي بعض الثلاجات والمجمدات المنزلية تتم يدوياً وبشكل منتظم رغم إنها تسبب بعض الإشكالات البسيطة من خلال إيقاف الجهاز وترك المبخر معرضاً للجو الخارجي لفترة من الزمن إلى أن يذوب الجليد ثم ينظف ويعاد تشغيله. ويمكن أن تزداد سرعة ذوبان الجليد بوضع إناء يحتوي على ماء ساخن في المبخر. وتجدر الإشارة إلى ضرورة الابتعاد عن إزالة الجليد من المبخر باستخدام أدوات حادة، كي لا يتضرر سطح المبخر ويتسرب مائع التثليج منه.

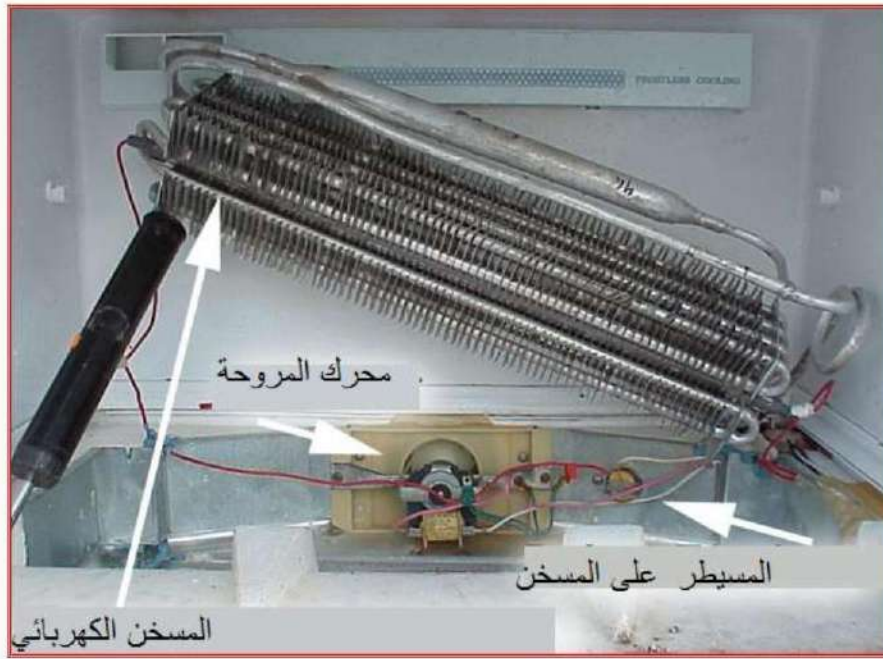
Automatic Defrost Methods

2-3 طرائق إزالة الجليد التلقائية

إن الأجهزة التجارية واغلب الأجهزة المنزلية الحديثة تكون مزودة بمعدات إذابة الجليد التلقائية، وبشكل عام هنالك العديد من الطرائق لإزالة الجليد من المبخر، ويمكن أن تقسم إلى قسمين هما:

1-2-3 إذابة الجليد باستخدام المسخنات الكهربائية

في وحدات التثليج ذات السعات الصغيرة، تكون هنالك مسخنات كهربائية حول المبخر، وكما موضح بالشكل (1-3)، قسم منها تكون بتماس مع الزعانف وأخرى في حوض المبخر. تكون هذه المسخنات مربوطة على التوازي لكي يكون عملها مضمون إذا تعطل أو تلف أحدها، ويستخدم مع هذه المنظومة مؤقت زمني (Timer) أو منظم درجة حرارة ثلاثي (Defrost Thermostat).



شكل 1-3 المسخن الكهربائي لإذابة الجليد

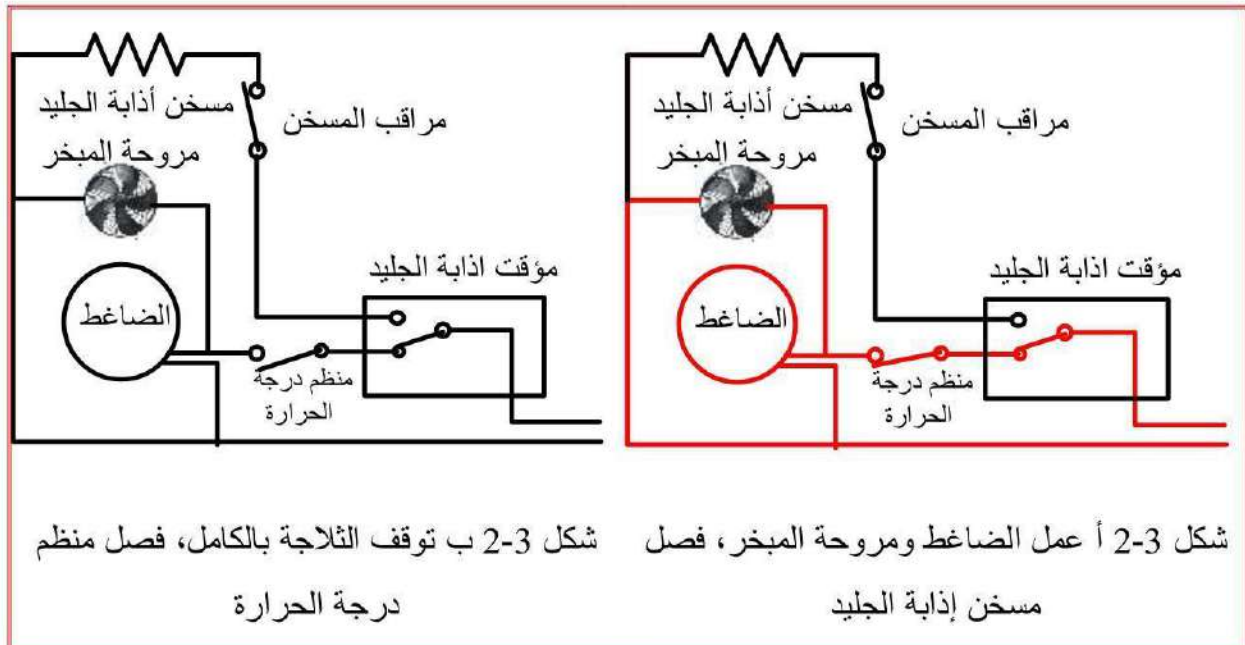
إن المسخنات هي عبارة عن مقاومة كهربائية تلامس معدن المبخر من الخارج أو بين أنابيب المبخر مع الأخذ بنظر الاعتبار وجوب العزل الكهربائي بين المقاومة ومعدن المبخر.

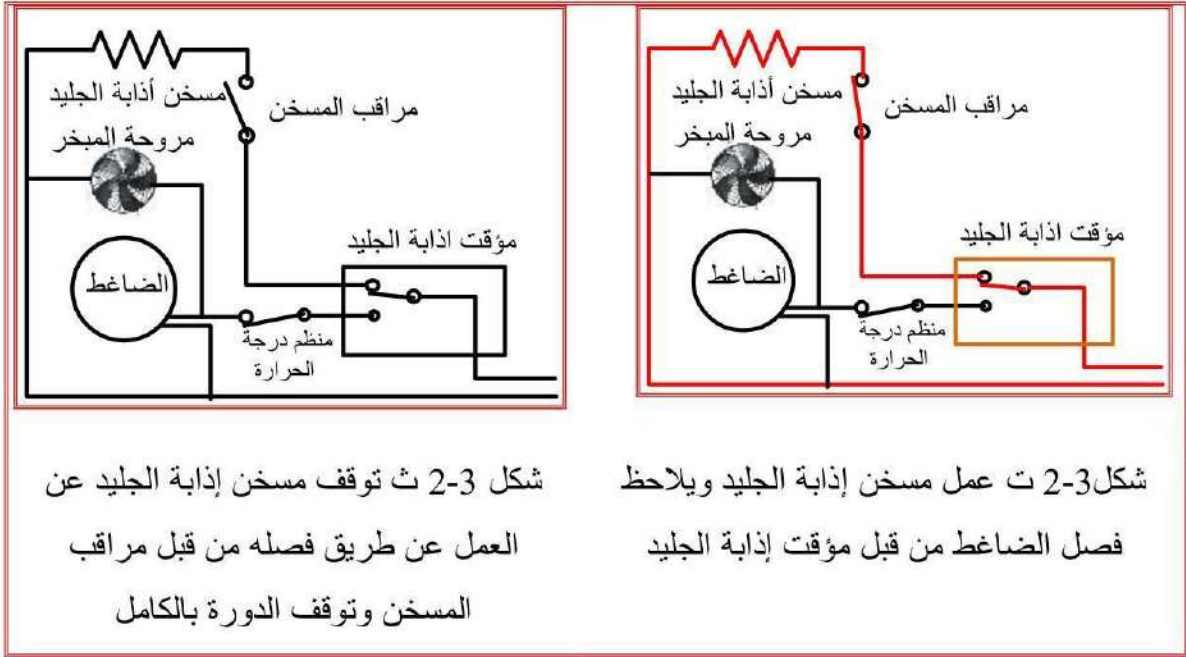
إن استخدام منظم درجة الحرارة الثلاثي (كما في الثلاجات ذات البابين)، يقوم بفصل التيار عن الضاغط عند انخفاض درجة الحرارة وإيصال التيار إلى المسخن. وعند عمل المسخن يقوم الجليد بامتصاص الحرارة متحولاً إلى ماء، وبعد أن تتم إذابة جميع الجليد وترتفع درجة الحرارة في الثلاجة، حينها يقوم المنظم بفصل التيار عن المسخن وتوصيل دائرة التثليج (الضاغط)، وحسب التنظيم الذي بُني عليه المنظم. إما عند استخدام المؤقت (Timer) كما هو الحال في الثلاجات التي يطلق عليها اسم No-Frost والتي تستخدم مبخرات مزعفة ومروحة لتحريك الهواء، تكون وظيفة المؤقت هي تنظيم إيصال التيار بين منظومة التبريد (الضاغط) ودائرة التدوير (المسخن)، حيث أنه في فترة فصل التيار عن الضاغط يتم إيصال التيار إلى المسخن ليعطي الحرارة اللازمة لإذابة الجليد.

إن عمل المؤقت يعتمد بشكل أساسي على الوقت المحدد لعملية التثليج وكذلك إذابة الجليد، حيث يعمل لفترة تثليج بحدود سبع ساعات أو أكثر مع فترة إذابة بحدود نصف ساعة أو أقل وحسب نوع المؤقت وتصميمه.

ويبين الشكل (2-3) طريقة السيطرة على الدائرة الكهربائية للثلاجة المذيبة للجليد تلقائياً ويمكن تلخيص عمل دورة إذابة الجليد كما يأتي:

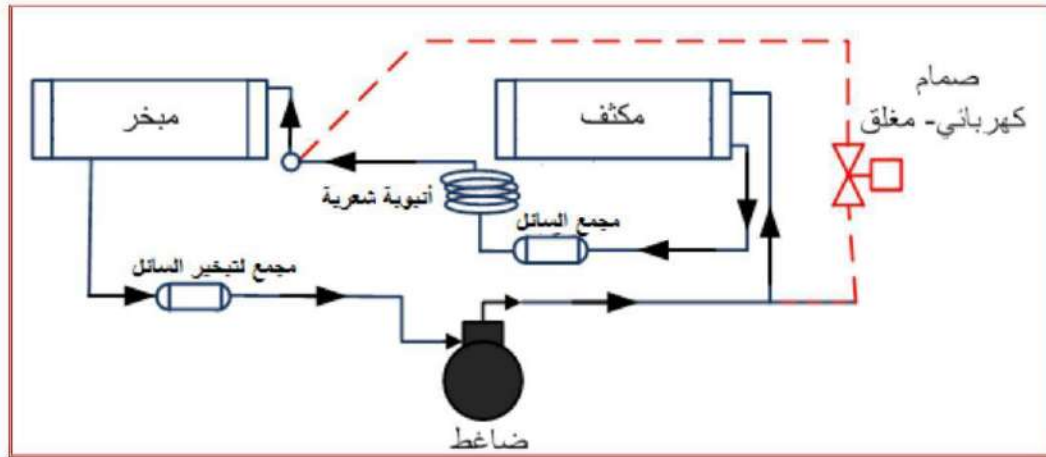
هنالك ثلاث حالات في ثلاجة إذابة الجليد تلقائياً هي دورة عمل وإطفاء الضاغط، التي من خلالها يتم السيطرة على عمل الضاغط، وكما هو مبين في الشكل (2-3 أ) الذي يبين عمل دورة التثليج بشكل طبيعي، أما الشكل (2-3 ب) فيبين توقف ضاغط ثلاجة إذابة الجليد تلقائياً بسبب وصول درجة حرارة الحيز المثلج إلى درجة الحرارة المطلوبة عندها يفصل منظم درجة الحرارة، في حين أن الشكل (2-3 ت) يبين تحسس منظم عمل المسخن بوجود جليد قد تراكم على المبخر لذا يبدأ بإيصال التيار الكهربائي إلى السلك الساخن الخاص بإذابة الجليد وعندها يفصل التيار الكهربائي عن الضاغط ويمرر التيار إلى السلك الساخن الذي يقوم بإذابة الجليد، وأخيراً الشكل (2-3 ث) الذي يبين تحسس المسيطر على عمل المسخن بارتفاع درجة الحرارة يقوم بفصل التيار الكهربائي عن المسخن مع استمرار فصل التيار الكهربائي عن الضاغط.



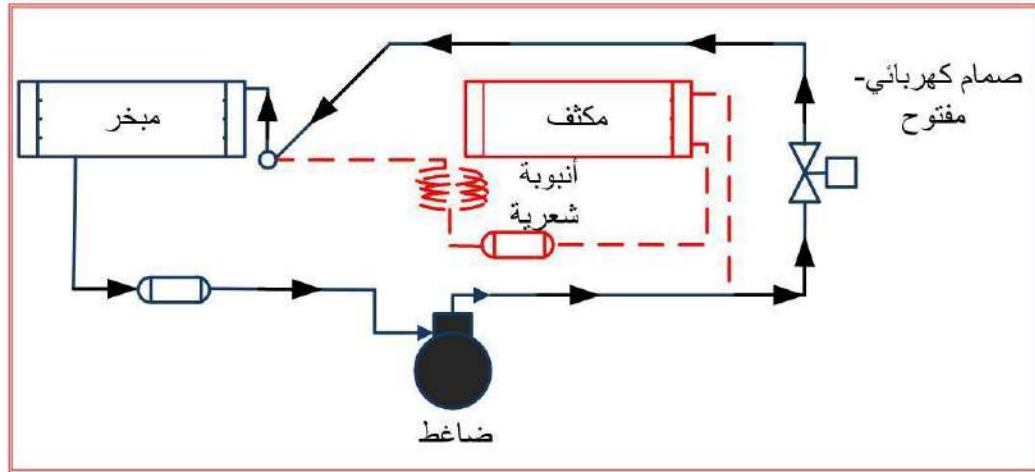


2-2-3 إذابة الجليد باستخدام الغاز الساخن

يستخدم بخار المائع الخارج من الضاغط لإذابة الجليد في المنظومات ذات السعات الكبيرة، حيث يمرر الغاز الساخن إلى المبخر بواسطة صمام ذي ملف لولبي كهربائي (Solenoid Valve) مباشر كما موضح بالإشكال (3-3)، (4-3) حيث يربط ملف الصمام مع مؤقت زمني، يتم فتح الصمام عند بدء عملية إذابة الجليد ثم يغلق. ويلاحظ إن المنظومة تستمر بالعمل في أثناء عملية إزالة الجليد بعكس إزالة الجليد باستخدام المسخنات الكهربائية التي تتطلب توقف المنظومة عن العمل. إلا أن مراوح المبخر يجب فصلها عن العمل في كلتا الطريقتين. ومن الشكل (3-3) نلاحظ عملية تبريد طبيعية في المنظومة، حيث يدفع بخار مائع التثليج من الضاغط إلى المكثف ثم الأنبوب الشعري فالمبخر ومنها إلى الضاغط. ويلاحظ غلق صمام الملف الكهربائي وعزل الخط ذي اللون الأحمر. أما في دورة إذابة الجليد الموضحة في الشكل (4-3) فيلاحظ عند عمل المؤقت ترسل إشارة إلى صمام الملف اللولبي ليفتح وعندها سيذهب بخار مائع التثليج الساخن عبر صمام الملف اللولبي إلى المبخر مباشرة، دون مروره بالمكثف وتستمر العملية فترة معينة من الزمن بعد ذلك يغلق الصمام وتستمر الدورة كما هو معتاد.



شكل 3-3 منظومة إزالة الجليد باستخدام الغاز الساخن- حالة عمل اعتيادية

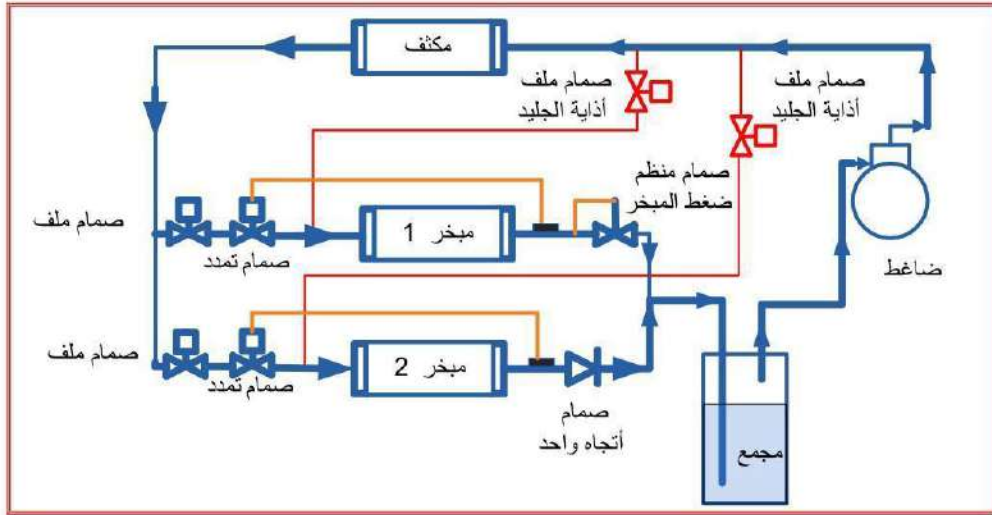


شكل 3-4 منظومة إزالة الجليد باستخدام الغاز الساخن- حالة إذابة الجليد

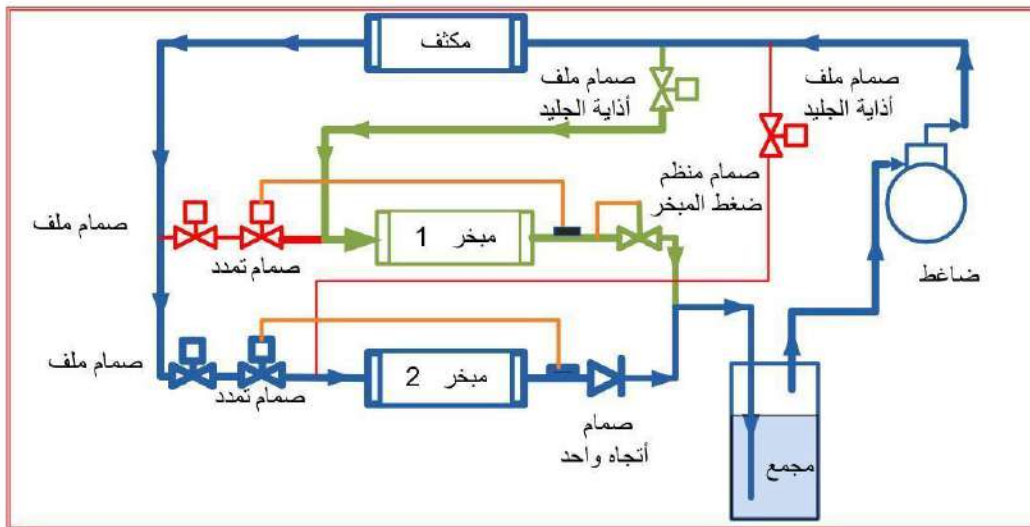
وفي حالة وجود أكثر من مبخر عامل في الدورة فنتم السيطرة على إذابة الجليد بعدة صمامات ملف كهربائي، وكما مبين في الشكل (3-5)، ويمكن تلخيص عملية إذابة الجليد بالخطوات التالية، في حال عدم وجود جليد على أي من المبخرات يعمل الضاغط لدفع بخار مائع التثليج إلى المكثف، ومنه إلى صمام الملف الكهربائي لكلا المبخرين ومن ثم إلى صمام التمدد لكل مبخر، وتتم عملية التثليج وتبخير سائل مائع التثليج، ومن ثم دفع البخار إلى الضاغط، وكما هو مبين في الشكل (3-5 أ).

أما في حال تراكم الجليد على المبخر رقم (1) فيتحسس أو يعمل الموقت المسيطر على صمام الملف الكهربائي المرتبط بالمبخر رقم (1) وتغلق الصمامات الأخرى الموجودة على مدخل المبخر رقم (1) ويبدأ بخار مائع التثليج بالمرور مباشرة إلى المبخر الأول كما هو مبين في الشكل (3-5 ب) في اللون الأخضر، في حين أن المبخر رقم (2) يستمر بالعمل، والحالة الأخيرة هي عند تراكم الجليد على المبخر رقم (2) فعندها يفتح صمام الملف الكهربائي الخاص بإذابة جليد المبخر رقم (2) ويغلق الصمام

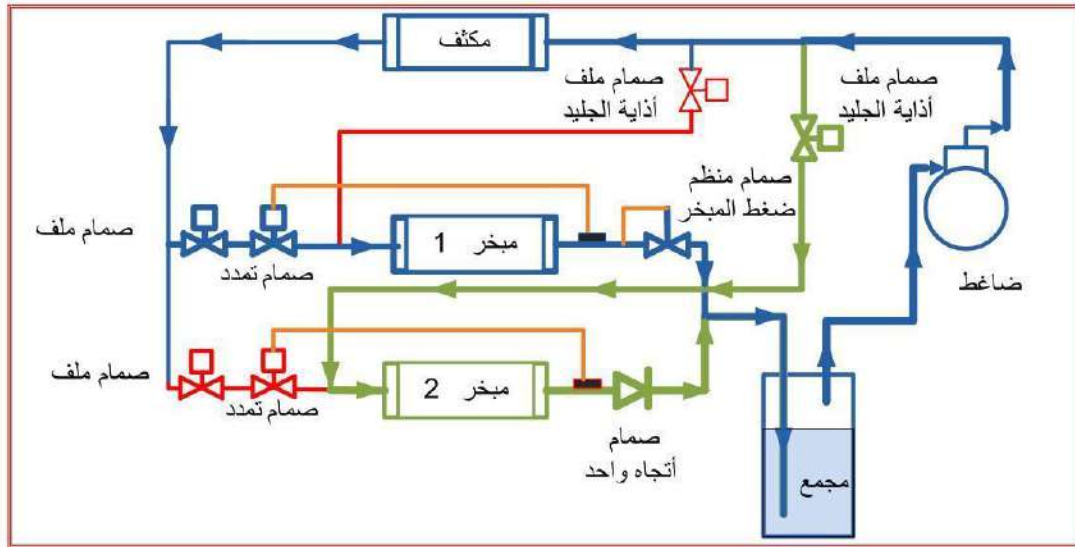
المثبت على مدخل المبخر رقم (2) وعندها يمر بخار مائع التثليج مباشرة إلى المبخر رقم (2) وكما مؤشر باللون الأخضر في الشكل (3-5 ت)، ويلاحظ من الشكل استمرار عمل المبخر رقم (1)، ويمكن أن تحدث حالة رابعة وهي إذابة الجليد على كل من المبخرين العاملين، ويفضل عدم اللجوء إلى هذه الحالة كونها تشكل جهداً على الضاغط، لذا جرت العادة على إذابة الجليد من على المبخرات بخطوات متتابعة.



شكل 3-5 أ كلا المبخرين عاملان في الدورة



الشكل 3-5 ب إذابة الجليد من على المبخر رقم (1) واستمرار عمل المبخر رقم (2)



شكل 3-5 ت إذابة الجليد من على المبخر رقم (2) واستمرار عمل المبخر رقم (1)

3-3 أسباب تراكم الجليد

إن المصدر الأساسي لتراكم الجليد على المبخر هو الهواء الرطب، حيث أن بخار الماء في الهواء يتكثف عند هبوط درجة حرارته إلى نقطة الندى، وبالتالي تكثفه على ملف التبريد ومن ثم انجماده عند درجات الحرارة المنخفضة ومنها يتكون الجليد، ولتلافي تراكم الجليد على المبخر أو التقليل منه يجب عدم السماح لدخول الهواء إلى المبخر وذلك من خلال عدم فتح باب الثلاجة إلا للضرورة ولفترات قصيرة جداً. إضافة لعملية تغليف المواد الغذائية بعوازل كي لا تفقد الماء الذي تحتويه مما يسبب تكون الجليد وتلف المواد الغذائية، لذلك يتم تصميم باب الثلاجة ليمنع دخول الهواء من خلال تزويده بشريط يصنع من المطاط المرن المانع لتسرب الهواء ويثبت بمادة لاصقة أو بمغناطيس.

أسئلة الفصل الثالث

س1:

ناقش تأثير الأوساخ والجليد المتراكم على أداء منظومة التثليج.

س2:

اشرح مستعيناً بالرسم طرائق إزالة الجليد باستخدام:

أ- المسخنات الكهربائية.

ب- الغاز الساخن.

س3:

علل ما يأتي:

أ- انخفاض كفاءة منظومة التثليج عند تراكم الجليد على مبخر المنظومة.

ب- إزالة الجليد من مبخرات منظومات التثليج.

ت- إمرار الغاز الساخن في بعض مبخرات منظومات التثليج.

ث- ذوبان الجليد من المبخر عند إمرار الغاز الخارج من الضاغط.

س4:

وضح بالرسم دائرة سريان مائع التثليج ذات الإذابة

أ- باستخدام الصمام اللولبي الكهربائي لمنظومة بمبخر واحد.

ب- لمنظومة متعددة المبخرات.

الفصل الرابع

حفظ الأغذية

Food Preservation



حفظ الأغذية

Food Preservation

Introduction

1-4 مقدمة

يعرف حفظ الأغذية على أنه عملية منع أو تعطيل تلفها بطريقة أو بأخرى، لهذا من الضروري معرفة الأسباب التي تؤدي للتلف حتى يمكن اختيار وتطوير طرق المحافظة عليها. إن تلف المنتجات الغذائية يتسبب في انخفاض الجودة والنوعية، وبالتالي نقص في القيمة التجارية والخسارة الاقتصادية. في خمسينيات القرن الماضي بينت بعض الدراسات في الولايات المتحدة الأمريكية، ضخامة الخسائر المالية بسبب تلف المحاصيل الزراعية، كما أوضحت هذه الدراسات إن أسباب التلف تعود إلى سوء النقل والخزن والحفظ، لذلك تمت الدعوة لإيجاد طرق متطورة للتقليل من هذه الخسائر، ولذلك اتجهت البحوث والدراسات لدراسة طرائق الخزن والتبريد بشكل علمي. وتم التركيز على دراسة العمليات الكيميائية والبيولوجية التي تحدث للمنتج عند خزنه، ومن المعروف أن الفواكه والخضر التي تُعد من المنتجات الحية تستمر في عملياتها البيولوجية حتى عند خزنها، ولهذا يحدث تولد للحرارة الكامنة والمحسوسة في المخزن المبرد، كما يتأثر المنتج الزراعي عند خزنه بعدة عوامل منها معدل التجميد وسرعة فقدان الرطوبة منه ومدى احتوائه على الأنزيمات الطبيعية والأحياء الدقيقة الميكروبية (Microorganisms) التي تُعد من أهم العوامل التي تسبب تلف الغذاء المخزون، لذلك يجب السيطرة على هذه الكائنات لإطالة مدة الخزن إلى أكبر مدى ممكن بدون تلف للأغذية.

إن الكائنات العضوية الدقيقة من بكتيريا وأعفان وفيروسات التي توجد في الهواء والماء والتربة والأغذية الحية وغير الحية، والتي تساهم بشكل فعال في تلف المواد الغذائية، بسبب زيادة فعاليتها وخصوصاً في الأماكن الرطبة والدافئة مما يؤدي إلى فقدان الطعم وتولد الروائح والإفرازات الصمغية.

2-4 الكائنات العضوية الدقيقة

تقسم الكائنات العضوية الدقيقة التي تتسبب في تلف الأغذية إلى:

1. **البكتيريا Bacteria** وهي من أهم مسببات تلف الأغذية بالأخص تلك التي تحتوي على كميات كبيرة من الماء، في حين أن الأغذية الجافة والحامضية تولدان جواً يعيق نمو البكتيريا ولكن لا يعيق نمو الخمائر والأعفان.

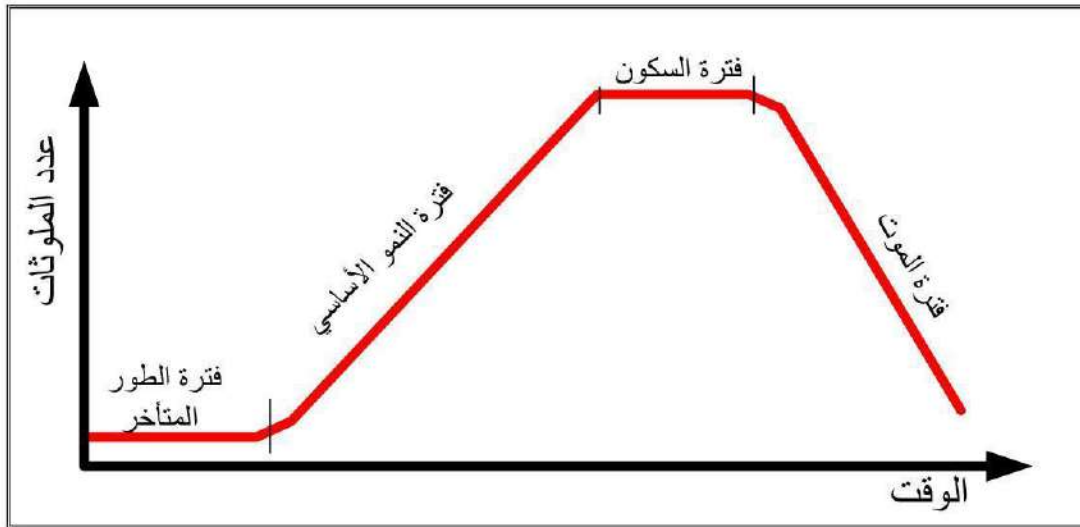
2. **الأعفان Molds** وتتكاثر بشكل كبير في الأسطح الرطبة والأجبان والأطعمة الفاسدة.
3. **الفيروسات Viruses** وتتواجد في بعض المنتجات الحيوانية وفي العاملين الذين يقومون بنقل الأغذية في المخازن المبردة. ويمكن للفيروسات أن تتكاثر بشكل كبير في الأطعمة المعرضة للجو عند التأخر عن طبخها.

3-4 فترات فساد المواد الغذائية

تقسم فترات فساد المواد الغذائية إلى:

- 1- فترة الطور المتأخر Lag Phase وهي الفترة الزمنية اللازمة للملوثات الموجودة في الطعام لكي تتأقلم مع المناخ الجديد، وتُعد هذه الفترة هي أهم فترة إذ أن طولها يعني طول فترة خزن الأغذية، أي أن فترة الخزن تتناسب طردياً مع هذه الفترة، ويجب العمل على إبطائها، لأن طول هذه الفترة يعني طول فترة الخزن.
- 2- فترة النمو الأساسي Exponential Growth وهي الفترة التي تبدأ بعد استقرار حالة الملوثات، وبعدها تبدأ كل 20 إلى 30 دقيقة إذا كانت الأجواء مناسبة.
- 3- فترة السكون Stationary: وهي الفترة التي يتوقف فيها نمو الملوثات ويبقى عددها ثابتاً.
- 4- فترة الموت Death Period وهي آخر فترة في حياة الملوثات، إذ يبدأ الطعام بالتلف والفساد ويصبح غير ملائم لنمو الكائنات العضوية الدقيقة مما يؤدي إلى موتها. ويبين الشكل (1-4) فترة الطور المتأخر وفترة النمو الأساسي وفترة الموت.

إذاً هنالك هدفان أساسيان في حفظ الأغذية هما الاحتفاظ بالغذاء في حالة استهلاكية جيدة والثاني هو الحفاظ على نوعية المنتج الغذائي من حيث المظهر والراحة والطعم والقيمة الغذائية، كما إن المواد الغذائية المطلوب حفظها يمكن أن تقسم إلى مجموعتين عند وقت الحفظ والتوزيع، الأولى مواد حية والثانية مواد ميتة، فالمجموعة الأولى مثل الفواكه والخضراوات يتم حفظها حية والعمل على التقليل من تأثير نشاط الإنزيمات لتقليل معدل نضجها، إما المجموعة الثانية (المواد الميتة) كاللحوم الحمراء ومنتجات الدواجن والأسماك، فإن تعرضها للتلف أكبر من المجموعة الأولى ولهذا فهي تحتاج لطرائق معالجة وحفظ أكثر دقة وصرامة.



شكل 4-1 فترات فساد المواد الغذائية

4-4 الطرائق القديمة لحفظ الأغذية

لقد كان حفظ الأغذية من المشكلات التي واجهت الإنسان لفترة طويلة. ولقد اكتشف الإنسان طرقاً متعددة، ومازالت تستخدم إلى يومنا هذا ومنها:

1- التجفيف الطبيعي Natural Drying

في هذه الطريقة يتم الاعتماد على إزالة الماء من المادة الغذائية، وتستخدم لحفظ بعض الخضراوات مثل الطماطم، الباميا، والباذنجان، حيث يتم تعريضها لأشعة الشمس للتجفيف ثم يتم حفظها في أماكن جافة لحين الاستخدام، فعند الحاجة لاستخدامها تغمر أولاً بالماء لإعادة طراوتها ثم تطبخ، وبما إن الأغذية تكون جافة لذا فإنها تكون وسطاً غير صالحاً لنمو الكائنات الدقيقة وبالتالي حماية الأغذية من التلف.

2- التملح Salting

في هذه الطريقة يستخدم ملح الطعام من خلال إذابته بالماء. فيغلى الماء أولاً ويبرد ثم يضاف إليه الملح وبعدها يسكب المحلول الملحي على المواد الغذائية المطلوب حفظها ثم تترك. ويستخدم هذا النوع من الحفظ بشكل واسع للأجبان واللحوم، ويمكن أن يرش الملح بشكل مباشر على اللحوم وخاصة الأسماك، ويعتمد مبدأ استخدام الملح على أن تركيز الملح عالٍ جداً ويحتاج إلى ماء كي يخفف التركيز، فعند تواجد الكائنات الحية على الأطعمة المملحة فإن الملح سيقوم بسحب الماء من خلايا الكائنات الحية وبالتالي موت الكائنات وعدم فساد الطعام.

3- التخليل Pickling

تخلل المواد الغذائية بالماء والملح والخل وتضاف إليها بعض المواد مثل الثوم للحصول على النكهة. وتستخدم هذه الطريقة لحفظ الكثير من الخضراوات مثل الخيار، القرنبيط، الفلفل الأخضر، الزيتون وغيرها. ويبين الشكل (2-4) الطرائق القديمة لحفظ الأغذية.



تجفيف اللحوم



تجفيف الخضروات



تخليل الخضروات



تمليح اللحوم

شكل 2-4 الطرائق القديمة لحفظ الأغذية

4-5 الطرائق الحديثة لحفظ الأغذية

هناك الكثير من العيوب في الأغذية المحفوظة بالطرائق القديمة كالتغير في المظهر والطعم والرائحة وكذلك النقص في جودتها وقيمتها الغذائية. هذا فضلاً عن الحاجة المتزايدة للغذاء بأوقات وأماكن تختلف عن أوقات وأماكن الإنتاج، كما إن أغلب المواد الغذائية تكون موسمية ويتطلب حفظها من موسمها إلى المواسم الأخرى، مما كان سبباً مباشراً للتفكير الجدي باستحداث طرائق جديدة لحفظ الأغذية بحالة جيدة ولفترات طويلة نسبياً. ومن الطرائق الحديثة لحفظ المواد الغذائية التجفيف، التعليب، التثليج، والتجميد.

1- التجفيف Drying or Dehydration

إن تخلص المادة الغذائية من الماء أو الرطوبة يساهم بشكل فعال بإيقاف نمو وتكاثر الإنزيمات والفيروسات والأحياء الدقيقة، مما يسهل عملية المحافظة على جودتها وقيمتها الغذائية لفترات زمنية طويلة. لقد تطورت صناعة التجفيف للمواد الغذائية بشكل ملحوظ في الفترة الأخيرة وقد دمجت مع التجميد لتصبح عملية التجميد والتجفيف Freeze- Drying. وهي طريقة يتم من خلالها فصل الماء عن المادة عندما تكون بحالة التجميد ثم بواسطة عملية التسامي تحت ضغط خوائي Vacuum. تتم العملية من خلال التجميد السريع ثم يتم تحويل السائل من حالته الصلبة إلى الحالة البخارية بإضافة الحرارة اللازمة للتسامي وسحب البخار من خلال مضخات خوائية.

2- التعليب Canning

يعتبر التعليب من أهم الطرائق المستخدمة لحفظ المواد الغذائية وأوسعها انتشاراً، التعليب هو عملية وضع المواد الغذائية في علب معدنية أو زجاجية تغلق بإحكام ثم تتم معاملتها بالحرارة العالية ولمدة زمنية محددة لقتل أو الحد من نشاط الإنزيمات والأحياء الدقيقة التي قد تكون سبباً لتلف وفساد المواد الغذائية. إن هذه الطريقة تعتمد على قتل الأحياء الدقيقة أولاً وبعدها ضمان عدم إعادة التلوث من خلال الحفظ في أوعية معقمة ومحكمة القفل، ونظراً لطبيعة المواد الغذائية من ناحية الاستهلاك وجوانب أخرى لا يمكن أن تعمم هذه الطريقة على جميع المواد الغذائية.

3- التثليج والتجميد Refrigeration and Freezing

تتم معاملة المواد الغذائية بدرجات حرارة منخفضة لمنع نمو ونشاط الكائنات الحية وكذلك إيقاف التفاعلات الأنزيمية التي تؤثر بشكل مباشر في خواص المواد الغذائية وتغير قيمتها الغذائية. والتثليج يُعد الطريقة الوحيدة لحفظ الأغذية بحالتها الطازجة (الأصلية)، ويختلف مقدار درجة الحرارة المنخفضة اللازمة للحفظ المناسب باختلاف المادة المخزونة والفترة الزمنية التي تحفظ فيها المادة في المخزن.

لقد تطورت عملية التثليج والتجميد للمواد الغذائية بشكل ملحوظ في السنوات الأخيرة على النطاق التجاري باستخدام غاز النيتروجين السائل الذي تصل درجة حرارته إلى (-186°C) ، حيث يمكن تجميد بعض المواد الغذائية بسرعة كبيرة مع ضمان احتفاظها بقوامها الأصلي ودون التأثير على القيمة الغذائية، ويمكن التثوية بعدم وجود طريقة محددة واحدة لحفظ الأغذية وإنما يكون حفظ الأغذية بوحدة من الطرائق المشار إليها أعلاه، اعتماداً على عدة عوامل منها نوع المنتج، مدة التخزين، الهدف من التخزين، سهولة توفير معدات التخزين والنقل من مكان إلى آخر.

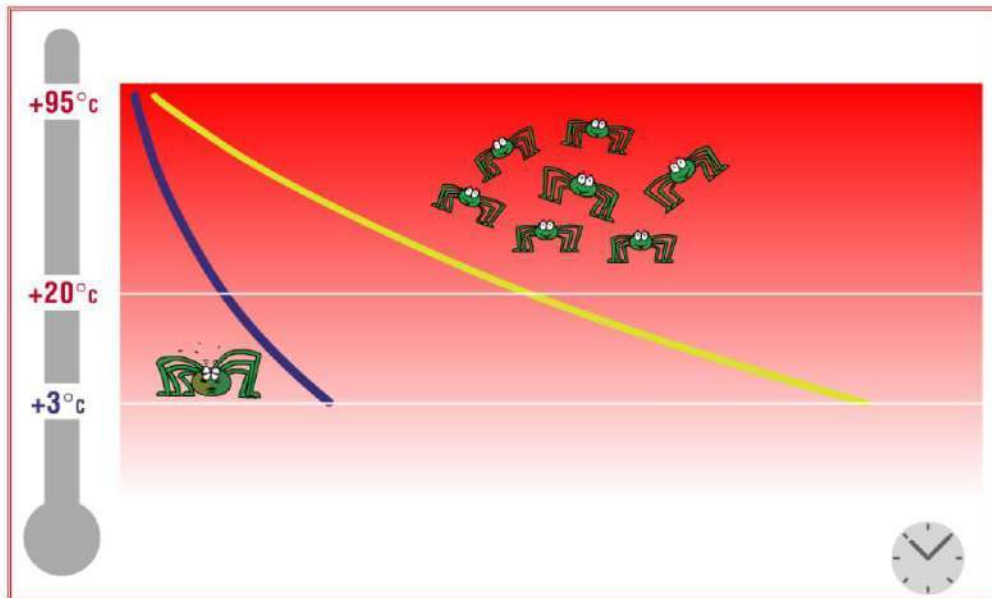
6-4 السيطرة على نمو وتكاثر الكائنات الدقيقة

تُعد درجة الحرارة والرطوبة النسبية وحركة الهواء، من أهم المتغيرات الواجب السيطرة عليها للحفاظ على المواد الغذائية من التلف وبالأخص المواد غير المغلفة. كما إن ظروف الحفظ المثلى للمادة الغذائية تعتمد على نوعية المادة ومدة الحفظ المطلوبة. وتوضح الجداول (1-4)، (2-4) و(3-4) ظروف الحفظ لبعض المواد الغذائية من خضراوات وفواكه ولحوم والمعمدة من قبل الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة والتثليج وتكييف الهواء (ASHRAE). ويمكن السيطرة على نمو هذه الكائنات عن طريق السيطرة على المتغيرات الآتية:

1- درجة الحرارة Temperature

وهي من العوامل المهمة في نمو وتكاثر الكائنات الدقيقة، حيث أن الجو الأمثل لنمو هذه الكائنات يتراوح من (20 إلى 60)°س، وتموت هذه الكائنات إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى ما فوق (70°C). ويُعد التبريد هو الوسيلة الناجحة للسيطرة على نمو هذه الكائنات والوصول إلى درجة حرارة مقدارها (4°C) هي الدرجة المثلى، وعند ارتفاع هذه الدرجة يزداد نشاط هذه الكائنات، ويبين الشكل (3-4) مخطط لدرجات الحرارة المؤثرة في نشاط الكائنات الحية في الطعام.

ويتضح من جداول ظروف الحفظ المشار إليها إن درجة الحرارة المثلى لحفظ معظم المنتجات الحية أعلى بمقدار بسيط من درجة انجماد تلك المواد، وإذا تم حفظها بدرجات حرارة مغايرة لتلك الموصى بها تتعرض بعض المواد المخزونة (الخضراوات والفواكه) لما يسمى بأمراض التخزين البارد فتصاب الحمضيات مثلاً بتآكل القشرة Rind Pitting إذا خُزنت عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة تخزينها.



شكل 3-4 مخطط لدرجات الحرارة المؤثرة على نشاط الكائنات الحية في الطعام.

2- الرطوبة النسبية Relative Humidity

يجب تجنب الرطوبة العالية في المخازن المبردة، حيث أن تكثف بخار الماء على السطوح الداخلية للغرف المبردة والسقوف يساعد على نمو الأعفان واستقرارها في تراكيب الجدران والسقوف. فضلاً عن سقوط قطرات الماء على المنتج وإتلافه.

إن من أهم العوامل التي تؤدي لتلف المواد الغذائية هو فقدانها للرطوبة في أثناء فترة الحفظ، إذ تصاب بما يسمى جفاف السطح Desiccation، فإذا تعرضت الفواكه والخضراوات إلى هذه العملية، فإنها ستفقد جزءاً كبيراً من وزنها وقيمتها الغذائية، أما جفاف السطح في اللحوم والدواجن فيسبب تغير اللون والانكماش مع زيادة عملية الأكسدة داخل المادة الغذائية والتعجيل بسرعة تلفها.

إن متطلبات الرطوبة النسبية داخل غرف حفظ المواد الغذائية يجب أن تكون عالية، وكذلك سرعة حركة الهواء يجب أن تكون بطيئة. إن الرطوبة النسبية العالية مطلوبة لتجاوز عملية جفاف السطح ولكنها تكون عامل مساعد للنشاط الميكروبي، ولهذا يجب أن تتم عملية اختيار قيمة الرطوبة النسبية داخل غرف الحفظ بعناية، إذا أريد المحافظة على القيمة الغذائية والنوعية للمواد المخزونة.

جدول 1-4 ظروف الحفظ (التخزين) للحوم والأسماك

المنتج	درجة حرارة الحفظ (°C)	الرطوبة النسبية %	درجة التجميد (°C)	زمن الحفظ
لحم بقر طازج	0 إلى 1	88 إلى 92	- 2.7	1 إلى 6 أسبوع
لحم بقر - كبد	0	90	- 1.7	5 يوم
لحم عجل	0 إلى 1	90	- 2.7	1 إلى 7 أسبوع
لحم بقر مجمد	- 18 إلى - 23	90 إلى 95	- 2.7	6 إلى 12 شهر
لحم ضأن طازج	0	85 إلى 90	- 2.2	5 إلى 12 يوم
لحم ضأن مجمد	- 18 إلى - 23	90 إلى 95	- 2.7	8 إلى 12 شهر
لحوم دواجن طازجة	- 2 إلى 0	85 إلى 90	- 2.8	1 أسبوع
لحوم دواجن مجمدة	- 18 إلى - 23	90 إلى 95	- 2.8	8 إلى 12 شهر
سمك طازج	- 1 إلى 1	95 إلى 100	- 2.8	4 إلى 5 يوم
سمك مجمد	- 18 إلى - 29	90 إلى 95	- 2.2	6 إلى 12 شهر
محار	- 18 إلى - 29	90 إلى 95	- 2.2	12 يوم
روبيان	- 1 إلى 1	95 إلى 100	- 2.2	12 إلى 14 يوم

جدول 2-4 ظروف الحفظ (التخزين) للخضراوات

المنتج	درجة حرارة الحفظ (°C)	الرطوبة النسبية %	درجة التجميد (°C)	زمن الحفظ
فاصوليا	7 إلى 10	95 إلى 100	- 0.7	7 إلى 10 يوم
جزر	0	98 إلى 100	- 1.4	4 إلى 6 أسبوع
قرنبيط	0	95 إلى 100	- 0.8	2 إلى 4 أسبوع
كرفس	0	95 إلى 100	- 0.5	1 إلى 2 شهر
أذرة حلوة	0	95 إلى 100	- 0.6	4 إلى 8 يوم
خيار	10	95 إلى 100	- 0.5	10 إلى 14 يوم
باننجان	7 إلى 10	90 إلى 95	- 0.8	7 يوم
ثوم جاف	0	65 إلى 70	- 0.8	6 إلى 7 شهر
لهانة	0	95	- 0.5	3 إلى 4 أسبوع
كراث	0	95	- 0.7	1 إلى 3 شهر
خس	0	95 إلى 100	- 0.2	2 إلى 3 أسبوع
فطر	0	95	- 0.9	3 إلى 4 يوم
بصل جاف	0	65 إلى 70	- 0.8	1 إلى 8 شهر
بزاليا جافة	10	70	---	6 إلى 8 شهر
فلفل حلو	7 إلى 13	90 إلى 95	- 0.7	2 إلى 3 أسبوع
بطاطس	7	90 إلى 95	- 0.7	10 إلى 14 يوم
بطاطس حلوة	13 إلى 16	85 إلى 90	- 1.3	4 إلى 6 شهر
قرع	31	85 إلى 90	- 0.8	2 إلى 3 شهر
فجل	0	90 إلى 95	- 0.7	3 إلى 4 أسبوع
سبانخ	0	90 إلى 98	- 0.3	1 إلى 2 أسبوع
طماطم	5 إلى 7	90 إلى 95	- 0.5	3 إلى 7 يوم

جدول 3-4 ظروف الحفظ (التخزين) للفواكه

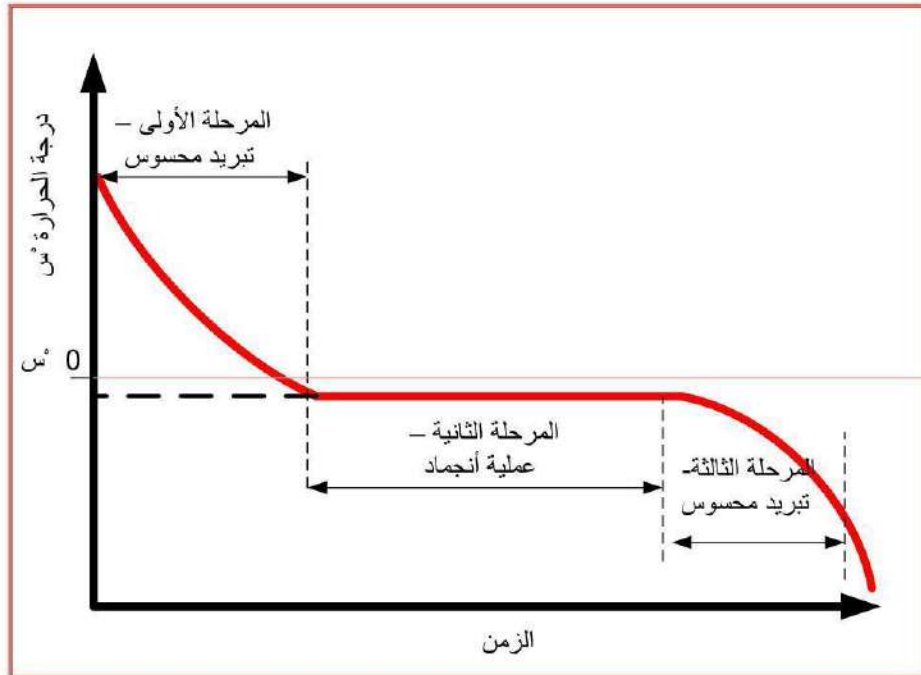
المنتج	درجة حرارة الحفظ (°C)	الرطوبة النسبية %	درجة التجميد (°C)	زمن الحفظ
التفاح	1 إلى 4	90 إلى 95	- 1.1	3 إلى 8 شهر
المشمش	0	59 إلى 90	- 1.1	1 إلى 2 أسبوع
الموز	--	85 إلى 95	- 0.8	2 إلى 3 يوم
البطيخ	7 إلى 10	85 إلى 95	- 1.1	4 إلى 6 أسبوع
جوز الهند	0 إلى 2	80 إلى 85	- 0.9	1 إلى 2 شهر
الكرز	0 إلى -1	95	- 1.8	2 إلى 3 أسبوع
التوت	2 إلى 4	90 إلى 95	- 0.9	2-4 أشهر
الزبيب	-0.5 إلى 0	90 إلى 95	- 1	10 إلى 14 يوم
التمر	0 إلى -18	75 أو أقل	-16	6 إلى 12 شهر
التين الجاف	0 إلى 4	50 إلى 60	-----	9 إلى 12 شهر
التين الطازج	-1 إلى 0	85 إلى 90	- 2.4	7 إلى 10 يوم
العنب	-1 إلى 0	95 إلى 100	- 2	3 إلى 6 شهر
العسل	7 إلى 10	90	- 0.9	3 إلى 4 أسبوع
الليمون	9 إلى 10	85 إلى 90	- 1.4	1 إلى 6 أسبوع
الزيتون	7 إلى 10	85 إلى 90	- 1.4	4 إلى 6 أسبوع
البرتقال	5	85 إلى 90	- 1.4	4 إلى 6 أسبوع
الكمثري	-1.6 إلى 0	90 إلى 95	- 1.6	2 إلى 6 شهر
الأناناس	7	85 إلى 90	- 1	1 إلى 4 أسبوع
الخوخ	-0.5 إلى 0	90 إلى 95	- 0.8	1 إلى 4 أسبوع
الزمن	0	90	- 3	2 إلى 4 شهر
الفراولة	0	90 إلى 100	- 0.8	5 إلى 7 يوم

Refrigeration and Freezing of Food

7-4 تثليج وتجميد الأغذية

عند تثليج الأغذية عند درجات حرارة تتراوح من 1 إلى 4°س فإن فترة الخزن تستمر عدة أيام، أما عند درجات حرارة تتراوح من -18 إلى -35°س فإن فترة الخزن تستمر عدة أسابيع إلى عدة أشهر من تاريخ تجميدها. وهناك فرق كبير عند تجميد الأغذية بالتدريج (تجميد بطيء) وتجميدها بشكل مفاجئ (تجميد سريع)، حيث أن التجميد البطيء يكون بلورات ثلجية صغيرة داخل المنتج وتبدأ هذه البلورات بالنمو مع استمرار التجميد مما يؤدي إلى تمزيق جدران الخلايا النباتية وتهشيمها وذبولها وفقدانها للسوائل عند ذوبانها. أما التجميد السريع فإنه يكون البلورات الثلجية صغيرة الحجم والتي لا تؤدي إلى تلف الأنسجة.

إن تثليج وتجميد المواد الغذائية يعني إزالة حرارتها المحسوسة والكامنة، ويوضح الشكل (4-4) منحنى تغير درجة الحرارة مع الزمن خلال عملية تجميد مادة غذائية، حيث يلاحظ ثلاث مراحل تمر بها المادة المطلوب تجميدها. المرحلة الأولى هي عملية إزالة حرارة محسوسة من 20°س إلى 0°س (على فرض درجة التجميد 0°س). المرحلة الثانية هي إزالة الحرارة الكامنة من المنتج عند الصفر السيليزي (مع ملاحظة إمكانية أن تكون درجة حرارة تجمد المادة الغذائية أقل من الصفر السيليزي). إما المرحلة الثالثة فهي إزالة الحرارة المحسوسة من المنتج المجمد وتسمى هذه المرحلة بعملية التجميد العميق Deep Freezing.



شكل 4-4 منحنى تغير درجة الحرارة مع الزمن خلال عملية تجميد مادة غذائية

4-7-1 التجميد البطيء

Slow Freezing

تتكون البرادات الخاصة بالتجميد البطيء من غرف معزولة عزلاً حرارياً جيداً، وتعمل عند درجات حرارة تتراوح من -15°س إلى -40°س. ويتم تبادل الحرارة بين المنتج ومحيطه بواسطة الحمل الحر وليس الحمل القسري (أي أن حركة الهواء حول المنتج تكون حركة طبيعية وحرّة). تتكون هذه المخازن من مبخرات على شكل رفوف يتم وضع الأغذية عليها وفي بعض الأحيان يستخدم حزاماً ناقلاً يمر فوق هذه المبخرات. تستخدم هذه البرادات في حفظ اللحوم والأسماك والعصائر وتتراوح فترة الخزن من 12 إلى 72 ساعة وحسب سعة البراد. ومن مساوئ هذه الطريقة زيادة الفضاء اللازم للكيلوغرام الواحد من المنتج وبالتالي زيادة حجم الحيز المستخدم للتجميد.

4-7-2 التجميد السريع

Fast Freezing

إن المنتجات المجمدة بواسطة التجميد السريع بشكل عام تكون أفضل من تلك المنتجات المجمدة بواسطة التجميد البطيء، للأسباب الآتية:

- فترة التجميد السريع أقصر من فترة التجميد البطيء، مما يقلل من زمن انتشار الأملاح داخل المنتج المجمد.
 - يبرد المنتج سريعاً إلى درجة حرارة أوطأ من تلك التي يحدث عندها نمو الفطريات والخمائر، ولهذا يتم منع عملية التحلل في أثناء فترة التجميد.
 - إن حجم بلورات الجليد المتكونة خلال عملية التجميد السريع تكون أصغر بكثير من تلك المتكونة عند التجميد البطيء، كما إن تأثيرها في المنتج يكون أقل.
- ويمكن تقسيم التجميد السريع إلى:

1- التجميد بالغمر Immersion Freezing

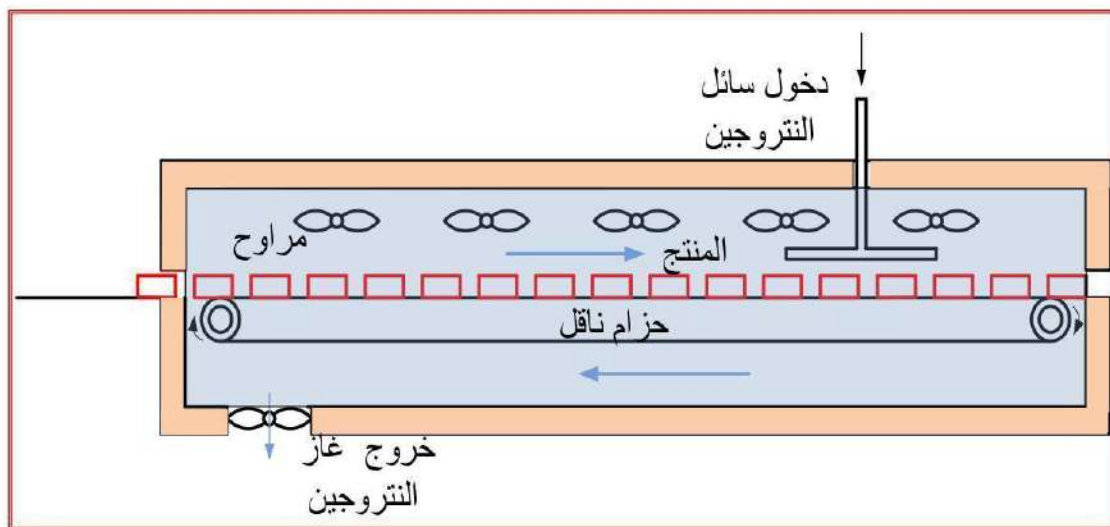
تستخدم هذه الطريقة للمنتجات المعلبة وغير المعلبة ولاختصار الوقت اللازم للانجماد، وتتم من خلال وضع المنتج في محلول مثليج مع استمرار ضخ المحلول المثليج أو تحريك المنتج داخل المحلول المثليج باستمرار حتى انجماده. وغالباً ما يكون المحلول الملحي هو من محاليل كلوريد الصوديوم أو محلول سكري أو محلول بروبيلين كليكول. ومن مساوئ هذه الطريقة:

- فقدان قسم من أملاح المحلول الملحي بسبب تغلغلها في المنتج.
- فقدان قسم من المحلول الملحي بسبب التصاقه بالمنتج.
- يجب أن يكون المحلول الملحي غير سام.

لذلك فإن تغليف المنتج يكون ضرورياً لمنع التفاعل بينه والمحلول البارد، وقد يتم استخدام التجميد الزمهريري Cryogenic Freezers التي تعتمد على سوائل النيتروجين أو ثاني أكسيد الكربون، ذات درجات حرارة غليان منخفضة جداً وتكون بحدود (-196°C) للنيتروجين وحوالي (-79°C) لثاني أكسيد الكربون، إذ تتم الاستفادة من الفرق الكبير بين درجات حرارة المنتج والسائل، لإعطاء معدلات انتقال حرارة عالية، مما يزيد من سرعة التجميد بشكل كبير، ومثال ذلك المركبات التي تستخدم كمجمدات، والشكلين (5-4 أ) و (5-4 ب) يوضحان عملية دخول وخروج المنتج ودخول سائل النيتروجين وخروج بخاره، ويجب الحذر من استخدام هذه السوائل في أثناء العمل حيث أنها يمكن أن تسبب حروق خطيرة (حروق التجميد)، وكما مبين في الشكل (6-4).



شكل 5-4 أ منظومة تجميد بالغمر



شكل 5-4 ب مخطط لمنظومة تجميد بالغمر



شكل 4-6 الحروق الناتجة عن استخدام النتروجين السائل

2- التجميد بالهواء الصاعق Air- Blast Freezing

لأغراض تجميد المواد الغذائية يستخدم الهواء المتحرك بسرعات عالية ودرجات حرارة منخفضة، لتسريع عملية انتقال الحرارة من المنتج الغذائي المطلوب تجميده. وتستخدم هذه الطريقة للمواد الغذائية غير منتظمة الشكل والحجم مثل الدواجن المغلفة. وهناك تصاميم مختلفة لتحقيق الهدف أعلاه منها:

أ- التجميد باستخدام غرف الهواء الصاعق وأنفاق التجميد

Air Blast Room & Tunnel Freezers

يستعمل في هاتين الطريقتين الهواء البارد ويتم تدويره في المخازن المجمدة بواسطة مراوح خاصة بحيث يمر على مبخرات كبيرة موزعة بانتظام في المخزن المجمد، وبعد ذلك يُعاد سحب الهواء مرة أخرى ليعاد تمريره خلال غرفة التجميد ويبين الشكل (4-7) غرف تجميد باستعمال الهواء الصاعق، في حين أن الشكل (4-8) يبين أنفاق تجميد باستعمال الهواء الصاعق، إن ترك مسافات مناسبة بين حاويات المنتجات الغذائية، يكون ضرورياً للسماح للهواء البارد بالمرور على جميع أجزاء المنتج والتجمد بوقت واحد، وبعد التجمد يسحب المنتج من مكانه ويحل مكانه منتج جديد، وهكذا تتم عملية التجميد على دفعات.



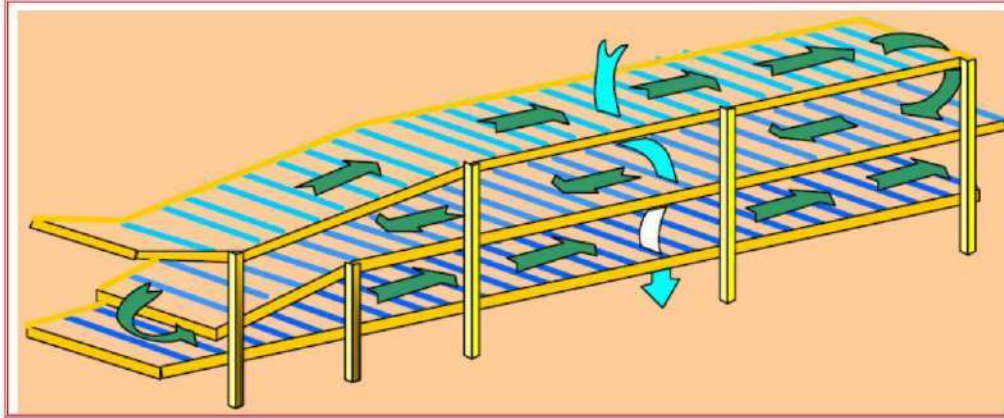
شكل 4-7 التجميد بغرف الهواء الصاعق



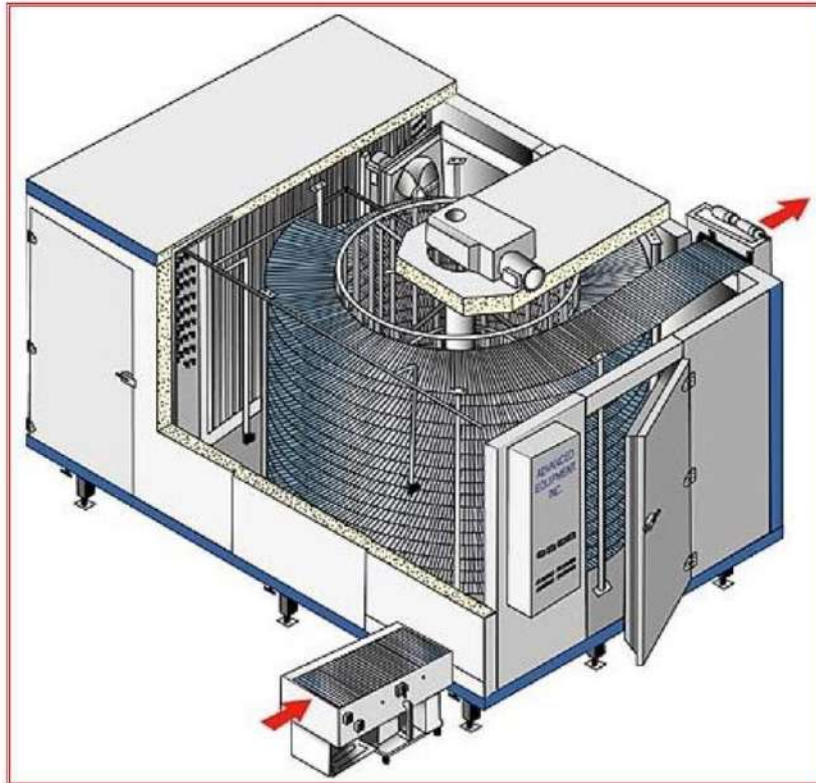
شكل 4-8 التجميد بأنفاق الهواء الصاعق

ب- التجميد باستخدام السيور المتحركة Air Blast Belts Freezers

يمرر الهواء البارد على المنتجات الغذائية المحمولة على سيور متحركة بصورة أفقية كما موضح بالشكل (4-9)، حيث تتطلب أن تكون حركة الهواء بشكل متعامد مع حركة السيور لضمان تعرض أكبر مساحة من المنتج للهواء، أو تمرر المنتجات الغذائية على سيور متحركة حلزونية والتي يمر عليها الهواء من الأسفل للأعلى أو بشكل أفقي لزيادة مساحة التماس بين الهواء والمنتج المجمد، وكما مبين في الشكل (4-10).



شكل 9-4 التجميد باستخدام السيور الأفقية المتحركة



شكل 10-4 التجميد باستخدام السيور الحلزونية المتحركة

3- التجميد بالتلامس Contact Freezing

تعتمد هذه الطريقة التلامس المباشر Direct أو غير المباشر Indirect بين السطوح المبردة إلى درجات حرارة منخفضة والمواد الغذائية المطلوب تجميدها. في حالة التلامس المباشر ومن أجل الحصول على كفاءة تبريد عالية، يجب ضمان التلامس الجيد بين المادة الغذائية والسطح المبرد. وتستخدم هذه الطريقة غالباً للمنتجات الغذائية المعلبة وكذلك المنتجات ذات الأشكال الهندسية المنتظمة. ويوضح الشكل (4-11) إحدى طرائق التجميد بالتلامس بين الأسطح المبردة والمنتج الغذائي.



شكل 4-11 التجميد بالتلامس

إما التجميد بالتلامس غير المباشر Indirect Contact Freezing، فيكون من خلال رفوف مجوفة يمر خلالها سائل الأمونيا أو محلول ملحي مثلج، ويوضع المنتج فوقها ليتم خفض درجة حرارته. أو من خلال رفوف يمكن رفعها وخفضها حسب الحاجة، ويتم تحميل الرفوف من الأول إلى الأخير ويكون التفريغ عكس التحميل (أي من الأخير إلى الأول) وتستخدم رافعات هيدروليكية لرفع الرفوف وخفضها.

أسئلة الفصل الرابع

س1: عرف ما يأتي:

حفظ الأغذية، التمليح، التخليل، التجفيف، التعليب، أمراض التخزين البارد، جفاف السطح، التجميد الزمهريري.

س2: عدد:

- أ- طرائق حفظ الأغذية القديمة والحديثة.
- ب- المتغيرات التي من خلالها يمكن أن تتم السيطرة على نمو وتكاثر الكائنات الدقيقة.
- ت- المراحل التي تمر بها المادة الغذائية المطلوب تجميدها.
- ث- طرائق تثليج وتجميد المواد الغذائية.
- ج- الفروقات بين التجميد البطيء والتجميد السريع.
- ح- مساوئ طريقة التجميد بالغمر.

س3: علل ما يأتي:

- أ- استخدام الطرائق الحديثة لحفظ الأغذية.
- ب- استخدام التثليج لحفظ الأغذية.
- ت- تلف المواد الغذائية.
- ث- لا توجد طريقة واحدة محددة لحفظ الأغذية.
- ج- أفضلية المواد المجمدة سريعاً على تلك المجمدة بطيئاً.
- ح- تغليف المواد الغذائية المجمدة بالغمر.

س4: ناقش تأثير الرطوبة في خزن المواد الغذائية.

الفصل الخامس

السيطرة على تدفق موائع التثليج

Refrigerants Flow Control



السيطرة على تدفق موائع التثليج

Refrigerants Flow Control

Introduction

1-5 مقدمة

من الدراسة السابقة، تم التعرف على منظومات التثليج المختلفة وأجزائها الرئيسية والمواد العاملة (موائع التثليج) المستخدمة فيها. وكانت أدوات التمدد إحدى هذه الأجزاء الرئيسية التي تم تناول البعض منها بشكل مختصر وآخر بشكل مفصل. ولقد تمت الإشارة إلى مهمتين أساسيتين لأدوات التمدد، المهمة الأولى الهبوط بضغط المكثف إلى ضغط المبخر لتقليل درجة حرارة غليان مائع التثليج بحيث يغلي عند درجات حرارة منخفضة جداً. إما المهمة الثانية فهي عملية التحكم بتدفق مائع التثليج في ضوء الحمل التثليجي المطلوب.

في هذا الفصل سيتم إغناء ما تمت دراسته بالنسبة لصمامات السيطرة على تدفق موائع التثليج ومنظمات الضغط الأخرى، المستخدمة في أنظمة التثليج المنزلية والتجارية والصناعية.

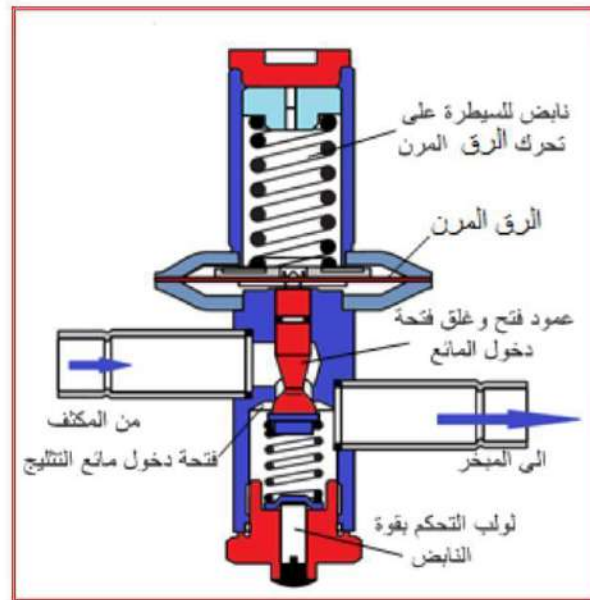
إن صمامات التمدد متعددة الأنواع وتختلف في تركيبها وطريقة عملها. فهي كثيرة فمنها اليدوية، الميكانيكية، الحرارية، والإلكترونية. وهناك ستة أنواع أساسية وشائعة الاستخدام من أدوات التمدد التي تسيطر على تدفق مائع التثليج آلياً (أوتوماتيكياً) وهي:

1-	صمام التمدد الآلي	Automatic Expansion Valve	AEV
2-	صمام التمدد الحراري	Thermostatic Expansion Valve	TEV
3-	صمام التمدد الكهربائي	Electric Expansion Valve	EEV
4-	صمام طوافة الضغط العالي	High Pressure Side Float	HSF
5-	صمام طوافة الضغط الواطئ	Low Pressure Side Float	LSF
6-	الصمام الرباعي	Four Way Valve	4WV

إن هذه الأنواع من أدوات التمدد، تستند في عملها للسيطرة والتحكم بتدفق مائع التثليج على أساس تغير الضغط، أو تغير درجة الحرارة أو تغير حجم أو كمية مائع التثليج، وفيما يلي دراسة تفصيلية بعض الشيء لهذه الأدوات.

2-5 صمام التمدد الآلي (الأوتوماتيكي) (AEV) Automatic Expansion Valve

هو أحد أنواع صمامات التحكم الذاتية ويعرف بصمام الضغط الثابت، لأنه يحافظ على ضغط المبخر ثابتاً بغض النظر عن الحمل الحراري للمبخر، وإن مبدأ عمل صمام التمدد الآلي (AEV) في تنظيم كمية مائع التثليج المار إلى المبخر يعتمد على ضغط المبخر، فعندما يعمل الضاغط ساحباً البخار من المبخر ومسبباً انخفاض ضغطه، فإن الصمام يسمح بدخول رذاذ مائع التثليج إلى المبخر، وبالعكس عند ارتفاع ضغط المبخر سيقوم الصمام بإيقاف التدفق للمائع. الشكل (1-5) يبين رسم تخطيطي لأجزاء صمام التمدد الآلي الذي يتكون بشكل أساسي من رق معدني مرن Diaphragm وعمود التحكم بغلق وفتح فتحة تدفق مائع التثليج Needle Valve ونابض Spring ويتلخص عمل الصمام بما يأتي:



شكل 1-5 مخطط لصمام التمدد الآلي

عند تجمع كمية كبيرة من مائع التثليج في المبخر فإن ضغط المبخر سوف يبدأ بالزيادة، وهذا يشير إلى زيادة مائع التثليج في المبخر وعلى هذا الأساس يندفع عمود التحكم بفتحة الدخول إلى الأعلى بحيث يقلل من مساحة فتحة الدخول وبالتالي تقل كمية مائع التثليج الداخلة إلى المبخر، وعند زيادة الضغط مرة أخرى يقوم العمود بغلق فتحة الدخول نهائياً بحيث يمنع مائع التثليج من الدخول إلى المبخر. وبعد فترة وعند انخفاض كمية مائع التثليج في المبخر يبدأ ضغط المبخر بالانخفاض بحيث تقل القوة المسلطة على عمود التحكم ويبدأ بالسماح لمائع التثليج بالدخول بكميات قليلة إلى المبخر ليتغلب على الحمل الحراري، وعند زيادة الحمل تزداد كمية التبخر وبالتالي يزداد سحب الضاغط لبخار مائع

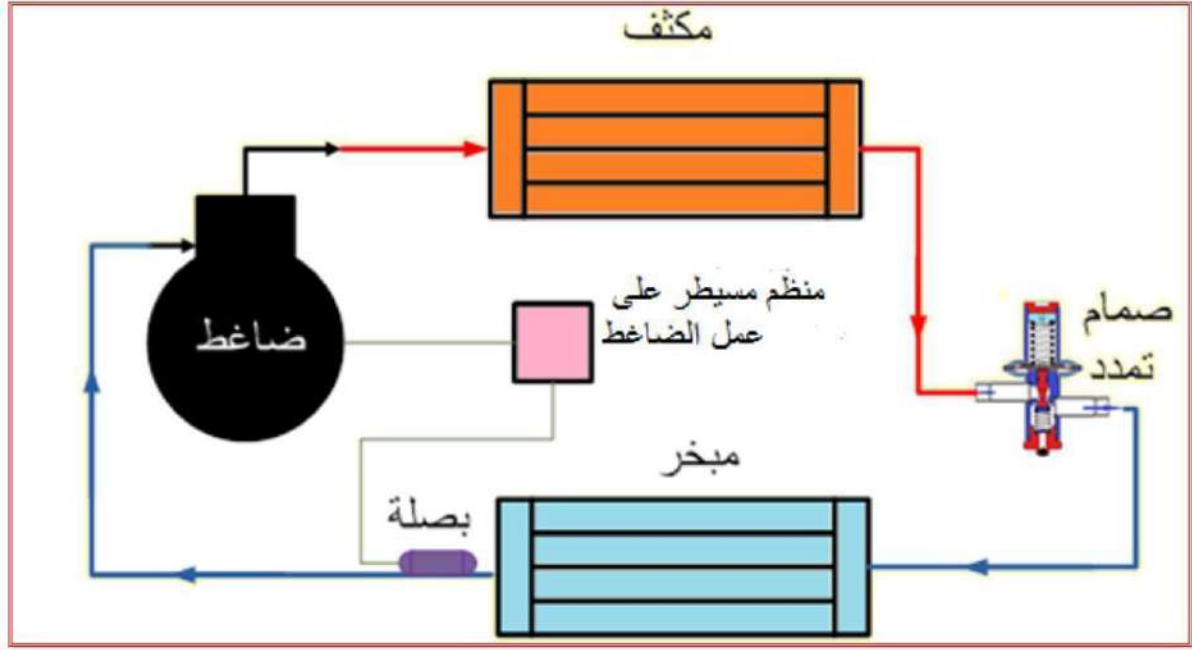
التثليج مؤدياً إلى هبوط أكثر في ضغط المبخر، عندها يقل ضغط المبخر وهذا يؤدي إلى هبوط عمود التحكم بشكل أكبر وزيادة دخول مائع التثليج إلى المبخر ليسيطر على الحمل الحراري. إما عند توقف الضاغط عن العمل، فإن سائل التثليج الموجود في المبخر، سيستمر بالتبخر مسبباً ارتفاع ضغط المبخر إلى قيمة أكبر من ضغط النابض، وعندها سيقفل الصمام، ويبقى الصمام مقفلاً خلال فترة توقف الضاغط، وعند بدء التشغيل مرة أخرى، سينخفض ضغط المبخر مباشرة بفعل الضاغط إلى أقل من ضغط النابض، مسبباً فتح الصمام من جديد، وبعدها تحدث حالة الاتزان بين ضغط المبخر والنابض.

من مميزات صمام التمدد الآلي، إمكانية الصمام على حماية المبخر من تكون الجليد عند انخفاض حمل التثليج لفترة طويلة، وكذلك إمكانية الصمام على حماية الضاغط عند زيادة حمل التثليج من خلال المحافظة على ضغط المبخر ثابتاً، واعتماداً على ما مر ذكره من مزايا، فإن الصمام الآلي يستخدم عادة في منظومات التثليج الصغيرة ذات أحمال التثليج الثابتة نسبياً، مثال ذلك الثلاجة المنزلية، ثلاجة العرض، وحدات تكييف الهواء المنزلية.

ومن محددات عمل وعيوب صمام التمدد الآلي ما يأتي:

- **الصمام يعمل على أساس حمل تثليج ثابت نسبياً، مما قد يسبب طفح أو عطش المبخر عند انخفاض أو ارتفاع حمل التثليج.**
- **احتمال وصول سائل مائع التثليج إلى الضاغط عند انخفاض حمل التثليج مما يستوجب حماية إضافية للضاغط.**
- **الصمام لا يملك إمكانية لمعادلة التغيرات التي تطرأ على ضغط المكثف.**
- **عند توقف الضاغط يغلق الصمام، محافظاً على فرق الضغط، وبالنظر لعدم وجود وسيلة معادلة للضغط، مما يتطلب عزم انضغاط عالي عند بدء التشغيل.**

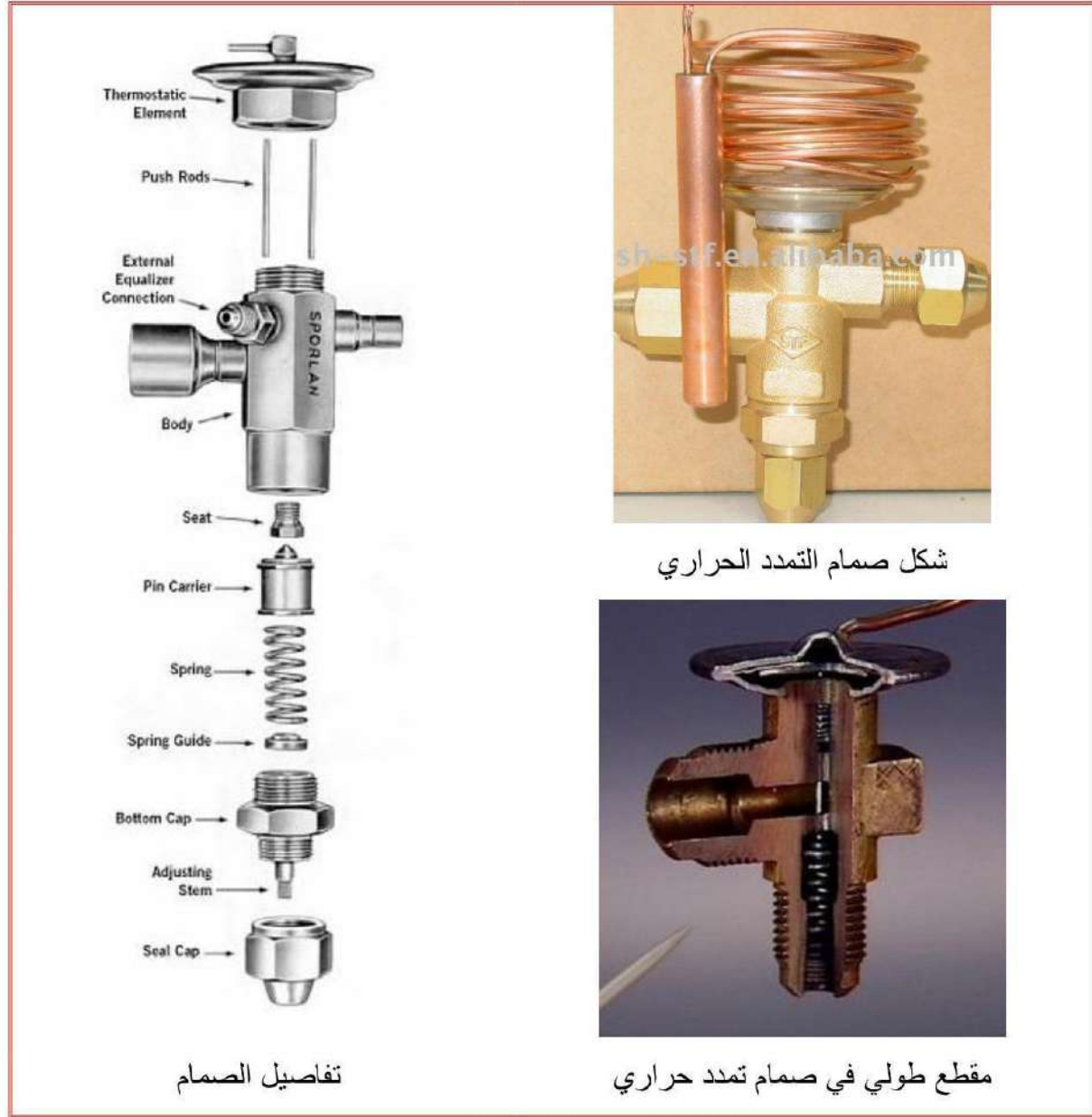
ولحماية الضاغط من احتمال وصول سائل مائع التثليج إليه، يتم تثبيت متحسس حراري على خط سحب المنظومة، ليعمل على التحكم بمحرك الضاغط اعتماداً على درجة حرارة خط السحب، وكما مبين في الشكل (5-2) الذي يوضح موقع المتحسس الحراري على خط السحب، إن درجة حرارة ضبط المتحسس الحراري تكون مساوية لدرجة حرارة التشبع لمائع التثليج المناظرة لضغط المبخر أو أعلى منها بقليل، فإذا انخفضت درجة حرارة مائع التثليج الخارج من المبخر، يقوم المتحسس الحراري بإيقاف محرك الضاغط.



شكل 2-5 حماية الضاغط عند استخدام صمام تمدد آلي

3-5 صمام التمدد الحراري (TEV) Thermostatic Expansion Valve

هو أكثر وسائل التمدد كفاءة واستخداماً في مختلف أجهزة التثليج، للتحكم في انسياب مائع التثليج إلى المبخر ويسمى أحياناً صمام التمدد المسيطر على درجة التحميص. إن عمل صمام التمدد الحراري هو الاحتفاظ بدرجة تحميص ثابتة للبخر الخارج من المبخر، لضمان التبخر التام لمائع التثليج بعد المبخر مانعاً تسرب المائع بالحالة السائلة إلى الضاغط، وذلك لتحقيق أكبر معامل أداء ممكن للمنظومة. ويتميز صمام التمدد الحراري بسعة مجال عمله وخاصة في التطبيقات التي يكون الحمل فيها متغيراً. ويمكن مجال عمله في مكيفات الهواء ومنظومات التثليج التجارية وتطبيقات التثليج عند درجات حرارة منخفضة جداً، ويستخدم في مجال مبخرات التمدد المباشر سواء كان المبخر يجهز بمائع التثليج من الأعلى أم من الأسفل أو المبخرات المغمورة جزئياً. ويبين الشكل (3-5) صورة ومقاطع مختلفة لصمام التمدد الحراري.



شكل 3-5 صمام التمدد الحراري

ويقسم صمام التمدد الحراري إلى نوعين:

1-3-5 صمام التمدد الحراري ذو المعادل الداخلي

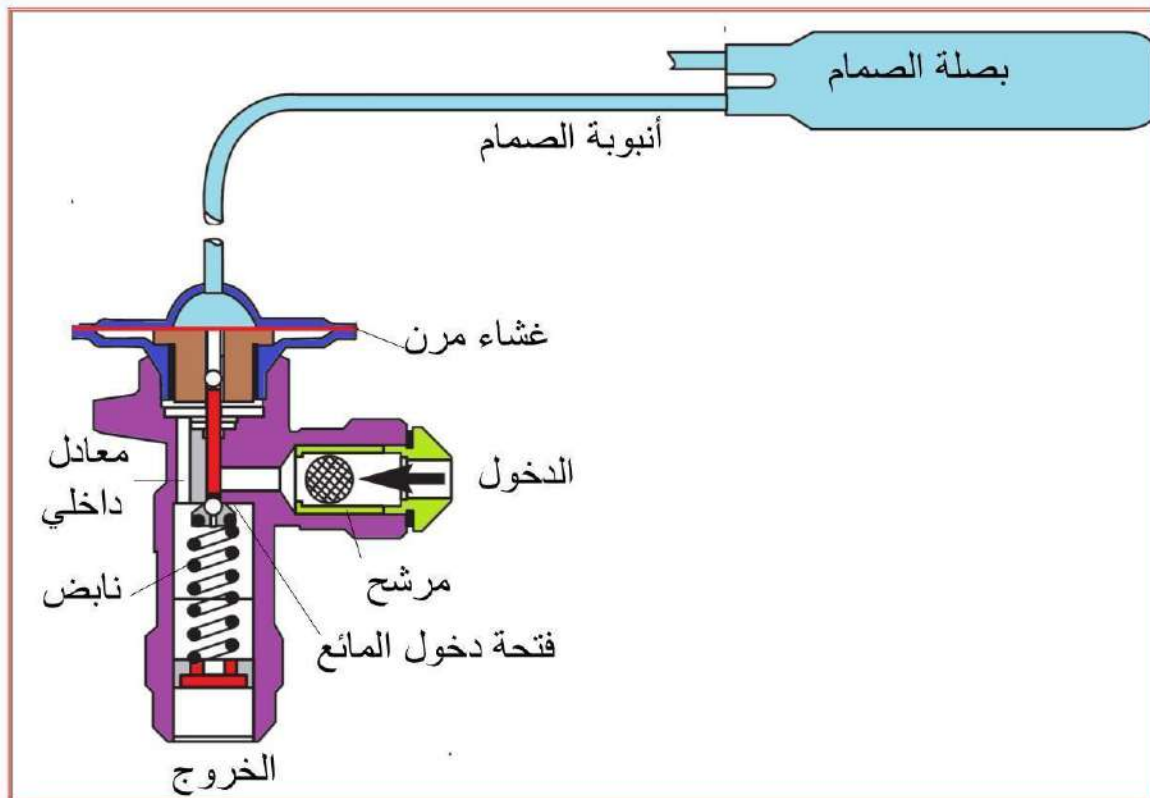
Thermostatic Expansion Valve with Internal Equalizer

يتكون صمام التمدد الحراري ذو المعادل الداخلي، وكما مبين في الشكل (4-5) من جسم الصمام ونايظ ورق مرن وعمود التحكم بفتحة دخول مائع التبريد وبصلة الصمام المتصلة برأس الصمام عن طريق أنبوب شعري، وتتلخص طريقة عمل صمام التمدد الحراري بما يأتي:

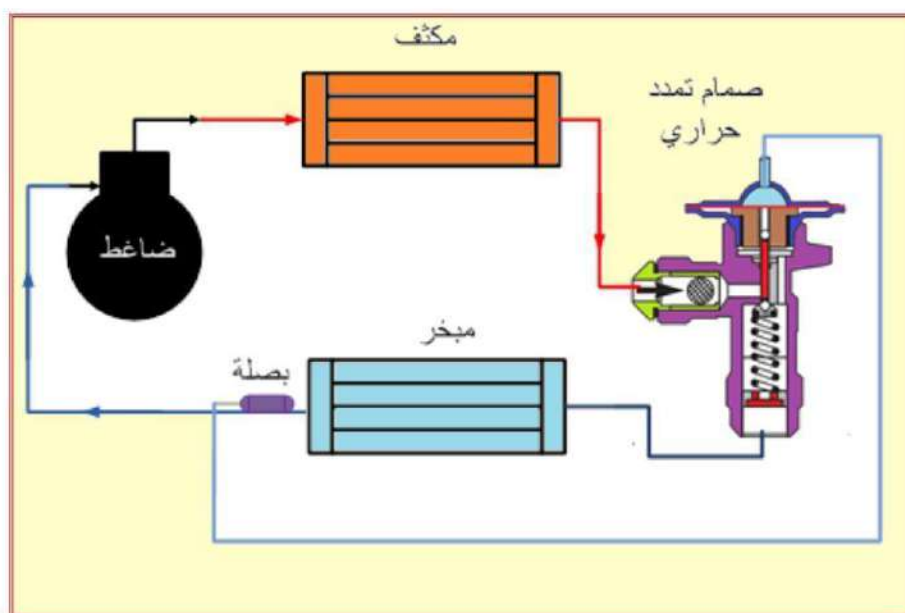
هنالك ثلاث قوى تؤثر في عمل صمام التمدد الحراري هي:

- القوة المتولدة من النابض وسنطلق عليها P_s (تعمل هذه القوة على غلق صمام التمدد الحراري).
- القوة المتولدة من ضغط المبخر وسنطلق عليها P_e (تعمل هذه القوة على غلق صمام التمدد الحراري)
- وأخيراً القوة المتولدة من بخار مائع التثليج في بصلة الصمام وسنطلق عليها P_b (تعمل هذه القوة على فتح الصمام).

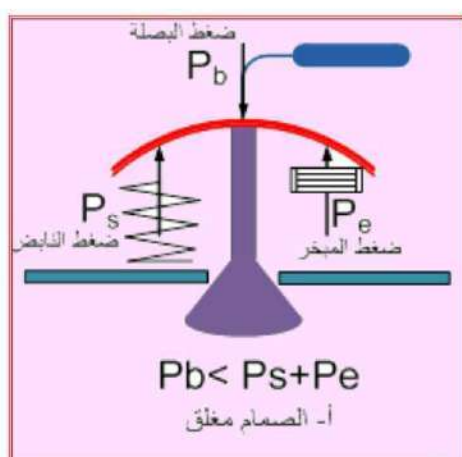
تكون القوة المتولدة من ضغط النابض ثابتة في أثناء عمل الصمام، في حين أن القوة المتولدة من ضغط المبخر تتغير تبعاً للحمل الحراري المسلط على المبخر فتزداد بزيادة كمية مائع التثليج في المبخر وتقل القوة مع انخفاض كمية مائع التثليج في المبخر، أما القوة المتولدة من بصلة الصمام والتي تربط بعد مخرج المبخر، وكما مبين في الشكل (5-5) فهي مقياس لسخونة بخار مائع التثليج الخارج من المبخر، فتزداد القوة المسلطة من قبل البصلة بزيادة درجة حرارة بخار مائع التثليج وتنخفض بانخفاضها، ويبين الشكل (6-5) طريقة عمل صمام التمدد الحراري.



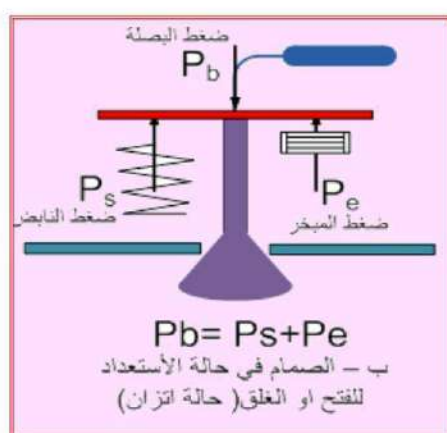
شكل 4-5 صمام التمدد الحراري ذو المعاذل الداخلي



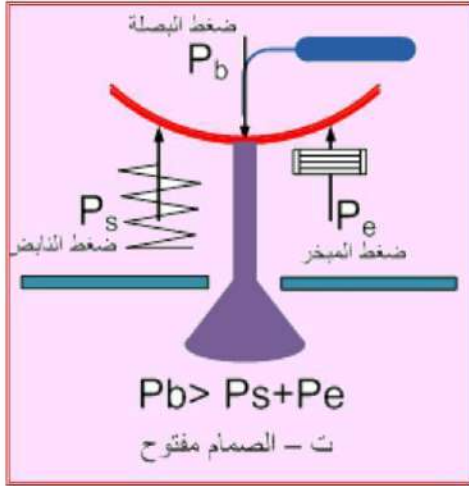
شكل 5-5 ربط صمام التمدد الحراري في دورة التثليج



في هذه الحالة يكون ضغط المبخر عالياً نتيجة لوجود كمية كبيرة من مائع التثليج في المبخر، وزيادة كمية مائع التثليج في المبخر دلالة على انخفاض الحمل الحراري المسلط عليه، وبالتالي تقل كمية مائع التثليج المتبخرة، إضافة إلى ذلك يكون بخار مائع التثليج بعد المبخر بارداً، لذا يقل الضغط في بصلة الصمام وبالتالي تقل القوة المسلطة من قبل البصلة، الحصيلة النهائية مجموع قوة ضغط المبخر مضافاً إليها ضغط النابض تكون أكبر من ضغط البصلة، يغلق الصمام.



في هذا الشكل يبدأ الحمل الحراري على المبخر بالزيادة، مما يؤدي إلى انخفاض ضغط المبخر بشكل بسيط، ويصاحب انخفاض ضغط المبخر زيادة في درجة حرارة بخار مائع التثليج بعد المبخر، أي أن ضغط بخار مائع التثليج في البصلة يزداد قليلاً، وهذا يؤدي إلى انخفاض ضغط المبخر مع زيادة ضغط البصلة، المحصلة النهائية مجموع القوة المسلطة من قبل المبخر مضافاً إليها قوة النابض تساوي القوة المسلطة من قبل البصلة، الصمام في حالة اتزان، أي أنه إما مهياً للفتح أو الغلق.



شكل 5-6 طريقة عمل صمام التمدد الحراري

في هذا الشكل زيادة الحمل الحراري على المبخر بشكل كبير، يؤدي إلى انخفاض ضغط المبخر بسبب الزيادة في تبخر مائع التثليج، فضلاً عن ارتفاع درجة حرارة بخار مائع التثليج بعد المبخر وزيادة ضغط بخار مائع التثليج في بصلة الصمام وبالتالي زيادة الضغط داخل بصلة الصمام مما يؤدي إلى زيادة القوة المتولدة من البصلة، المحصلة النهائية، القوة المتولدة من قبل بصلة الصمام أكبر من مجموع القوة المتولدة من قبل المبخر مضافاً إليها قوة النابض، يفتح الصمام سامحاً لمائع التثليج بالدخول إلى المبخر.

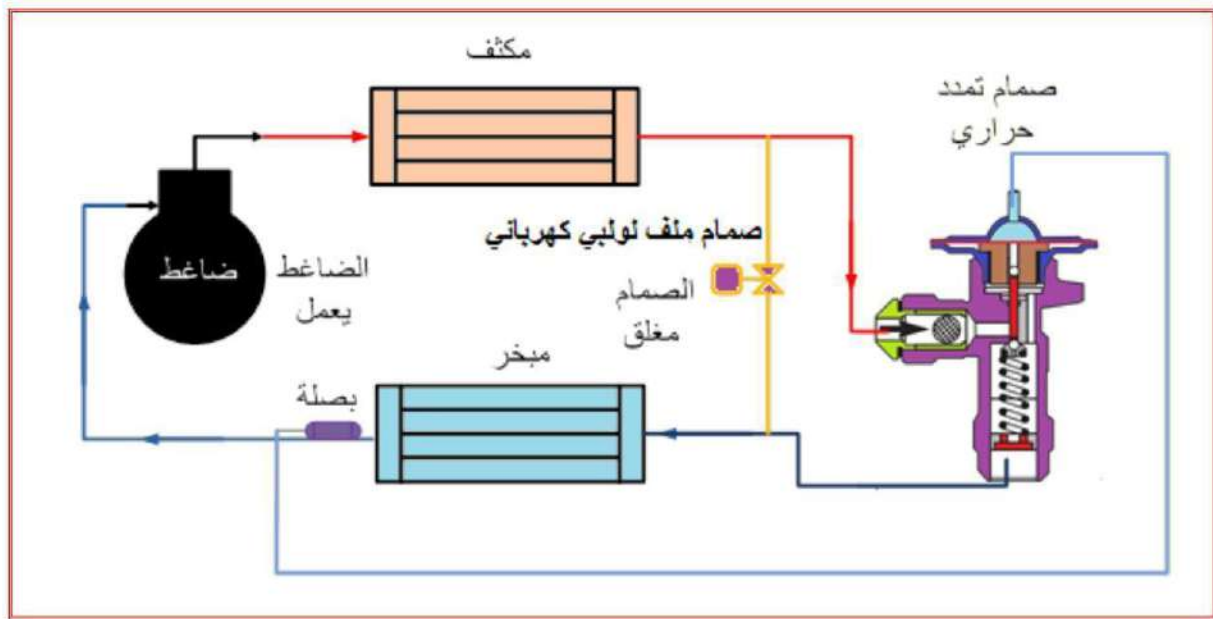
عند توقف الضاغط يبدأ ضغط المبخر بالارتفاع مسبباً حركة الرق باتجاه غلق الصمام، مما يسبب الاحتفاظ بفرق ضغط بين المبخر والمكثف خلال فترة توقف المنظومة. وعند بدء التشغيل من جديد، فإن الضاغط يحتاج إلى عزم كبير، مما يعرض الضاغط إلى إجهادات قد تكون سبباً في تلفه، ويعتبر ذلك من عيوب صمام التمدد الحراري، ولمعالجة فرق الضغط خلال فترة توقف الضاغط، يتم معادلة الضغط بين المكثف والمبخر باستخدام إحدى الطرائق الآتية:

- 1- إحداث ثقب صغير في مقعد الصمام يسمح بتدفق مائع التثليج خلال فترة توقف الضاغط.
- 2- وصل أنبوب شعري صغير بين مدخل ومخرج الصمام يسمح بمعادلة الضغوط عند توقف الضاغط.
- 3- عمل ممر جانبي يسمح بمرور المائع إلى المبخر دون المرور بصمام التمدد، ويتم السيطرة على تدفق المائع خلال الممر الجانبي باستخدام صمام لولبي كهربائي Solenoid Valve مركب على الممر الجانبي. يفتح هذا الصمام عند توقف الضاغط ويغلق عند الاشتغال، وكما موضح بالشكل (5-7).

في منظومات التثليج التي تستخدم صمام تمدد حراري، قد يحدث تغير أو تذبذب متردد لمعدل تدفق مائع التثليج، وقد يزداد ليصل إلى قيمة تسبب طفق المبخر، ثم يقل لمستوى عطش المبخر لمائع التثليج. إن هذه العملية تسمى بالتعقب Hunting وتكون نتيجة التخلف الزمني لاستجابة صمام التمدد الحراري أو نتيجة للفترة الزمنية التي يأخذها مائع التثليج للدخول إلى المبخر والوصول إلى موضع البصلة بعدما يعدل الصمام وضعه على أثر تغير ضغط البصلة. يؤدي التعقب إلى تغير ضغط ودرجة حرارة المائع عند خروجه من المبخر، مما يسبب خفض السعة التثليجية. وقد يؤدي التعقب إلى وصول سائل مائع التثليج إلى الضاغط عند ارتفاع معدل سريانه لمائع التثليج عن الحد المطلوب لحمل التثليج.

ولتجنب التعقب أو التقليل منه ينصح القيام بالإجراءات الآتية:

- دقة اختيار السعة المناسبة لصمام التمدد الحراري الذي يلبي السعة التثليجية للمنظومة.
- اختيار درجة حرارة التخميص المناسبة لعمل الصمام، لأن خفض درجة التخميص للبخر الخارج من المبخر، قد يكون سبباً لحدوث التعقب.
- اختيار الشحنة المناسبة لبصلة الصمام.
- يجب أن يكون المبخر مصمماً بما يضمن التوزيع الجيد لسريان مائع التثليج في جميع أجزائه، مما يؤدي إلى التوزيع الجيد لانتقال الحرارة .
- تركيب البصلة في مكانها الصحيح.



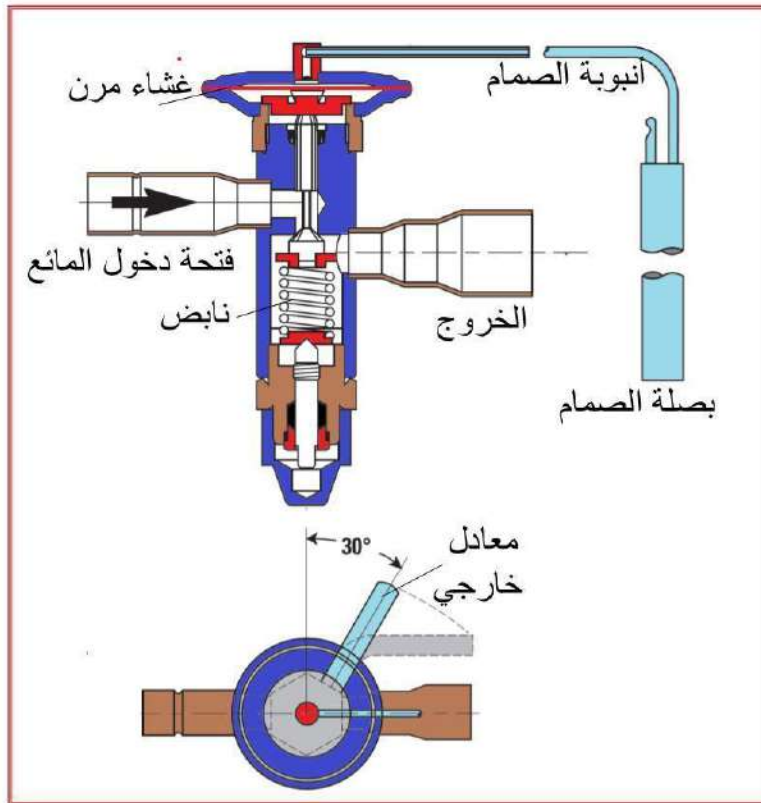
شكل 5-7 الممر الجانبي لمعادلة الضغوط

2-3-5 صمام التمدد الحراري ذو المعادل الخارجي

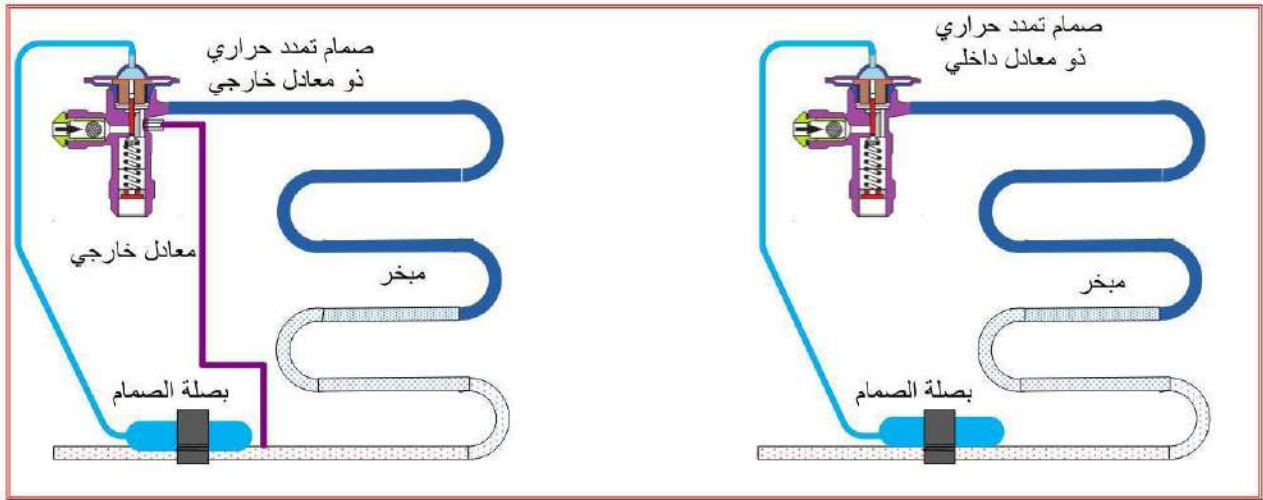
Thermostatic Expansion Valve with External Equalizer

إن صمام التمدد الحراري يعمل على أساس توازن الضغوط بين ضغط البصلة من جهة وضغطي النابض والمبخر من جهة أخرى. إن عمل الصمام يكون بشكل جيد، ما لم يكن هنالك فرق للضغط خلال المبخر ناتج عن الاحتكاك بين مائع التثليج والسطح الداخلي لأنابيب المبخر عند استخدام مبخرات كبيرة ستكون خسائر الضغط خلال المبخر كبيرة نوعاً ما وهذا يؤدي إلى زيادة في ضغط بخار مائع التثليج عند خروجه من المبخر (موقع بصلة الصمام) وحيث أن زيادة ضغط الغاز في المبخر يعطي انطباعاً خاطئاً للقوة المؤثرة أسفل الرق المرن ويؤدي إلى الصمام بأن هنالك انخفاضاً في الحمل الحراري المسلط على المبخر، وحيث أن درجة حرارة بخار مائع التثليج عند الخروج سوف

لن تتأثر (أي أن ضغط بصلة المحرار سيبقى ثابتاً)، وهذا يؤدي إلى تغلب القوة المسلطة من قبل المبخر إضافة إلى قوة النابض على القوة المسلطة من قبل البصلة، لذا سيقفل صمام التمدد الحراري من سريان مائع التثليج رغم أن المبخر يحتاج إلى سريان أكبر. وبسبب انخفاض كمية مائع التثليج الداخل إلى المبخر، بسبب الإشارة الخاطئة الناتجة عن زيادة خسائر الاحتكاك، لذا ستقل سعة المبخر. ولمعالجة هذه الحالة نستخدم أنبوباً يربط بين نهاية المبخر عند موقع بصلة الصمام مع صمام التمدد الحراري ويؤثر أسفل الرق المرن ويسمى هذا الأنبوب بالمعادل الخارجي، وعلى هذا الأساس ستكون القوة المؤثرة أسفل الرق المرن تساوي ضغط بخار مائع التثليج بعد حدوث خسائر الضغط، وليس الضغط في بداية المبخر والذي لا يدخل خسائر الضغط ضمن الاعتبار، ويبين الشكل (5-8) مقطعاً في صمام التمدد الحراري ذي المعادل الخارجي، في حين أن الشكل (5-9) يبين طريقة ربط كل من صمام التمدد الحراري ذي المعادل الداخلي وصمام التمدد ذي المعادل الخارجي مع مبخر دورة التثليج.



شكل 5-8 صمام التمدد الحراري ذو المعادل الخارجي



شكل 5-9 طريقة ربط صمام التمدد الحراري بالمبخر

كما إن صمام التمدد الحراري ذا المبادل الخارجي، يستخدم عندما يكون هنالك موزع لوسائل مائع التثليج، وكما هو مبين بالشكل (5-10). إذ أن هنالك صمامات تمدد حرارية متعددة المخارج تقوم بتوزيع مائع التثليج على الأنابيب المختلفة في المبخر، وكما هو معمول في أجهزة تكييف الهواء ذات السعات (5 طن تثليج) وأكثر.



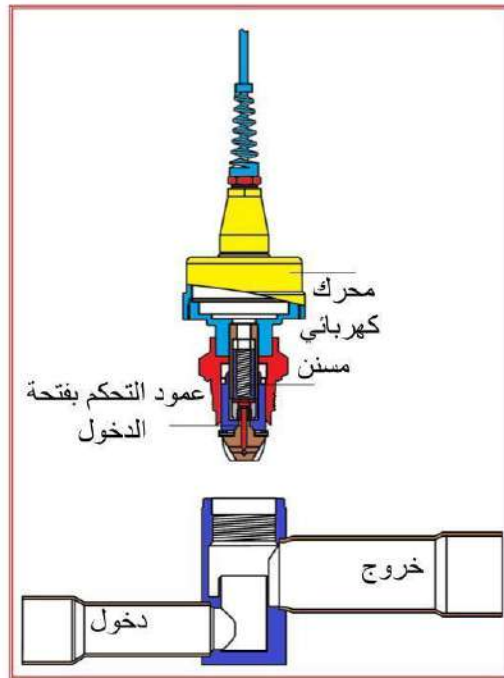
شكل 5-10 صمام تمدد حراري ذو مبادل خارجي مع موزع للوسائل

Electric Expansion Valve

4-5 صمام التمدد الكهربائي

يعمل صمام التمدد الكهربائي بتعقيد أكبر من بقية الصمامات، وهو يسيطر على معدل تدفق مائع التثليج الداخل إلى المبخر، وتتم السيطرة بواسطة إشارة كهربائية ترسل من قبل مسيطر إلكتروني. ويحتوي الصمام على محرك كهربائي صغير يقوم بفتح وغلق فتحة الصمام، ويسمى المحرك بالمحرك التدريجي، أي أنه لا يدور بشكل مستمر، وإنما يتحرك جزء من الدورة عند تسلمه إشارة من المسيطر الإلكتروني، وتنقل الحركة من المحرك إلى فتحة الصمام بواسطة مسنن خاص، ويبين الشكل (5-11) مقطعاً في صمام التمدد الكهربائي في حين أن الشكل (5-12 أ) يبين صمام التمدد الكهربائي، ويمكن للمحرك التدريجي أن يتحرك بحدود 200 خطوة في الثانية الواحدة، وأن يعود إلى موضعه الأول بشكل سريع جداً، ويمكن لبعض أنواع الصمامات الكهربائية أن تخزن مكانها السابق في ذاكرة الصمام وأن تعود إلى المكان ذاته بسرعة وفي أي وقت، وهذا ما يميز الصمام عن بقية الصمامات الأخرى حيث أنه يمتاز بالدقة.

للصمام عدد من الخطوات مساوية إلى 1596 خطوة ومسافة كل خطوة تساوي (0.002 mm). ترسل الإشارة إلى محرك الصمام بواسطة جزء إلكتروني يسمى الثرمستور Thermistor، كما هو مبين في الشكل (5-12 ب). يربط الثرمستور على خط تجهيز الهواء أو على خط السحب، وهو عبارة عن مقاومة كهربائية تتأثر بتغير درجة الحرارة، ويتميز صمام التمدد الكهربائي بمنعه دخول مائع التثليج في الحالة السائلة إلى الضاغط عن طريق السيطرة التامة على الحمل الحراري في المبخر، وغلق نفسه في أثناء توقف الضاغط.



شكل 5-11 صمام التمدد الكهربائي



شكل 5-12 ب الثرمستور



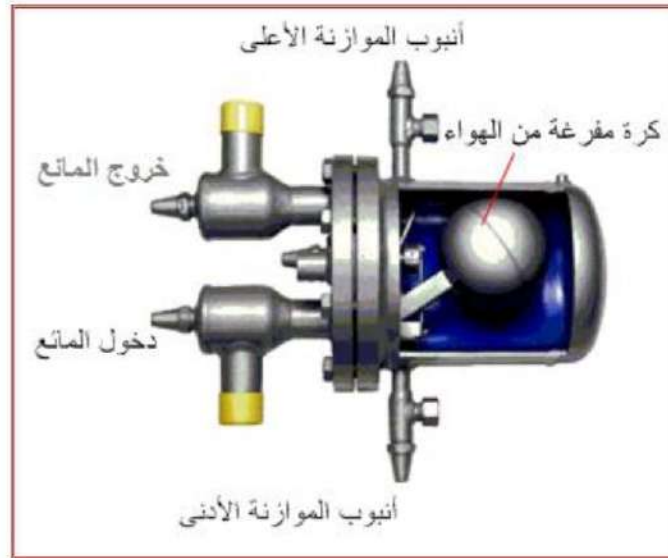
شكل 5-12 أ صمام التمدد الكهربائي

إضافة إلى ذلك فإن صمام التمدد الكهربائي يمتاز بعدم حاجته إلى معادل خارجي للضغط، إذ يتم التحكم في مقدار التحميص اعتماداً على المائع الخارج من المبخر، وكذلك قلة الأجزاء الميكانيكية المتحركة، ويستخدم للمتحمس موصل كهربائي، كما إن المتحمس يكون مغمور كلياً بمائع التثليج.

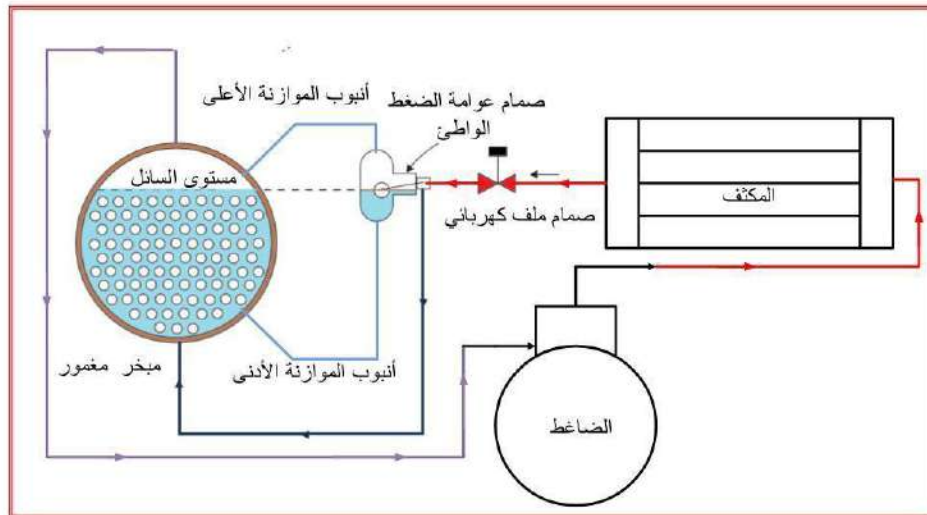
Low Side Float Valve

5-5 صمام عوامة الضغط الواطئ

تحتاج المبخرات المغمورة Flooded Evaporators إلى مستوى ثابت لمائع التثليج خلالها، كي تبقى أنابيب المبخر مغمورة بمائع التثليج على الدوام، لذا يستخدم صمام عوامة الضغط الواطئ لهذا الغرض. ويتكون صمام العوامة من جسم الصمام، وكرة مفرغة من الهواء تعمل عمل العوامة، وفتحة دخول مائع التثليج وفتحة الخروج، كما هو مبين في الشكل (5-13). يوضع صمام العوامة خارج غلاف المبخر حيث أن غليان مائع التثليج يمكن أن يؤثر في استقرائية العوامة فضلاً عن حدوث سوفان وعطب في العوامة نتيجة الحركة المستمرة الناتجة عن غليان مائع التثليج. وعلى هذا الأساس يوضع صمام العوامة في غلاف خارج المبخر المغمور وتوصل بأنابيب جانبية لتحسس مستوى مائع التثليج في المبخر، ومن مساوئ صمام العوامة أنه لا يغلق فتحة دخول المائع عند توقف الضاغط، وقد يسبب دخول مائع التثليج بحالته السائلة إلى الضاغط، لذا يستخدم صمام ملف لولبي كهربائي ليقوم بغلق فتحة تجهيز مائع التثليج عند توقف الضاغط، وكما مبين في الشكل (5-14)، ويمكن أن يستخدم صمام عوامة الضغط الواطئ مع المنظومات ذات المبخرات المتعددة. وإن أدائه يكون حسب الحمل الحراري على المبخر، فعند زيادة حمل التثليج عن حمل التصميم سيرتفع معدل التبخر، ويزداد معدل تدفق المائع عبر الضاغط إلى المكثف، ويعمل الصمام على زيادة معدل سريان المائع للمحافظة على مستوى السائل. إما عند انخفاض حمل التثليج فإن معدل التبخر سيقول ويرتفع مستوى السائل، عندها يبدأ الصمام بتقليل معدل سريان المائع وكذلك فإن معدل السريان خلال الضاغط إلى المكثف سينخفض مما يؤدي إلى انخفاض ضغط المبخر تبعاً لانخفاض الحمل الحراري.



شكل 5-13 صمام عوامة الضغط الواطئ



شكل 5-14 ربط صمام عوامة الضغط الواطئ

High Side Float Valve

6-5 صمام عوامة الضغط العالي

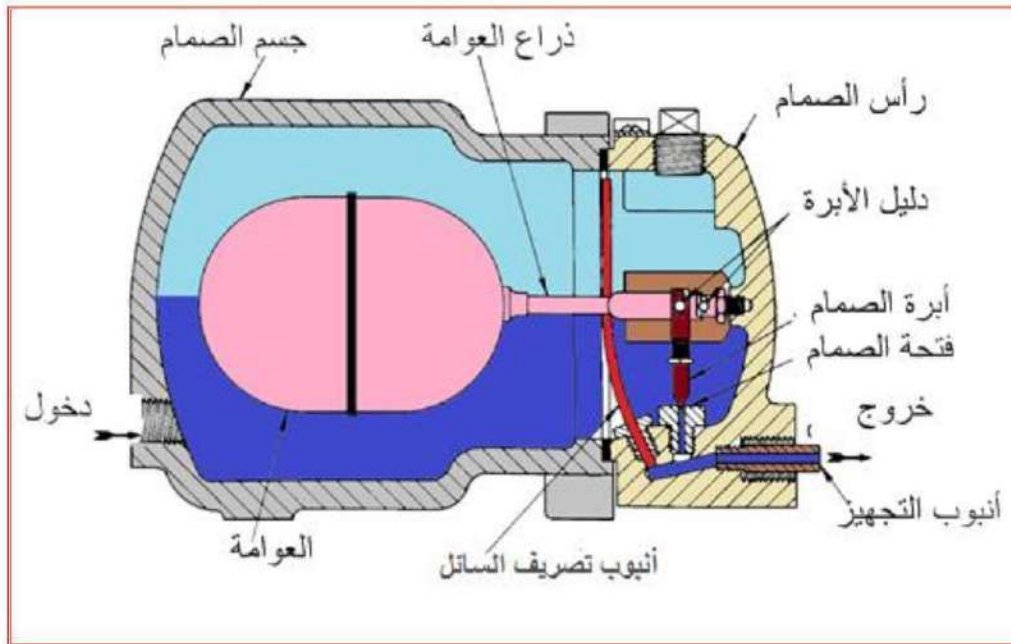
يركب صمام عوامة الضغط العالي في جهة الضغط العالي من المنظومة، ويستخدم للتحكم بكمية السائل في المبخر من خلال المحافظة على مستوى السائل ثابتاً في خزان العوامة، وتكون حركة الصمام حسب منسوب السائل والسيطرة على تدفق السائل إلى المبخر حسب معدل تبخر السائل فيها.

وكما أشير سابقاً، بأن صمام عوامة الضغط الواطئ يتحكم بمستوى السائل بشكل مباشر، لكن صمام عوامة الضغط العالي يتحكم بكمية السائل في المبخر بشكل غير مباشر، وذلك من خلال المحافظة على ثبات منسوب السائل في خزان عوامة الضغط العالي.

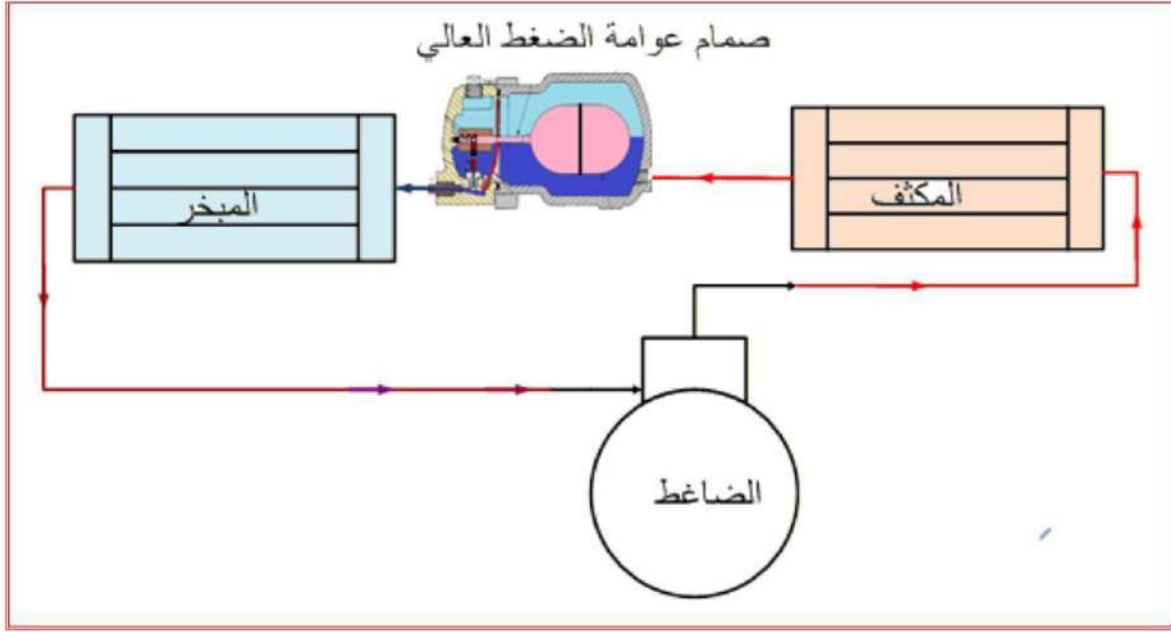
والشكل (5-15) يوضح التركيب الداخلي للصمام، حيث يلاحظ اتصال كرة العوامة من خلال ذراع بمسمار الصمام الذي ينظم فتح وغلق الفتحة الخاصة بتجهيز السائل للمبخر.

إن أساس اشتغال الصمام يعتمد على ما يتبخر من المائع في المبخر، والذي يتم تكثيفه في المكثف ليعود إلى خزان العوامة مسبباً ارتفاع منسوب السائل فيه مما يؤدي إلى ارتفاع العوامة، لتقوم بفتح الصمام لتمرير المائع من الخزان إلى المبخر. ولكون معدل التكثف للمائع في المكثف يساوي معدل التبخر في المبخر، فإن الصمام يعمل بشكل مستمر لتغذية المبخر بنفس معدل تبخره بغض النظر عن مقدار حمل تثليج المنظومة، إما عند توقف المنظومة فإن مستوى السائل في خزان العوامة ينخفض مسبباً غلق الصمام إلى أن يتم تشغيلها مرة أخرى.

إن كمية مائع التثليج في المنظومات التي تستخدم صمام عوامة الضغط العالي تكون حرجة لأن الصمام لا يسمح إلا بتجميع كمية صغيرة ومحددة في جهة الضغط العالي، وإن الكمية الأكبر ستكون في المبخر. فإذا كانت كمية المائع في المنظومة أكبر من اللازم فستزداد كمية السائل التي يغذيها الصمام إلى المبخر، وبذلك يحتمل وصول السائل إلى الضاغط، وكذلك لن يتمكن الضاغط من تخفيض الضغط الواطئ المطلوب، إما في حالة نقصان كمية مائع التثليج في المنظومة فإن عمل الصمام سيكون غير منتظم، وتكون كمية مائع التثليج الداخلة إلى المبخر قليلة. ويبين الشكل (5-16) طريقة ربط صمام عوامة الضغط العالي بدورة التثليج.



شكل 5-15 صمام عوامة الضغط العالي

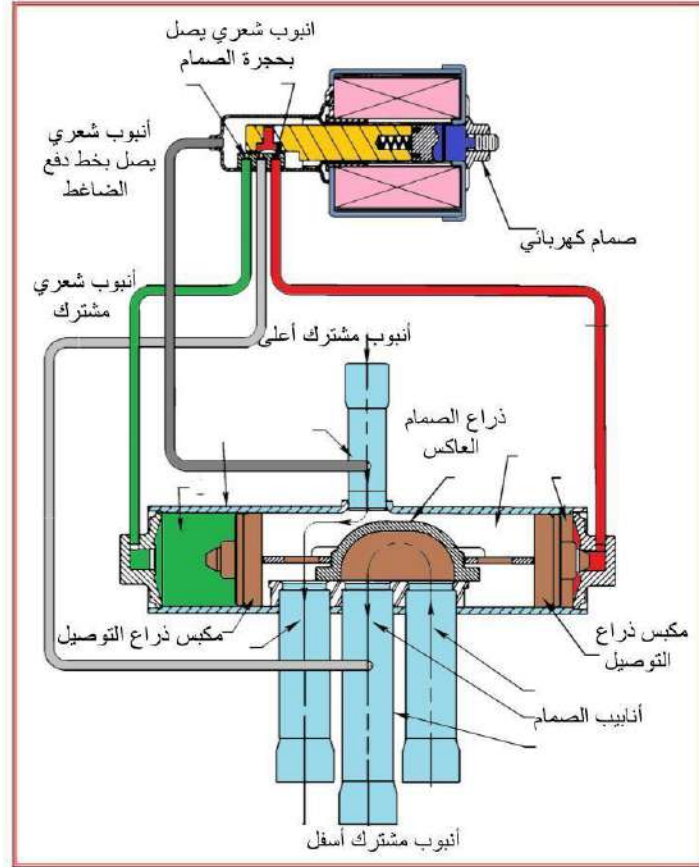


شكل 5-16 ربط صمام عوامة الضغط العالي بدورة التثليج

7-5 الصمام الرباعي

4 Ways Valve

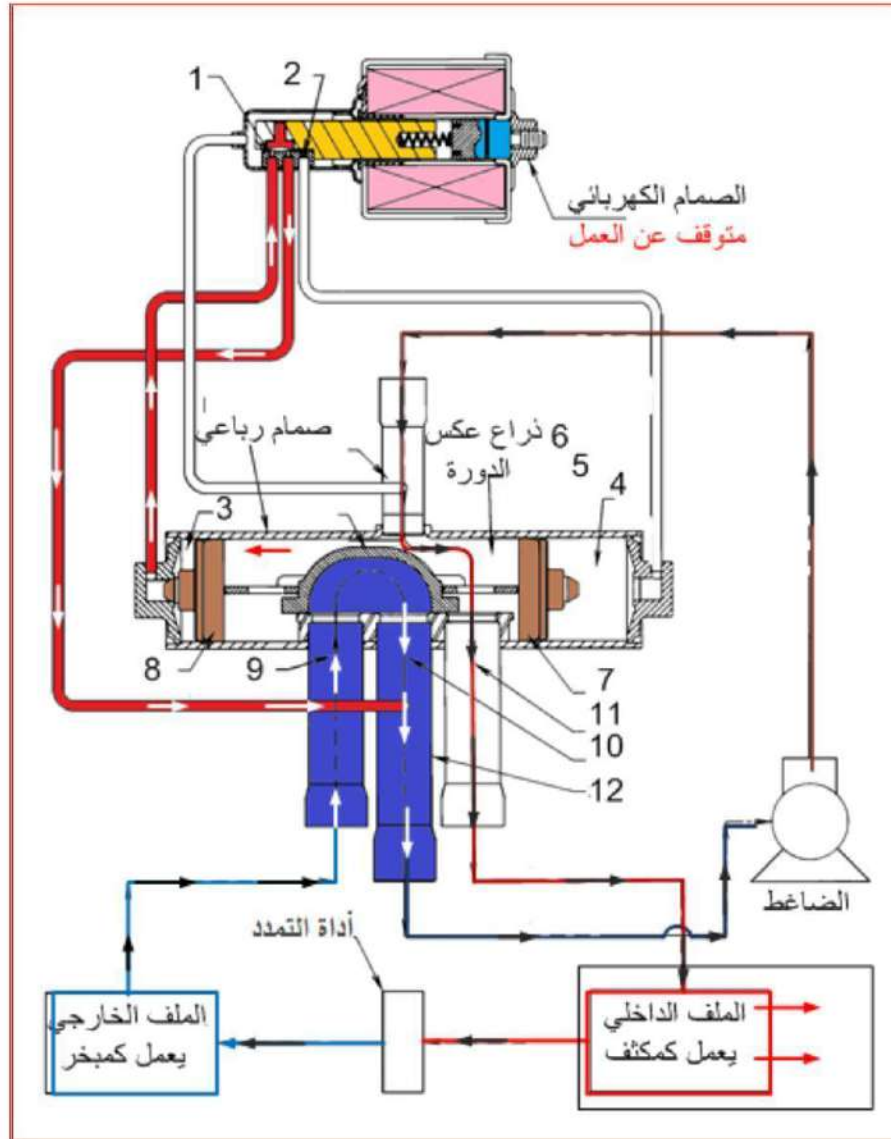
يحتوي الصمام الرباعي على أربع أنابيب رئيسة لمرور مائع التثليج إضافة إلى أربع أنابيب شعيرية متصلة بصمام كهربائي. الهدف من الأنابيب الشعيرية هي لتحريك ذراع الصمام العاكس إلى اليمين أو إلى اليسار وحسب طبيعة الدورة التي يعمل عليها الصمام، ومن هذه الأنابيب الشعيرية هنالك أنبوب متصل دائماً بخط الدفع للضاغط وآخر متصل بخط السحب للضاغط على الدوام، أما الأنبوبان الآخران فانهما متصلان بحجرتي الصمام الرباعي، ويحتوي الصمام الرباعي على ذراع عاكس يقوم الذراع العاكس بربط الأنبوب المشترك السفلي بالأنبوب الذي على يمين الأنبوب المشترك أو الذي على يساره وبحسب طبيعة الدورة. أما فائدة الصمام الكهربائي فهو لربط الأنبوب الشعيري المشترك بالأنبوبين الآخرين، وتتم هذه العملية إما عن طريق إقبال أو فصل التيار الكهربائي عن الصمام الكهربائي، وكما مبين في الشكل (5-17)، ويستخدم الصمام الرباعي لعكس دورة التكييف حيث يمكن أن تعمل دورة التثليج كمضخة حرارية تقوم بتدفئة البناية شتاءً، فضلاً عن تبريد البناية صيفاً، وكما سيتم توضيحه لاحقاً.



شكل 5-17 الصمام الرباعي العاكس للدورة

دورة التبريد:

عند إيصال التيار الكهربائي إلى الصمام الكهربائي، يتكون مجال مغناطيسي يقوم بسحب دليل الصمام، ليقوم بدوره بإيصال الخط المشترك بالخط رقم (2)، وكما هو مبين في الشكل (5-18)، وبما أن الخط المشترك مرتبط بخط سحب الضاغط، لذا سيحدث ضغط خواء في الغرفة (4) مما يؤدي إلى تغلب الضغط في الغرفة (3) ويندفع ذراع عاكس الدورة ليصل الخط (11) بالخط (10) عندها سيقوم الضاغط بضغط بخار مائع التثليج ليمر عبر الأنبوب العلوي للصمام الرباعي ومنه إلى الملف الخارجي الذي يعمل في هذه الدورة عمل المكثف، فيتكثف بخار مائع التثليج ثم يتمدد في أداة التمدد وبعد ذلك يدفع إلى المبخر ليسحب الحمل الحراري ويتحول إلى بخار، وبعد ذلك يمر بالأنبوب (11) ثم إلى الأنبوب (10) ثم إلى خط سحب الضاغط، لتعاد الدورة مرة أخرى.



شكل 5-19 الصمام الرباعي في دورة التدفئة

أسئلة الفصل الخامس

س1: عرف ما يأتي:

صمام الضغط الثابت ، التعقب ، الثرمستور ، المبخر المغمور ، الصمام

س2: اشرح عمل كل من صمامات التمدد الآتية:

الكهربائي ، الحراري ، الآلي

س3: علل ما يأتي:

1. استعمال أداة التمدد في منظومات التثليج.
2. استعمال ثرموستات على خط سحب المنظومة ذات صمام التمدد الآلي.
3. ربط صمام لولبي كهربائي على ممر جانبي موازي لصمام التمدد الحراري.
4. استخدام معادل خارجي لصمام التمدد الحراري.
5. تحكم صمام عوامة الضغط العالي بكمية السائل في المبخر بشكل غير مباشر.
6. كمية مائع التثليج في المنظومات ذات صمام عوامة الضغط العالي تكون حرجة.

س4 : عدد ما يأتي فقط:

1. صمامات التمدد لمنظومة التثليج الانضغاطية شائعة الاستعمال.
2. مميزات صمام التمدد الآلي.
3. مميزات صمام التمدد الحراري.
4. مميزات الصمام الكهربائي.

س5 : ماهي الإجراءات الواجب إتباعها للتخلص من التعقب.

س6: قارن بين:

1. الصمام الآلي والصمام الحراري.
2. صمامي طوافة الضغط العالي والواطي.

س7: ما هي فائدة الصمام الرباعي، اشرح دورتي التثليج والتدفئة مع الرسم المبسط.

الفصل السادس

منظومات التثليج الأخرى

Other Refrigeration Systems



منظومات التثليج الأخرى

Other Refrigeration Systems

Introduction

1-6 مقدمة

لاحظنا من دراستنا السابقة أن التثليج هو عملية تخفيض درجة الحرارة لحيز أو مادة والاحتفاظ بها بدرجة حرارة أقل من درجة حرارة المحيط، وبصورة دقيقة فإن التثليج هو العلم الذي يتعامل مع عملية خفض درجة الحرارة والاحتفاظ بها ضمن الحيز أو المادة المثلجة التي هي أقل من درجة حرارة المحيط، ولتحقيق ذلك فإن الحرارة يجب سحبها من المادة المطلوب تثليجها على الدوام.

إن طرائق التثليج متعددة تبدأ من الطرائق التقليدية القديمة البسيطة، التي تعتمد على استخدام الثلج الطبيعي، إلى أخرى معقدة وتتطلب مكائن ومعدات تتماشى مع التطور العلمي وتطبيقات التثليج الكبيرة والمختلفة في الوقت الراهن. فضلاً عن التثليج الانضغاطي الذي تم تناوله، هنالك طرائق مختلفة أخرى منها:

1	التثليج باستخدام الثلج الجاف	Dry Ice Refrigeration
2	التثليج الامتصاصي	Absorption Refrigeration
3	التثليج الامتزازي	Adsorption Refrigeration
4	التثليج بنفث البخار	Steam Jet Refrigeration
5	دورة الهواء للتثليج	Air Cycle Refrigeration

Dry Ice Refrigeration

2-6 التثليج باستخدام الثلج الجاف

استخدم الثلج الجاف لأول مرة عام 1834م، من قبل عالم فرنسي. ويمكن إنتاج الثلج الجاف بسهولة، عن طريق إنتاج سائل ثاني أكسيد الكربون وذلك عن طريق ضغط وتبريد غاز ثاني أكسيد الكربون. وعند تحول غاز ثاني أكسيد الكربون إلى سائل يخفض الضغط المسلط على سائل ثاني أكسيد الكربون قليلاً ويترك ليتبخر قسماً منه، وكما مبين في الشكل (1-6)، وهذا يؤدي إلى هبوط درجة حرارة سائل ثاني أكسيد الكربون بشدة، ونتيجة لهبوط درجة الحرارة يتكون ثلج دقيق الوفر (Snow)، وبعدها يُجمع الثلج الدقيق ويضغط بقوالب معينة ليكون أشكال مختلفة، وكما هو مبين في

الشكل (6-2)، ويمكن أن نصل إلى درجات حرارة منخفضة جداً تصل إلى حوالي (-73°C)، ويستخدم الثلج الجاف بكثرة بسبب سهولة العمل به فضلاً عن سهولة تداوله. ومن المعروف إن الثلج الجاف لا يكون مخلفات عند ذوبانه حيث أنه يتسامى في أثناء تغير طوره أي أنه يتحول من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية مباشرة، لذا لا خوف من احتمال تبلل المواد المحفوظة. ومن الممكن أن يعوض الثلج الجاف عن المجمدة المنزلية حيث أن ثلاثة إلى أربعة كيلوغرامات من الثلج الجاف ممكن أن يقوم بعمل مجمدة منزلية لمدة 24 ساعة. ويجب عدم خزن الثلج الجاف في المجمدات الاعتيادية لكون درجة حرارته أقل بكثير من درجة حرارة المجمدة وهذا يؤدي إلى فصل المنظم الحراري للمجمدة وتوقفها عن العمل، ويعادل الثلج الجاف بكفاءته ما يعادل ثلاث إلى اربع مرات مقارنة بالثلج الاعتيادي. ويستخدم في حفظ الأغذية في أثناء نقلها وخاصة في النقل البحري، ويجب الحذر من العمل بالثلج الجاف حيث أنه يسبب حروقاً كتلك التي يسببها النيتروجين السائل، وكذلك الحذر من الدخول إلى المخازن التي تستخدم الثلج الجاف حيث أنه وكما تم ذكره يتحول إلى غاز ثاني أوكسيد الكربون والذي يسبب ضيقاً في التنفس وقلة الأوكسجين في الدم وبالتالي يسبب الاختناق.



شكل 6-1 تبخر سائل ثاني أوكسيد الكربون



شكل 6-2 بعض أنواع الثلج الجاف

Absorption Refrigeration

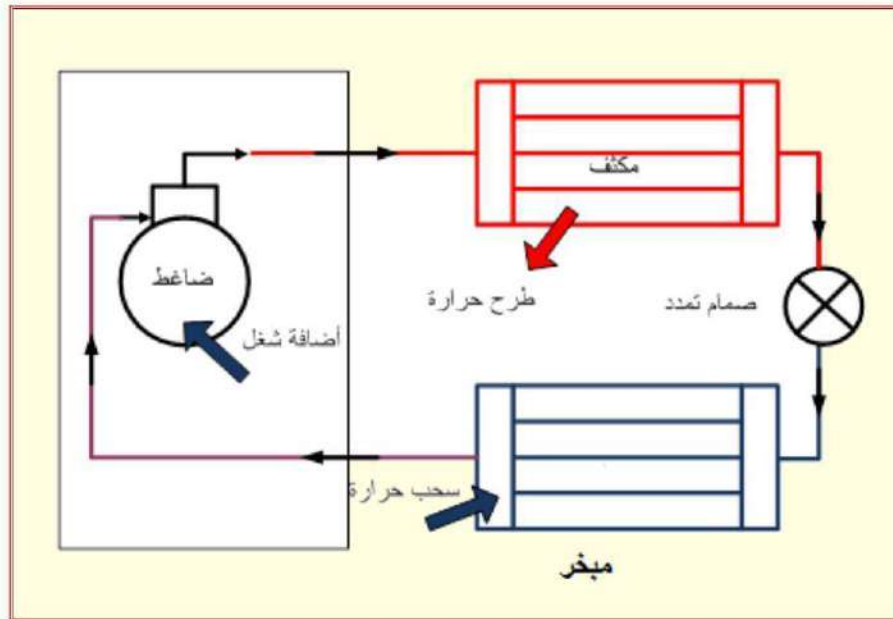
3-6 التثليج الامتصاصي

يعتبر العالم الفرنسي فريدناند كير هو أول من وضع مبادئ دورة التثليج الامتصاصية عام 1860 حيث وضعت بديلاً للدورة الانضغاطية رغم أن معامل أداء الدورة الامتصاصية أقل بكثير من دورة التثليج الانضغاطية. والميزة الوحيدة التي تتميز بها الدورة الامتصاصية أنها يمكن أن تعمل بواسطة أي مصدر حراري (مثل الطاقة الشمسية والبخار والمياه الساخنة المطرودة من محطات توليد الطاقة الكهربائية) في حين أن دورة التثليج الانضغاطية لا تعمل إلا بواسطة الطاقة الكهربائية. تتشابه دورة التثليج الانضغاطية مع دورة التثليج الامتصاصية في المكثف والمبخر وصمام التمدد. الاختلاف الوحيد بين الدورتين هو طريقة انضغاط بخار مائع التثليج.

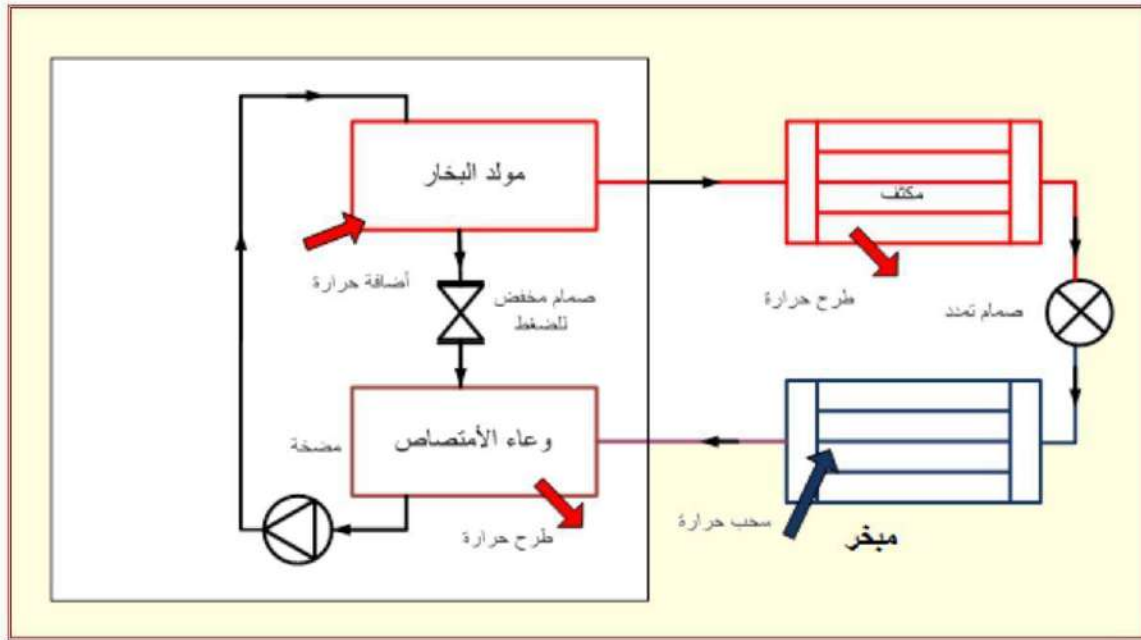
1-3-6 منظومة التثليج الامتصاصية البسيطة

Simple Absorption Refrigeration System

يتم الاستعاضة عن عمل الضاغط في المنظومات الانضغاطية بثلاثة أجزاء رئيسية في المنظومات الامتصاصية، وعاء الامتصاص (Absorber)، مضخة تدوير (Circulating Pump) ومولد بخار (Generator). وعلى هذا الأساس تكون الأجزاء الرئيسية للمنظومات الامتصاصية هي المكثف، أداة التمدد، والمبخر كما في المنظومات الانضغاطية، بالإضافة لوعاء الامتصاص، مضخة التدوير والمولد، والشكل (3-6) يوضح رسماً تخطيطياً لمنظومة انضغاطية أساسية، بينما يوضح الشكل (4-6) رسماً تخطيطياً للمنظومة الامتصاصية الأساسية.



شكل 3-6 دورة التثليج الانضغاطية



شكل 4-6 دورة التثليج الامتصاصية

من الشكلين (3-6) و(4-6) يلاحظ تشابه مبدأ عمل المنظومتين الامتصاصية والانضغاطية، حيث يتبخّر مائع التثليج في المبخر لإحداث التأثير التبريدي، ثم يتكثف في المكثف ليطرد الحرارة منه. لكن الاختلاف الأساسي بين المنظومتين، هو عملية الانضغاط من ضغط المبخر إلى ضغط المكثف، ففي المنظومة الانضغاطية يتم ذلك باستخدام الطاقة الميكانيكية للضاغط، إما في المنظومة الامتصاصية فيتم ذلك من خلال الأجزاء والإجراءات الآتية:

أ- مولد البخار Vapor Generator

يحتوي مولد البخار على مادتين، الأولى هي المادة الماصة والثانية هي مائع التثليج، ويمكن استخدام محلول مركز من الأمونيا والماء، إذ تعتبر الأمونيا مائع التثليج العامل في الدورة في حين أن الماء هو المحلول الماص للبخار، كما يمكن استخدام ملح بروميد الليثيوم المتمعن والذي يعتبر المادة الماصة والماء والذي يعتبر مائع التثليج. وتبدأ عملية تولد البخار عن طريق إضافة الحرارة إلى المولد (بواسطة شُعلة أو ماء ساخن أو بخار ماء أو وقود أو طاقة كهربائية أو شمسية)، يبدأ مائع التثليج بالتبخّر والانفصال قبل الماء تحت ضغط عالٍ كون درجة غليان مائع التثليج أقل من درجة غليان الماء الذي يدفع إلى المكثف.

ب- المكثف Condenser

يعمل المكثف على تبريد بخار مائع التثليج وتحويله إلى سائل، وقد يكون المكثف مبرداً بالماء أو الهواء حسب سعة المنظومة.

ت- أداة التمدد: يتمدد سائل مائع التثليج بعد المكثف أما بواسطة أداة التمدد أو عن طريق تعريضه إلى ضغط واطئ، كما سيتم شرحه في الثلاجة الامتصاصية.

ت- المبخر Evaporator

فيه يتم غليان مائع التثليج عند ضغط ودرجة حرارة واطئين ونتيجة لتبخر سائل التثليج يتم سحب الحرارة من الحيز المراد تثليجه، بعد ذلك يذهب بخار مائع التثليج إلى وعاء الامتصاص.

ث- وعاء الامتصاص Absorber

يحتوي وعاء الامتصاص على المادة الماصة لبخار مائع التثليج، وقد تكون المادة الماصة هي الماء إذا كانت الأمونيا مائع التثليج، أو قد تكون ملح بروميد الليثيوم المتميع إذا كان مائع التثليج هو الماء، وفيه يتم امتصاص بخار مائع التثليج من قبل المحلول الضعيف القادم من مولد البخار، وبما أن المولد عند ضغط عالٍ والوعاء الماص عند ضغط واطئ لذلك يستخدم صمام خافض للضغط يقوم بخفض ضغط المحلول الضعيف قبل دخوله الوعاء الماص. بعد إتمام عملية امتصاص بخار مائع التثليج من قبل المحلول الضعيف يتحول المحلول الضعيف إلى محلول مركز ويدفع إلى مولد البخار بواسطة مضخة صغيرة ويمر المحلول المركز عبر المبادل الحراري لرفع درجة حرارته قبل دخوله مولد البخار.

2-3-6 المنظومات الامتصاصية شائعة الاستخدام

هناك العديد من منظومات التثليج الامتصاصية، وسيقتصر الشرح في هذا الفصل على منظومتين شائعتي الاستخدام هما:

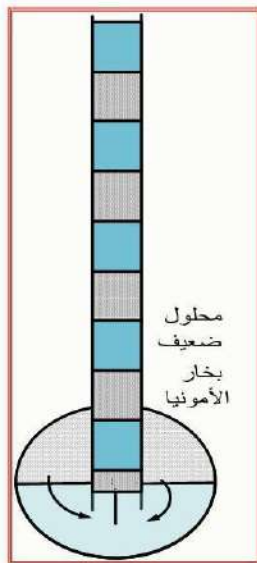
1- منظومة الأمونيا- الماء- الهيدروجين Ammonia-Water-Hydrogen System

2- منظومة بروميد الليثيوم- ماء Lithium Bromide - Water System

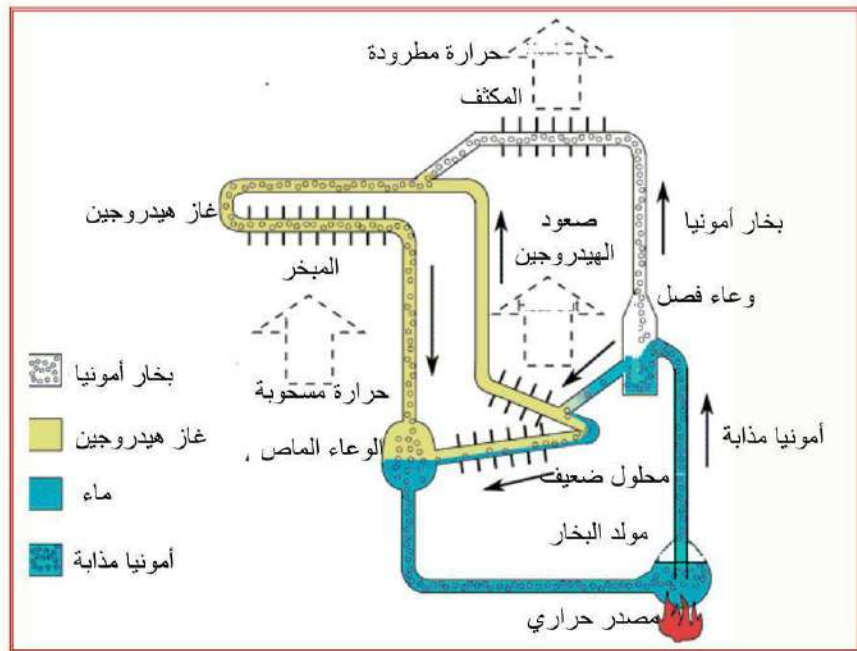
1-2-3-6 منظومة أمونيا – ماء- هيدروجين الامتصاصية (ثلاجة الكترولكس)

وتسمى ثلاجة الكترولكس أحياناً بالثلاجة النفطية، حيث أستخدم النفط لأول مرة كمصدر للحرارة. ويستخدم فيها الأمونيا كمائع تثليج على الرغم من كونه مادة سامة وغير ملائمة للاستخدامات المنزلية، إلا أن عنصر الأمان موجود بسبب عدم وجود أجزاء متحركة تسبب تسرب غاز الأمونيا منها. وإن مبدأ عمل هذه المنظومة يعتمد على قانون دالتون للضغوط الجزئية. والشكل (5-6) يمثل رسماً تخطيطياً لمنظومة أمونيا – ماء – هيدروجين الامتصاصية.

يوضح الشكل المذكور حركة الموائع الثلاثة. إن المنظومة بأكملها تكون مشحونة بضغط ثابت (تقريباً 15 Bar)، يبدأ عمل الدورة في مولد البخار، حيث يبدأ بخار الأمونيا بالتبخّر تحت ضغط عالٍ نتيجة لتسخين المولد بواسطة شُعلة تستخدم النفط كوقود. يتجمع بخار الأمونيا أعلى المحلول في المولد ولا يستطيع الذهاب مباشرة إلى المكثف إلا عن طريق مروره خلال المحلول في المولد مما يؤدي إلى دفع المحلول الضعيف أمامه، وتستخدم هذه الطريقة للتخلص من المضخة التي تقوم بسحب المحلول الضعيف وتسمى هذه الطريقة بالمضخة الفقاعية، وكما هو مبين في الشكل (6-6)، بعد ذلك يصعد بخار الأمونيا والمحلّول الضعيف إلى الفاصل حيث ينفصل المحلول الضعيف عن بخار الأمونيا التي تذهب إلى المكثف، حيث تتكثف هناك. وينساب ليُدخل المبخر من الجهة العليا بفعل الجاذبية. وفي المبخر (الذي يحتوي على خليط من بخار الأمونيا وغاز الهيدروجين، لذلك يكون ضغط بخار الأمونيا الجزئي أقل بكثير من الضغط الكلي) يكون هنالك غاز الهيدروجين بضغط 12 Bar، ولهذا سيصبح الضغط الجزئي لبخار الأمونيا 3 Bar، عندها ينخفض ضغط سائل الأمونيا بشدة، كما يحصل بفعل صمام التمدد لذلك تغلي الأمونيا في المبخر عند درجة حرارة مقدارها (-10°C)، وبسبب تبخر الأمونيا عند هذه الدرجة سيحدث التثليج في المبخر. بعدها يذهب بخار الأمونيا مع غاز الهيدروجين إلى وعاء الامتصاص حيث يلتقي بالمحلّول الضعيف النازل، وهناك يمتص المحلول الضعيف الأمونيا ليصبح مركزاً وينزل إلى المولد في حين أن غاز الهيدروجين يرجع مرة ثانية إلى المبخر. ويعرف المحلول الضعيف بأنه المحلول الذي يحتوي على تركيز قليل من الأمونيا، في حين أن المحلول المركز هو المحلول الغني بالأمونيا.



شكل 6-6 عمل المضخة الفقاعية

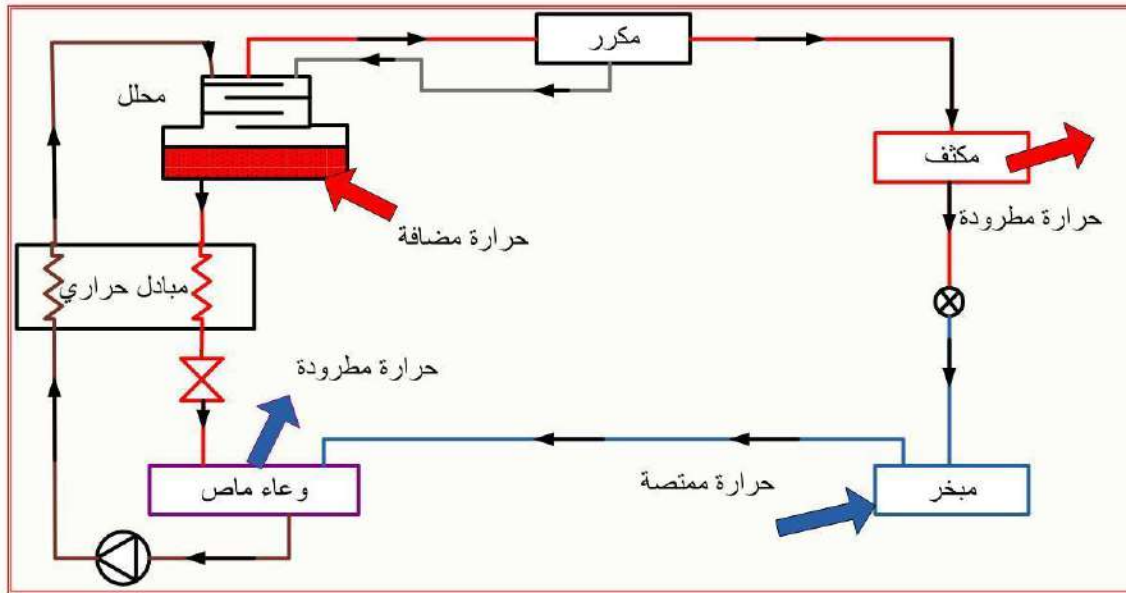


شكل 5-6 منظومة أمونيا-ماء-هيدروجين الامتصاصية

ومن الجدير بالذكر في هذا الموضوع أن هنالك منظومة امتصاصية مشابهة لهذه المنظومة هي منظومة الماء - أمونيا الامتصاصية، المبينة في الشكل (6-7)، عدا أنه يستعاض عن الهيدروجين بصمام تمدد لغرض خفض الضغط. إذ يتم امتصاص بخار الأمونيا في وعاء الامتصاص ويضخ محلولاً مركزاً بالأمونيا إلى المولد وتجهز الحرارة ويسخن المحلول مؤدياً إلى تبخر الأمونيا مع بعض الماء، وبسبب تبخر بعض الماء مع الأمونيا لابد من إضافة الأجزاء التالية:

المحلل Analyzer: يربط أعلى مولد البخار ويتكون من صفائح متفاوتة الهدف منها توفير أكبر مساحة تماس لبخار الأمونيا المحمل بالماء، وبسبب حدوث تماس مباشر بين بخار الأمونيا المحمل بالماء الساخن مع الماء البارد القادم من المصحح، ويتكثف بخار الماء تبعاً لذلك والعودة إلى المولد.

المكرر Rectifier: وهو الجزء الذي يلي المحلل حيث يقوم بسحب ما تبقى من بخار الماء المصاحب لبخار الأمونيا، ويستخدم التبريد غير المباشر لبخار الأمونيا، ويستخدم مبادل حراري حاوي على الماء البارد، وعند إتمام عملية التكثيف يُعاد الماء المتكثف إلى المحلل ليساعد في التكثيف الأولي لبخار الماء. في المكثف تنخفض درجة حرارة بخار الأمونيا إلى (10°C) .



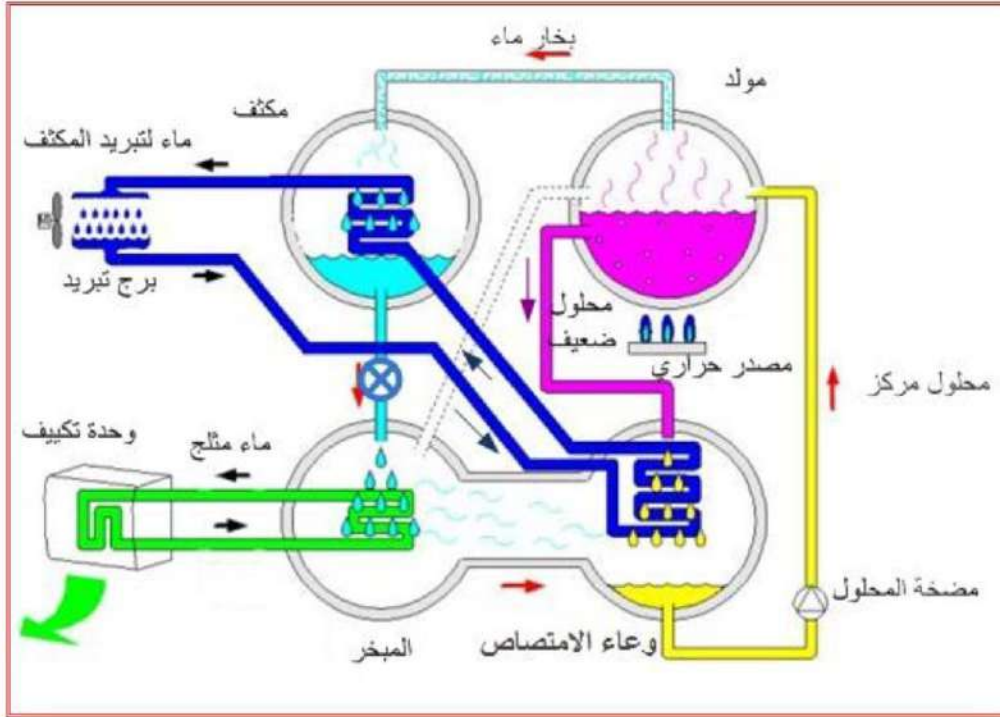
شكل 6-7 رسماً تخطيطياً لأجزاء منظومة الأمونيا - ماء الأساسية

2-2-3-6 منظومة بروميد الليثيوم- ماء الامتصاصية

في هذه المنظومة يكون الماء هو مائع التثليج وبروميد الليثيوم يستخدم كمادة امتصاص، نظراً لقابليته الكبيرة على امتصاص الماء. وهذه المنظومة تستعمل للحصول على درجات حرارة في المبخر أعلى من الصفر السيليزي لاستخدامها الماء كمائع تثليج، وتستخدم هذه المنظومة لأغراض تكييف الهواء.

يبين الشكل (6-8) دورة تثليج بروميد الليثيوم- ماء الفعلية، وهي مشابهة لدورات التثليج الامتصاصية الأخرى، حيث يزود المولد بمصدر حراري، يؤدي إلى تبخر الماء تحت ضغط عالٍ، بعد ذلك يذهب بخار الماء إلى المكثف المبرد بالماء حيث يستخدم برج تبريد لإعادة تبريد الماء واستخدامه مرة أخرى، عند مرور بخار الماء على المكثف يتحول إلى سائل، بعدها يمر خلال صمام التمدد حيث تنخفض درجة حرارته بشدة، ولكن تبقى أكبر من الصفر السيليزي، بعد ذلك يرش الماء على ملف يحتوي على ماء وحدة التكييف، ويحصل تماس غير مباشر بين الماء المستخدم في المنظومة الامتصاصية وماء وحدة التكييف داخل الأنابيب، مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة ماء وحدة التكييف، إذ يرسل هذا الماء ويستعمل في وحدات المروحة والملف (Fan Coil) في البناية.

بعد ذلك يتبخر الماء مرة ثانية ويذهب إلى وعاء الامتصاص، في مرحلة موازية لمرحلة تكثيف الماء، ينزل المحلول الضعيف من المولد بفعل الجاذبية إلى الأسفل ويرش على ملف يحتوي على ماء برج التبريد، حيث يبرد المحلول الضعيف كي يجهز لعملية امتصاص جديدة لبخار الماء، في وعاء الامتصاص يلتقي بخار الماء مع المحلول الضعيف البارد وتحصل عملية الامتصاص ونحصل على المحلول المركز، والذي يدفع مرة ثانية إلى المولد لتُعاد العملية مرة أخرى.



شكل 6-8 منظومة بروميد الليثيوم- ماء الامتصاصية الفعلية

وعند مقارنة المنظومة الامتصاصية مع المنظومة الانضغاطية يمكن ملاحظة ما يأتي:

- 1- إن المنظومة الامتصاصية أقل ضوضاءً واستهلاكاً للطاقة من المنظومة الانضغاطية، لأن الجزء المتحرك فيها هو مضخة التدوير فقط.
- 2- إن استخدام المنظومة الامتصاصية للطاقة الحرارية، يسهل استخدام أنواع مختلفة أخرى من الطاقة، مثل الطاقة الشمسية أو الطاقة الحرارية المهدورة خلال بعض العمليات الصناعية.
- 3- في المنظومة الانضغاطية يتطلب تحميص بخار مائع التثليج الداخل للضاغط، لتجنب الآثار السلبية لقطرات السائل الداخلة للضاغط، لكن هذا التأثير لا وجود له في المنظومة الامتصاصية.
- 4- يمكن أن تكون المنظومات الامتصاصية بسعات تثليجية عالية تتجاوز (1000 TR)، لكن هذه السعة لا يمكن بلوغها بضاغط واحد بالمنظومات الانضغاطية.
- 5- معامل الأداء للمنظومات الانضغاطية غالباً ما يكون أكبر من واحد، بينما للامتصاصية يكون أقل من واحد.

4-6 التبريد الامتزازي

Adsorption Cooling

يتكون التبريد الامتزازي من مادة رئيسة تسمى زوج الامتزاز، والذي بدوره يتكون من مادتين هما المادة المازة والمادة الممتزة، وكما يأتي:

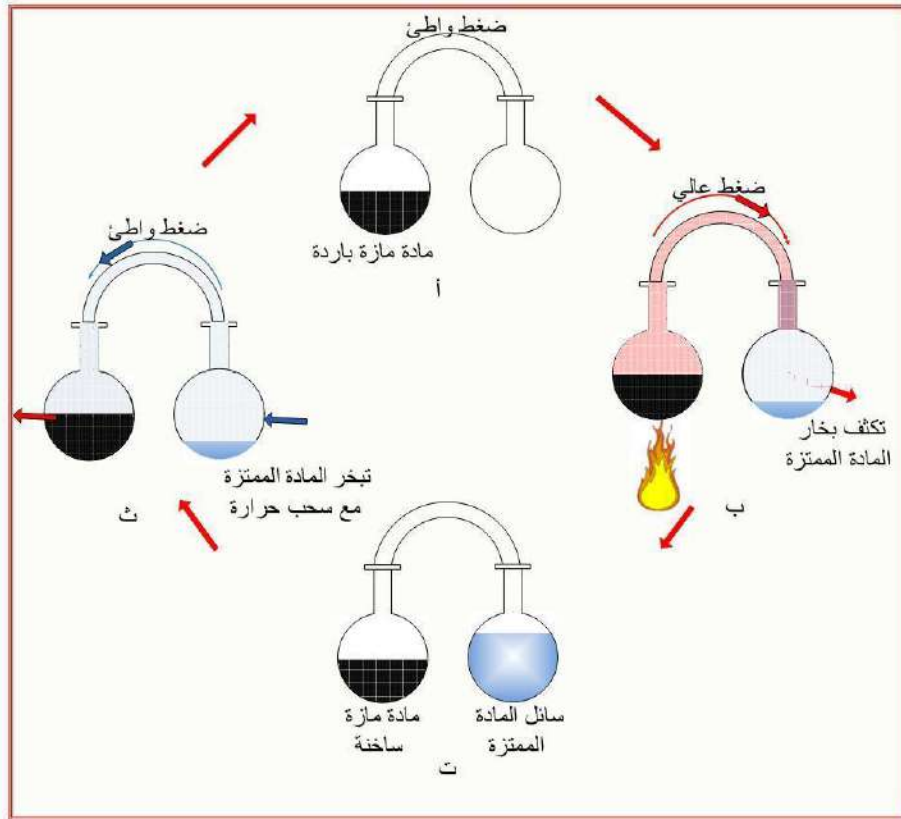
1- **المادة المازة Adsorbent** المادة المازة هي المادة التي تكون عادة ذات مسامية عالية جداً، وتتميز بمساحة سطحية عالية نتيجة المسامية العالية لها، ويمكن لهذه المادة أن تمتز المواد على مساحتها السطحية عن طريق قوة تجاذب الجزيئات، وتتم عملية الامتزاز قريباً من إجراء ثابت درجة الحرارة. ومن المواد المازة التي تقوم بامتزاز الغازات هي الكربون المنشط Active Carbon والسليكا جل Silica Gel والألومينا Alumina.

2- **المادة الممتزة Adsorbate** وهي مادة ذات درجة غليان منخفضة نوعاً ما، تتميز بصغر جزيئاتها نسبة إلى مسامية المادة المازة، ويستخدم في نظام الثلاثيات الامتزازية الميثانول Methanol أو الإيثانول Ethanol أو موائع التثليج الاعتيادية.

3- **زوج الامتزاز Adsorption Pair** عند جمع المادة المازة مع المادة الممتزة نحصل على زوج الامتزاز، وفي نظام التبريد تعمل المادة المازة عمل الضاغط في دورة التثليج الانضغاطية في حين أن المادة الممتزة هي مانع التثليج الذي يقوم بنقل الحرارة من المبخر عن طريق تغير الطور.

1-4-6 مبدأ عمل دورة التثليج الامتزازية

في بداية الدورة تكون المنظومة جميعها عند ضغط واطئ ودرجة حرارة الجو، وكما مبين في الشكل (9-6 أ). تحتوي المادة المازة والتي قد تكون كاربون منشط على كمية كبيرة من سائل المادة الممتزة والتي قد تكون الميثانول، فعند تسخين الوعاء الذي يحتوي على الكربون المنشط والذي يسمى المولد، يبدأ الميثانول بالتبخر ويزداد ضغطه ودرجة حرارته، ويتحول بخار الميثانول إلى الوعاء الفارغ، حيث يبدأ بطرح الحرارة إلى الجو ويتحول إلى سائل مرة أخرى، كما في الشكل (9-6 ب)، ومع استمرار التسخين يتحول الميثانول من المولد إلى الوعاء الثاني الذي يعمل في هذه المرحلة عمل المكثف، كما مبين في الشكل (9-6 ت)، عند توقف عملية التسخين يبدأ المولد بفقدان الحرارة مما يؤدي إلى هبوط درجة حرارته إلى درجة حرارة الجو، عندها ينخفض الضغط في المنظومة، مع انخفاض الضغط يبدأ سائل الميثانول بالغليان وسحب الحرارة من المحيط، ويعمل الوعاء الثاني هنا عمل المبخر، مع استمرار تبخر الميثانول يحدث فعل التثليج، ويقوم المولد بامتزاز بخار الميثانول حتى يتم تبخر جميع سائل الميثانول من المبخر، وكما هو واضح من الدورة، فإنها دورة غير مستمرة، أي أن المنظومة إما أن تعمل عمل تحرير بخار الميثانول والتكثيف، أو تعمل عمل تبخر الميثانول وإعادة امتزاز بخار الميثانول.



شكل 6-9 مبدأ عمل دورة التثليج الامتزازية

2-4-6 التلاجة الامتزازية

تعمل التلاجة الامتزازية على مبدأ عمل دورة التثليج الامتزازية الذي تم شرحه مسبقاً، ويكون المصدر الحراري المستخدم في المولد إما شُعلة حرارية أو ماءً ساخناً من الحرارة المطروحة أو من المجمعات الشمسية أو عن طريق الاستخدام المباشر لأشعة الشمس، وسنشرح هنا مبدأ عمل التلاجة الامتزازية التي تعمل على الطاقة الشمسية والتي تتكون من:

1- مولد البخار: وهو مجمع شمسي مسطح، يتكون من صندوق معدني مغلق يحتوي على كاربون منشط، والمبين في الشكل (6-10). ويحاط الصندوق المعدني المغلق بعازل حراري من جميع أسطحه باستثناء السطح المعرض للشمس، والذي يطلّى باللون الأسود المعتم لزيادة قابليته على امتصاص أشعة الشمس، وبعد ذلك يوضع الصندوق المعدني داخل غلاف المجمع الشمسي ويغطى بطبقة من الزجاج، ويتم شحن المولد بكمية من الميثانول يعادل وزنها حوالي ثلث وزن الكاربون المنشط، وكما مبين في الشكل (6-11).

2- المكثف: يكون المكثف من النوع المبرد بالهواء الحر اعتيادياً، ويستخدم لتكثيف بخار الميثانول القادم من المولد، ويوضع أسفل المجمع الشمسي لحمايته من أشعة الشمس المباشرة.

3- وعاء الاستلام: يوضع بعد المكثف لغرض تجميع سائل الميثانول القادم من المكثف.

4- فتحات التهوية: توضع هذه الفتحات على جانبي المجمع الشمسي وتفتح في أثناء الليل لتبريد المولد عن طريق الحمل الحر.

5- المبخر: وهو الجزء الذي يتسلم سائل الميثانول من المكثف، ويوضع المبخر داخل جسم الثلاجة لعزله حرارياً عن المحيط الخارجي.



شكل 6-11 أجزاء الثلاجة الامتزازية الشمسية

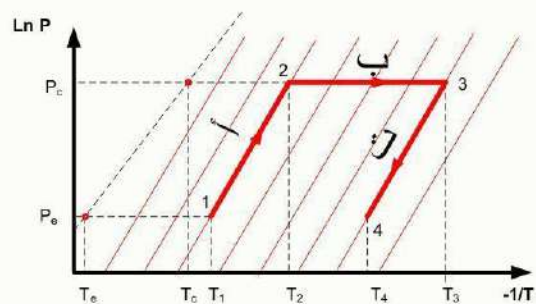
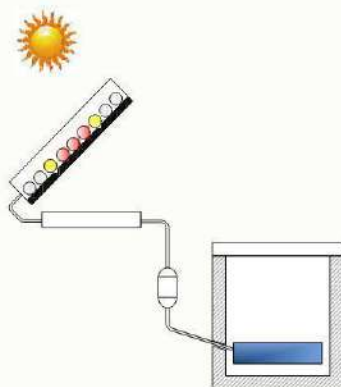


شكل 6-10 الكربون المنشط

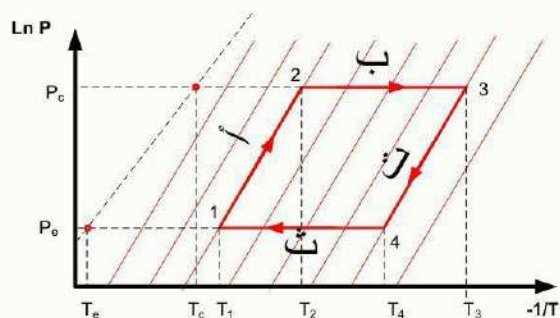
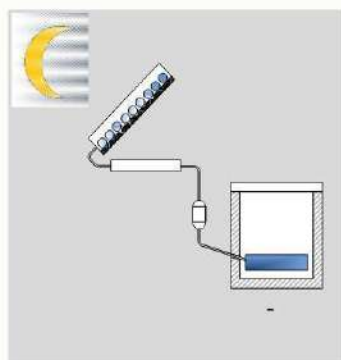
3-4-6 عمل الثلاجة الامتزازية الشمسية

ذكرنا أن الثلاجة الامتزازية الشمسية تتكون من المولد والذي يحتوي على الكربون المنشط المشبع ببخار الميثانول، فعند شروق الشمس، وكما مبين في الشكل (6-12 أ)، تسقط أشعة الشمس على سطح المجمع الشمسي مما يؤدي إلى زيادة درجة حرارة الكربون المنشط، وتحفيز الميثانول على التحرر من الكربون المنشط، مع ازدياد شدة الإشعاع الشمسي يبدأ الميثانول بالتحرر من المولد، مما يؤدي إلى زيادة في درجة حرارة المنظومة وضغطها، وبسبب ارتفاع الضغط في مولد البخار يذهب بخار الميثانول إلى المكثف حيث يبدأ بالتكثف، وتستمر عملية تحرر الميثانول طيلة فترة شروق الشمس، وفي أثناء عملية تحرر الميثانول يبقى ضغط المنظومة ودرجة حرارتها ثابتين عند الضغط العالي، وكما مبين في الشكل (6-12 ب).

مع بداية غروب الشمس تبدأ درجة الحرارة والضغط داخل المجمع الشمسي بالهبوط وتكتمل عملية تحرر الميثانول ومن ثم تكثفه وتجمعه في المبخر، وكما هو مبين في الشكل (6-12 ت)، تصل درجة الحرارة والضغط إلى أدنى قيمة لهما مع الغروب التام لأشعة الشمس، عندها يبدأ الميثانول بالتبخر عند درجة حرارة الصفر السيليزي إذا كان الضغط داخل المنظومة واطئ جداً، وكما مبين في الشكل (6-12 ث). عند استمرار تبخر الميثانول يبدأ المولد بامتزاز بخار الميثانول طوال فترة الليل إلى



ت- اكتمال تكثف الميثانول وبداية غروب الشمس مع هبوط الضغط الإجراء 4-3



ث- غروب الشمس وبداية عمل التبريد بثبوت الضغط الإجراء 1-4

شكل 12-6 مبدأ عمل الثلاجة الامتزازية التي تعمل بالطاقة الشمسية المباشرة



شكل 13-6 ب منظر أمامي للثلاجة



شكل 13-6 أ منظر خلفي للثلاجة



شكل 6-14 مثلج ماء امتزاجي سعة 20 طن تثليج

Steam Jet Refrigeration

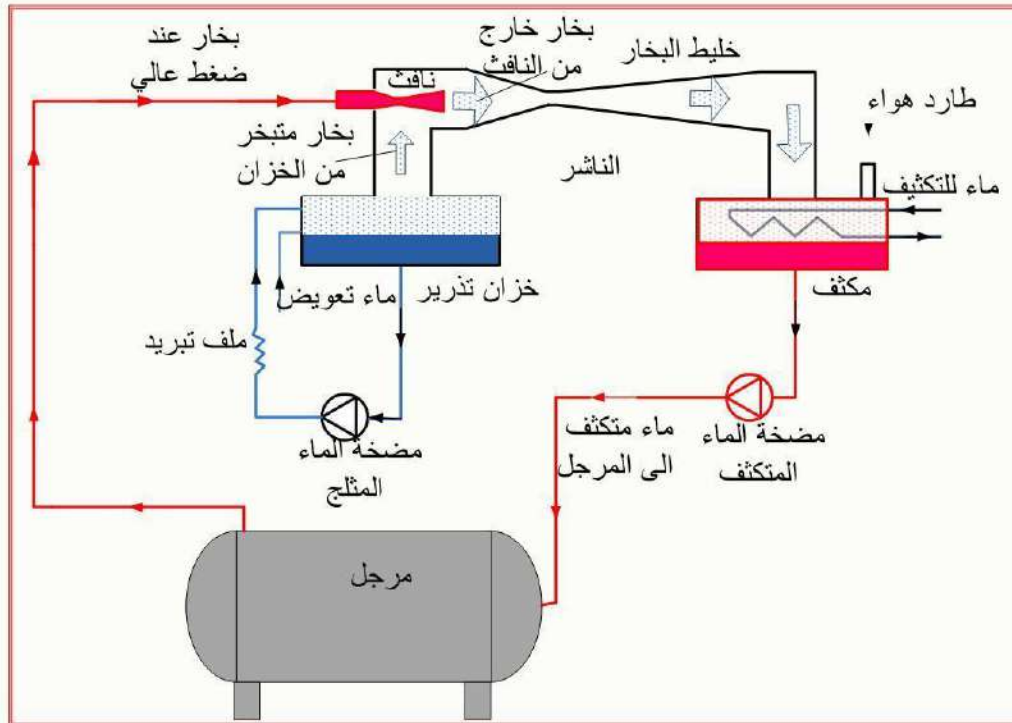
5-6 منظومة التثليج بنفث البخار

اكتشفت دورة التثليج بنفث البخار سنة 1910م، واستخدمت في المجال العملي سنة 1930م في تكييف الأبنية الكبيرة، واستخدمت الضواغط الميكانيكية في البداية لدفع البخار ومع التطور استخدمت نافثات البخار. يستخدم الماء كمائع تثليج في منظومات التثليج بنفث البخار، وتصل درجة غليان الماء إلى حوالي (4°C) عندما يكون الضغط المسلط على الماء بحدود (0.8 kPa). ويكون الحجم النوعي للماء كبيراً جداً ويساوي ($157.3 \text{ m}^3/\text{kg}$). ومن المعروف إن حدود الهبوط في درجات الحرارة محدود في هذه المنظومات وتُعد ملائمة لأغراض التكييف فقط. تستخدم هذه المنظومة في مجال التطبيقات الصناعية مثل إزالة شمع البارفين من زيوت التزيت، ولا تستخدم هذه الطريقة في التطبيقات عندما تكون درجات الحرارة أقل من (5°C)، ومن ميزات هذه المنظومة هو الترشيح في استخدام الطاقة ومحدودية الحركة الميكانيكية فيها. تستخدم منظومات التثليج بنفث البخار، نافثات للبخار، وكما مبين في الشكل (6-15) لتقليل الضغط في خزان يحتوي على ماء بارد حيث تنخفض درجة حرارته وبعد ذلك يتم تدويره خلال وحدة التكييف، وتبدأ العملية، كما مبين في الشكل (6-16) بنفث البخار بسرعة عالية خلال خزان تذير، حيث يؤدي الاندفاع السريع للبخار خلال خزان التذير إلى توليد ضغط خواء يقوم بسحب بخار الماء من خزان التذير ومع استمرار نفث البخار يبدأ الضغط في خزان التذير بالانخفاض تدريجياً، مما يؤدي إلى انخفاض مستمر في درجة حرارة الماء، ويتناسب انخفاض درجة حرارة الماء طردياً مع كمية البخار المندفعة من النفث. وبعد خروج البخار من خزان التذير يمر عبر ناشر Diffuser حيث تبدأ سرعة البخار بالانخفاض ويزاد ضغطه بحدود من 5 إلى 10 مرات أكثر

من ضغطه قبل الدخول إلى الناشر، وعند ضغط البخار الخارج من الناشر يمكن تكثيف بخار الماء عند درجة حرارة مقدارها (40°C) . بعد تكثيف البخار الذي ينسحب مع بخار الماء المنفث، ويعاد إرجاع هذا الماء المتكثف إلى المرجل مرة ثانية لإعادة استخدامه، إما الماء الذي تم تبريده فيتم تدويره خلال وحدة مروحة وملف، ويعتبر معامل أداء المنظومة قليل جداً ويكون بحدود 0.1. وقد يتسرب الهواء إلى المكثف مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة التثليج، لذا يزود المكثف بطاردات للهواء تقوم بسحب الهواء باستمرار من المكثف.



شكل 6-15 نافث البخار Ejector



شكل 6-16 منظومة التثليج بنفث البخار

6-6 دورة الهواء للتثليج

Air Cycle Refrigeration

تستعمل دورة التثليج بالهواء عادة في الطائرات المدنية والعسكرية، بسبب خفة وزنها وصغر معداتها، وتعتبر غير اقتصادية إذا استخدمت في المباني المدنية والتجارية بسبب استهلاكها الكبير للطاقة وانخفاض معامل أدائها.

تستخدم الدورات المفتوحة في منظومات التثليج بالهواء، حيث أن مائع التثليج هو الهواء ويضخ مباشرة إلى الفضاء المكيف. ولا يحدث تغير في طور الهواء في دورات الهواء للتثليج، حيث يبقى الهواء في الحالة الغازية في جميع إجراءات الدورة. تعمل منظومة الهواء للتثليج على ثلاثة إجراءات هي الانضغاط، انتقال الحرارة، ثم تمدد الهواء عن طريق إنجازها للشغل. في البداية يضغط الهواء إلى ضغط أعلى من ضغط الفضاء المراد تكييفه، وبعد ذلك يتم تبريد الهواء المضغوط بواسطة الهواء الخارجي، والذي هو عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة الهواء المضغوط، وبعد ذلك يتم تمدد الهواء عبر توربين لتتخفض درجة حرارته. حيث أن مدى انخفاض درجة حرارة الهواء يتناسب طردياً مع ما ينجزه من شغل في أثناء التمدد. ويمكن الاستفادة من تمدد الهواء في تشغيل مروحة ثانوية لسحب الهواء الخارجي لتبريد الهواء المضغوط.

1-6-6 أنواع دورات الهواء للتثليج

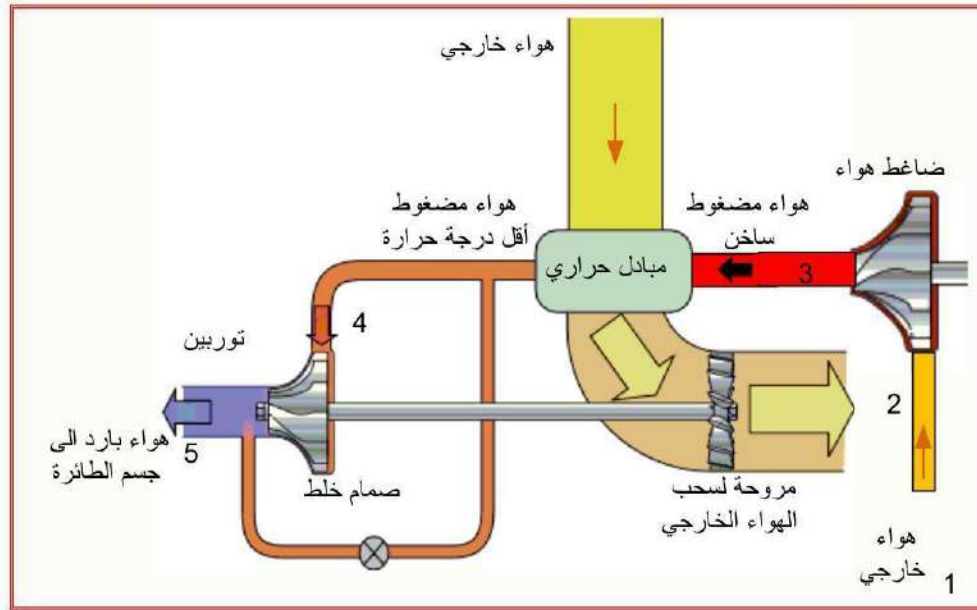
Types of Air Cycle Refrigeration

هنالك العديد من دورات الهواء للتثليج، وسيقتصر الشرح في هذا الفصل على ثلاثة أنواع هي:

1-1-6-6 دورة الهواء للتثليج البسيطة

Basic Air Cycle Refrigeration

يبين الشكل (6-17) دورة الهواء للتثليج من النوع البسيط، حيث تتكون الدورة من ضاغط توربيني، ومبادل حراري وجهاز تمدد (توربين) الذي يقوم بتشغيل مروحة لتسحب الهواء عبر المبادل الحراري. تبدأ الدورة عند عمل الطائرة، حيث يندفع الهواء إلى الضاغط من النقطة (1) وينضغط انضغاطاً أولياً بسبب سرعة الطائرة ليصبح عند النقطة (2)، بعد ذلك يقوم الضاغط برفع ضغط الهواء من النقطة (2) إلى النقطة (3)، مما يؤدي إلى ارتفاع ضغط الهواء ودرجة حرارته، بعد ذلك يمر الهواء المضغوط على المبادل الحراري ويبرد إلى النقطة (4)، بعد ذلك يسمح للهواء بالتمدد عبر توربين يقوم بتشغيل المروحة، مما يؤدي إلى انخفاض كل من ضغط الهواء ودرجة حرارته، وعندها يدفع الهواء داخل جسم الطائرة ليقوم بعملية التكييف، ويمكن لهذه المنظومة العمل عند توقف الطائرة كون الهواء المستخدم لتبريد المبادل الحراري يسحب بواسطة مروحة السحب التي تستمد شغلها من التوربين. كما ويمكن التحكم بدرجة حرارة الهواء المجهز عن طريق خلط الهواء بعد التمدد مع الهواء المار قبل التوربين عبر صمام الخلط.

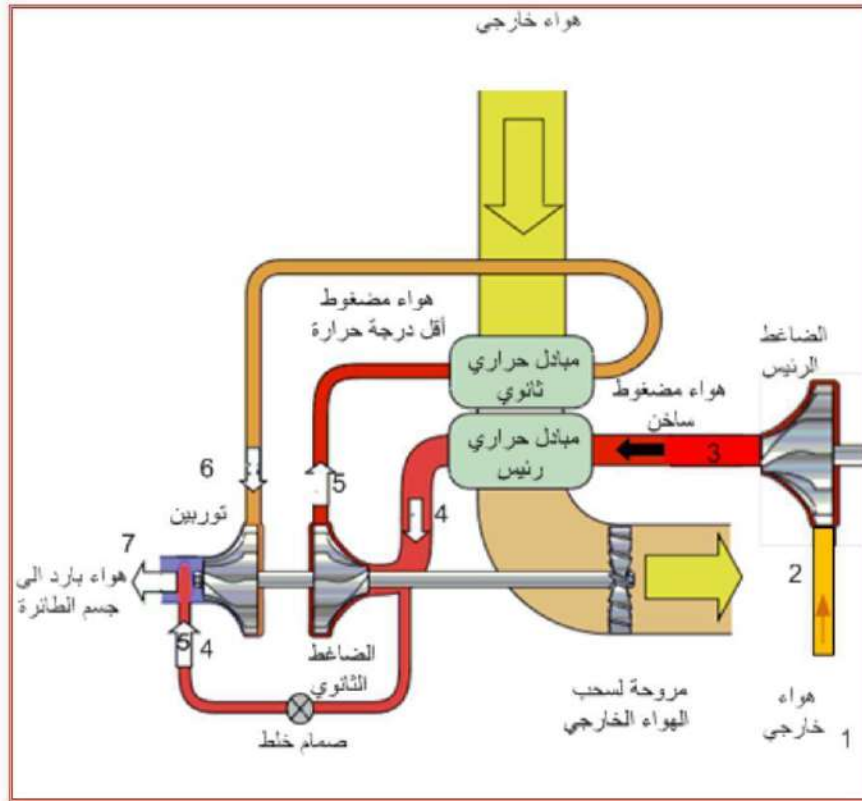


شكل 17-6 دورة التثليج بالهواء البسيطة

Bootstrap Air Refrigeration Cycle

2-1-6-6 دورة بوت- ستراب للتثليج بالهواء

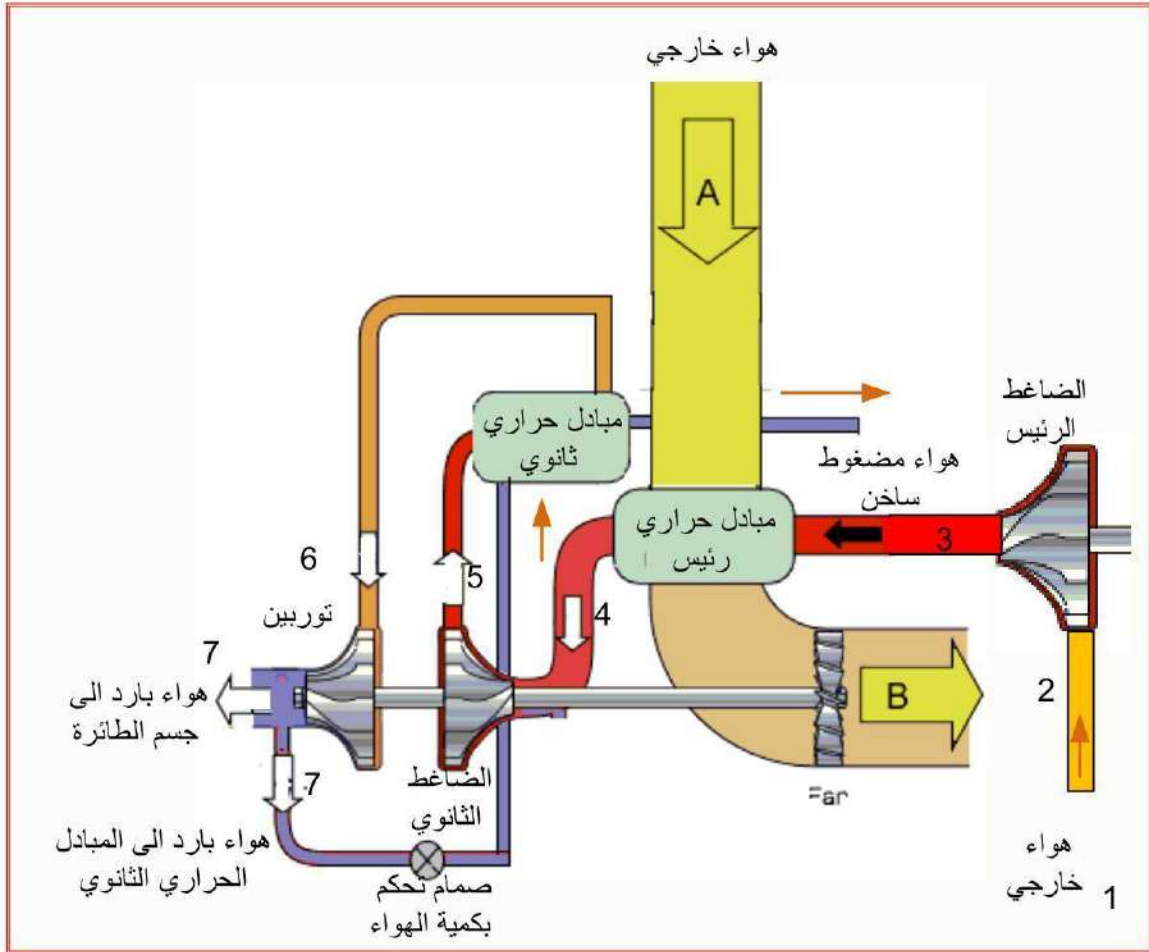
يبين الشكل (18-6) دورة بوت- ستراب للتثليج بالهواء، في هذا النوع من الدورات يستفاد من شغل التمدد في تشغيل ضاغط ثانوي بدلاً من المروحة، وتبدأ الدورة كما تم ذكره بالانضغاط انضغاطاً أولياً من النقطة (1) إلى النقطة (2) بسبب سرعة الطائرة، بعد ذلك يقوم الضاغط الرئيس برفع ضغط الهواء إلى النقطة (3) ثم تبريد أولي بواسطة المبادل الحراري الرئيس، بعد ذلك مرحلة ثانية من الانضغاط بواسطة الضاغط الثانوي ليصبح الهواء عند النقطة (5)، ثم تبريد ثانوي عبر المبادل الحراري الثانوي، ليصبح الهواء عند النقطة (6)، وأخيراً تمدد وإنجاز شغل عبر التوربين، ليكون الهواء جاهزاً لدفعه إلى حيز الطائرة. لا يمكن لهذه الدورة أن تعمل عند توقف الطائرة كون الهواء المستخدم لتبريد المبادلين الحراريين يتدفق فقط عند حركة الطائرة.



شكل 6-18 دورة التثليج بالهواء ذات الحزام

3-1-6-6 دورة التثليج بالهواء الاسترجاعية Regenerative Air Refrigeration Cycle

تعتبر هذه المنظومة تطوير لدورة الهواء البسيطة، وذلك باستخدام مبادل حراري ثانوي يتسلم جزءاً من الهواء البارد بعد تمدده وهذا مما يؤدي إلى زيادة معامل أداء الدورة، كما مبين في الشكل (6-19). يبدأ عمل الدورة عند انضغاط الهواء بواسطة الضاغط من النقطة (2) إلى النقطة (3) وبعدها يبرد المبادل الحراري بواسطة الهواء الخارجي، مما يؤدي إلى هبوط درجة حرارة الهواء المضغوط إلى النقطة (4) ثم انضغاط آخر بواسطة الضاغط الثانوي إلى النقطة (5)، بعدها يبرد الهواء المضغوط بواسطة الهواء بعد تمدده خلال التوربين، ليصبح الهواء عند النقطة (6)، وأخيراً تمدد خلال التوربين ليصبح الهواء بارداً، بعدها يُدفع إلى حيز الطائرة، ولا يمكن أن يعمل تكييف الطائرة في أثناء توقفها بسبب عدم وجود مروحة لدفع الهواء على المبادل الحراري الرئيس.



شكل 6-19 دورة التثليج بالهواء الاسترجاعية

أسئلة الفصل السادس

س1: عرف ما يأتي:

التثليج ، المكرر ، المحال ، المحلول المركز ، المحلول المخفف ، وعاء الفصل ،
التثليج الكهروحراري ، أنبوبة الدوامة ، الامتزاز ، الامتصاص

س2: اشرح معززاً إجابتك بالرسم مع التأشير على الأجزاء لكل مما يأتي:

1. منظومة التثليج الامتصاصية المنزلية.

2. منظومة التثليج بنفث البخار.

3. منظومة بوت- ستراب للتثليج بالهواء.

س3: علل ما يأتي:

1. سحب الحرارة من المادة المطلوب تثليجها.

2. شغل مضخة التدوير للمنظومة الامتصاصية أقل من شغل ضاغط المنظومة الانضغاطية.

3. استعمال منظومة بروميد الليثيوم - ماء في أعمال التكييف وليس التجميد.

4. استعمال الأمونيا في الثلاجة الامتصاصية المنزلية على الرغم من كونه مادة سامة.

5. استعمال الهيدروجين في الثلاجة الامتصاصية المنزلية.

6. انخفاض معامل أداء دورة الهواء للتثليج مقارنةً بالمنظومة الانضغاطية.

7. استعمال دورات الهواء للتثليج في الطائرات على الرغم من انخفاض معامل أدائها.

س4: قارن بين منظومات التثليج الآتية:

1. الانضغاطية والامتصاصية.

2. بروميد الليثيوم - ماء و ماء - أمونيا.

3. دورتي بوت- ستراب للتثليج بالهواء والاسترجاعية.

الفصل السابع

الكهرومغناطيسية والمحولات

Electromagnetism & Transformers



الكهرومغناطيسية والمحولات

Electromagnetism & Transformers

Introduction

1-7 مقدمة

بعد أن تم دراسة الأجزاء الميكانيكية الرئيسة لمنظومة التثليج الانضغاطية، لابد من دراسة الملحقات الإضافية، وفي مقدمتها كهربائية منظومة التثليج. ففي دراسة سابقة (المرحلة الأولى) تم التركيز على أسس ومكونات الدوائر الكهربائية، إما في هذا الفصل فسيتم التطرق لمراجعات بعض الأسس الكهربائية وخصوصاً التيار المتناوب، المغناطيسية الكهربائية، ومبدأ عمل المحركات الكهربائية مع التركيز على المحولات، المرحلات والمحركات الكهربائية المستخدمة في أنظمة التثليج.

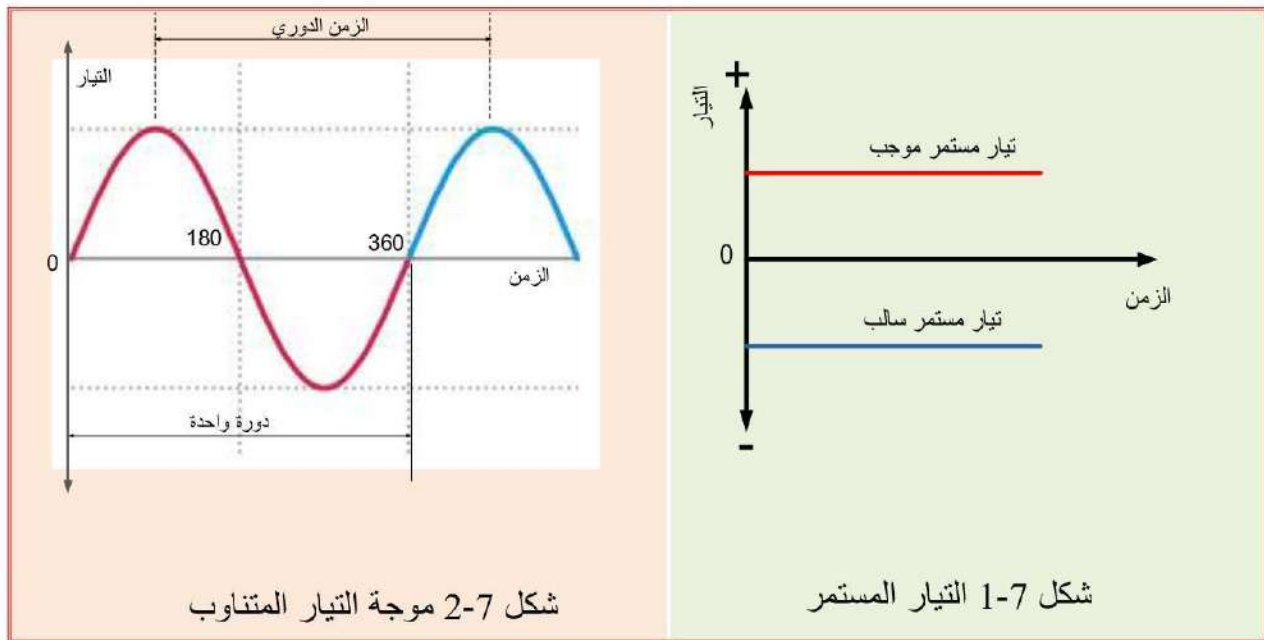
Electric Current

2-7 التيار الكهربائي

التيار الكهربائي هو سريان الإلكترونات في الدوائر الكهربائية، ويقسم إلى نوعين هما التيار المستمر (DC) Direct Current والتيار المتناوب (AC) Alternating Current، التيار المستمر هو التيار الذي يأخذ اتجاهًا ثابتاً مع الزمن حتى وإن تغيرت قيمته، لذا فالتيار المستمر قد يكون سالباً أو موجباً، وكما هو مبين بالشكل (1-7). ومن أهم مصادره البطاريات ومولدات التيار المستمر والتيار المستمر الناتج عن تحويل التيار المتناوب، ويستخدم التيار المستمر في بعض تطبيقات التثليج وتكييف الهواء من أهمها دوائر التحكم الإلكترونية، أجهزة التحكم عن بُعد، دوائر حساسات القياس لدرجة الحرارة والضغط والرطوبة.

إما التيار المتناوب (AC) فهو التيار الذي يتولد على هيئة موجة جيبية Sine Wave، حيث تتغير قيمته الآنفة واتجاهه بين سالب وموجب خلال دورة واحدة، وكما هو مبين في الشكل (2-7). ومن الشكل يمكن ملاحظة أن القيمة والاتجاه للتيار متغيران آنياً، والتغير يأخذ شكل الدالة الجيبية المتكررة وهي موجة التيار وكذلك تكون موجة الجهد الكهربائي. إن الزمن المستغرق للدورة الواحدة يسمى الزمن الدوري، والزمن الدوري هو الزمن بالثانية بين نقطتين متماثلتين على موجة التيار. إما مقلوب الزمن الدوري فيسمى التردد، والتردد Frequency هو عدد الدورات التي يعملها التيار المتردد بزمن مقداره ثانية واحدة، ويقاس التردد بوحدات (دورة / ثانية) أو ما يسمى هرتز Hz، من الشكل (2-7) يلاحظ إن قيمة الجهد أو التيار يزداد من صفر إلى أعلى قيمة ثم يقل مرة أخرى إلى الصفر وبعدها يزداد في الاتجاه العكسي إلى أعلى قيمة وبعدها يعود إلى الصفر. إن هذا التمرج يحدث خمسين مرة بالثانية إذا كان تردد المصدر (50 Hz)، أي أن زمن الدورة الواحدة هو 20 ملي ثانية كما هو في الشبكة الوطنية

العراقية والمصرية، في حين إذا كان التردد (60 Hz) كما في المملكة العربية السعودية وبعض دول الخليج فإن عدد الدورات تكون 60 دورة بالثانية. وتعد محطات توليد الطاقة الكهربائية بمختلف ساعاتها من المصادر الأساسية لتوليد التيار المتناوب. ففي محطات التوليد الكبيرة يتم إنتاج التيار الكهربائي بجهد كبير ليتم نقله خلال خطوط النقل الكهربائية، ومن هذه الخطوط يتم تجهيز المستخدم بعد تخفيض الجهد الكهربائي حسب الاستخدام، ومنها على سبيل المثال في بلدنا العراق إما أحادي الطور بفرق جهد مقداره 220 فولت أو ثلاثي الطور بفرق جهد مقداره 380 فولت.



Single-Phase AC

7-2-1 التيار المتناوب أحادي الطور

يصل التيار المتناوب إلى أعلى قيمة موجبة لفرق الجهد تساوي 200 فولت ويسمى حينها I_{max} في ربع الدورة، بينما يصل إلى أعلى قيمة سالبة له عند ثلاثة أرباع الدورة، وهو مبين في الشكل (7-3) إلا إن التيار المتناوب يعرف بقيمته الفعالة (I) والتي ترتبط بالقيمة القصوى من خلال العلاقة:

$$I = 0.707 \times I_{max} \quad (7-1)$$

وكذلك فرق الجهد الفعال يرتبط بفرق الجهد الأقصى من خلال العلاقة:

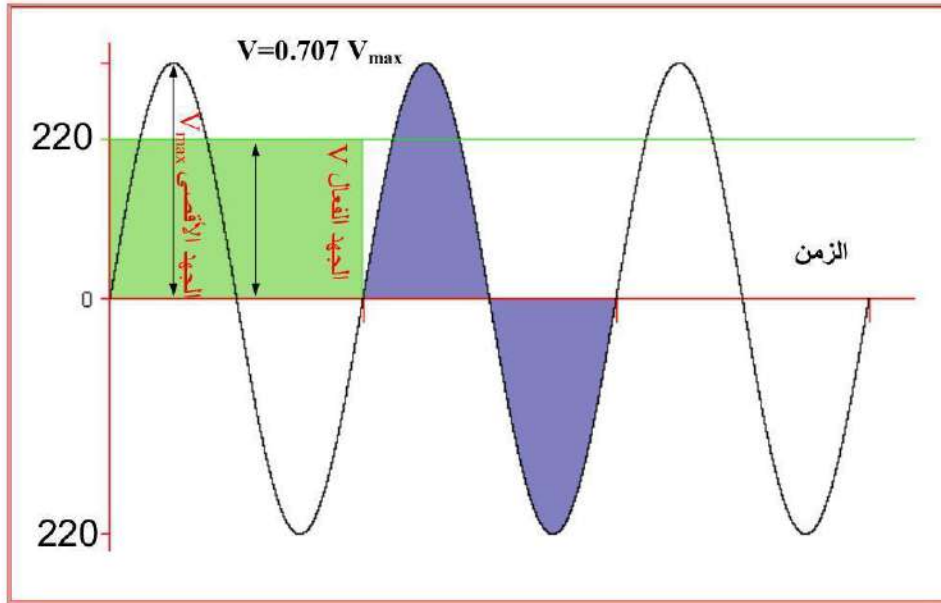
$$V = 0.707 \times V_{max} \quad (7-2)$$

ومن الجدير بالذكر إن قيمة فرق الجهد المساوي إلى 220 فولت هو الجهد الفعال لمصدر التيار المتناوب وليس فرق الجهد الأقصى، ويمكن حساب فرق الجهد الأقصى للتيار أحادي الطور عن طريق قسمة فرق الجهد الفعال والذي يساوي 220 فولت مقسوماً على 0.707 ، ويكون الناتج 311 فولت.

إما القدرة الفعالة P والتي تكون وحدتها الواط W فيمكن حسابها من المعادلة الآتية:

$$P = I \times V \times \cos(\phi) \quad (7-3)$$

حيث أن ϕ هي زاوية الطور بين موجة التيار وموجة الجهد، يكون المقدار $\cos(\phi)$ (معامل القدرة) يساوي واحد في التيار المستمر، لأنه لا يوجد فرق بالطور بين التيار والجهد أي أن ϕ تساوي صفر.



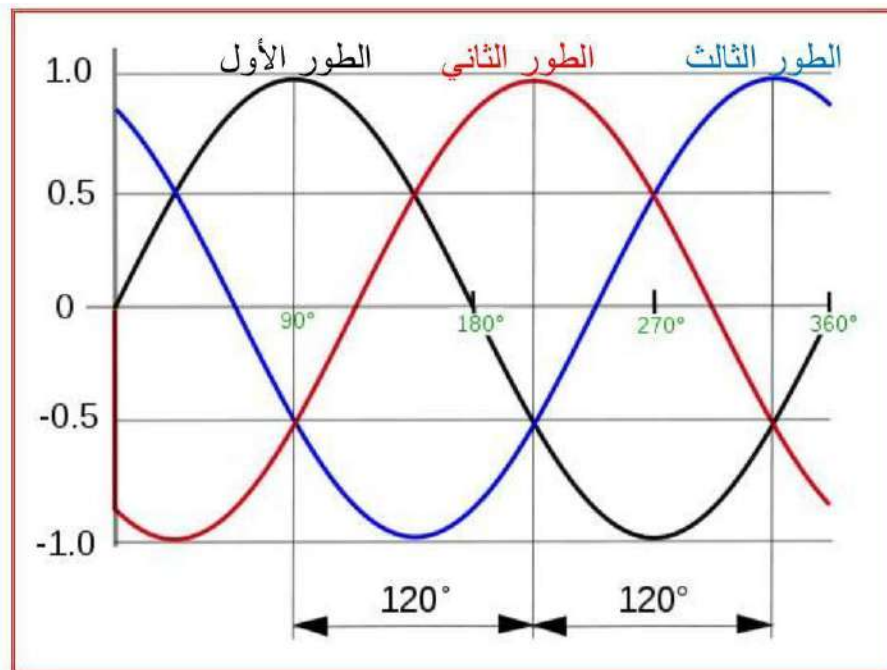
شكل 3-7 مصدر وموجة تيار متناوب أحادي الطور

ومن الأحمال الكهربائية التي تستخدم التيار المتناوب أحادي الطور الأجهزة المنزلية ومنها الثلاجة، المجمدة، مكيفات الغرف بنوعيتها الشبكي والمنفصلة، برادات الماء، وغيرها.

Three-Phase AC

2-2-7 التيار المتناوب ثلاثي الطور

إن هذا النوع من التيار المتناوب يتكون من ثلاثة خطوط لجهود متناوبة تمتلك نفس التردد والقيمة العظمى، لكن أطوارها متعاقبة عن بعضها بزاوية مقدارها 120° ، وكما هو مبين في الشكل (4-7).
يوصل التيار المتناوب ثلاثي الطور للمستهلك بثلاثة خطوط. ويكون ربط التيار ثلاثي الطور بنوعين من الربط هما التوصيل النجمي Star Connection أو التوصيل المثلثي Delta Connection.



شكل 4-7 تيار متناوب ثلاثي الطور

1- التوصيل النجمي (Y) Star Connection

كما هو مبين بالشكل (5-7) فإن التوصيل النجمي (Y) يتم من خلال تجميع النهايات للخطوط الخارجة من ملفات المولد في نقطة واحدة مشتركة يطلق عليها نقطة التعادل Neutral Point، وعادةً يتم تأريض هذه النقطة، إما بداية الأطراف فإنها توصل بالأحمال بموصلات تدعى الخطوط.

إن الجهد الكهربائي بين أي من الخطوط الثلاثة والخط المتعادل Neutral يسمى جهد الطور Phase voltage ويرمز له V_{ph} ، أما الجهد بين أي خطين من الخطوط الثلاثة فيسمى جهد الخط Line Voltage ويرمز له بالرمز V_L ، كما إن التيار المار في أي من ملفات المولد يسمى تيار الطور Phase Current ويرمز له I_{ph} وكذلك التيار المار بأي خط يسمى تيار الخط Line Current ويرمز له I_L ، وكما هو موضح بالشكل (5-7)، واعتماداً على المبادئ الأساسية لعلم الكهرباء، يمكن الاستنتاج بأن تيار الطور I_{ph} يساوي تيار الخط I_L .

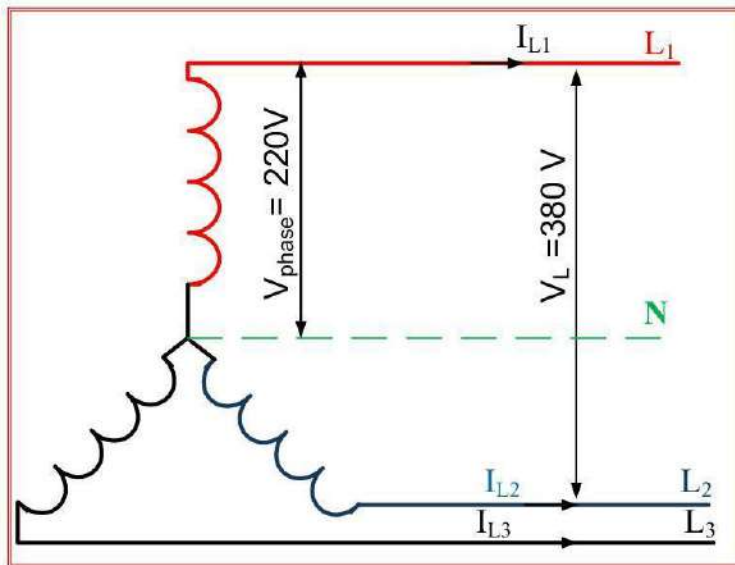
إما العلاقة بين جهد الخط V_L وجهد الطور V_{ph} فتكون العلاقة الآتية:

$$V_L = \sqrt{3}V_{ph} \quad (7-4)$$

وبذلك تكون القدرة (P) المنقولة هي:

$$P = \sqrt{3} \times I_L \times V_L \times \cos\phi \quad (7-5)$$

حيث أن $\cos\phi$ هو معامل القدرة الذي يعتمد على طبيعة الحمل الكهربائي (مقاومة أو ملف أو مكثف).



شكل 5-7 التوصيل النجمي للمولدات

2- التوصيل المثلثي (دلتا) (Δ) Delta Connection

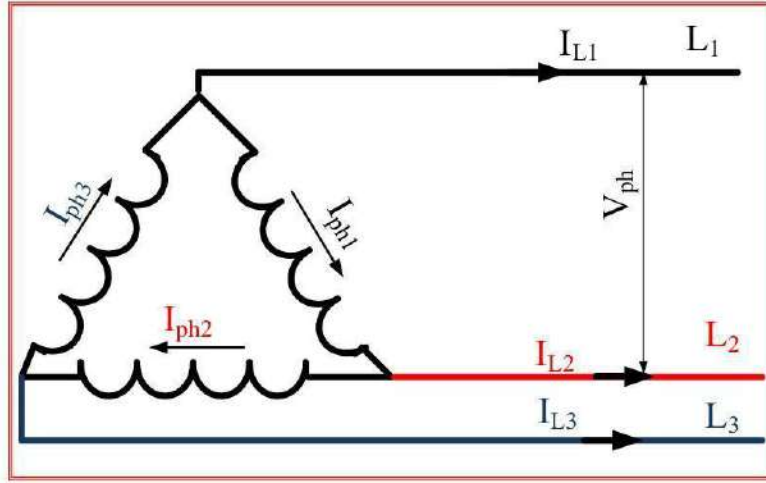
ويكون فيه ربط الملفات الكهربائية على شكل مثلث، ويلاحظ عدم احتواء هذا التوصيل على نقطة مشتركة كما هو الحال في التوصيل النجمي، وكما هو مبين في الشكل (6-7). وفي هذا التوصيل يتساوى جهد الخط مع جهد الطور ($V_{ph} = V_L$) ومن الشكل واعتماداً على قانون كيرشوف تكون العلاقة بين قيم تيار الخط وتيار الطور كما يأتي:

$$I_L = \sqrt{3} I_{ph} \quad (7-6)$$

كما إن القدرة تحسب من المعادلة (5-7) المذكورة سابقاً:

$$P = \sqrt{3} \times I_L \times V_L \times \cos\phi \quad (7-7)$$

كما إن استخدامات التيار المتناوب AC واسعة جداً ومنها أجهزة التثليج والتكييف، محركات التيار المتناوب في مجالاتها المختلفة وغيرها من الأجهزة الكهربائية.



شكل 6-7 توصيل دلتا للتيار ثلاثي الطور

Magnetism

3-7 المغناطيسية

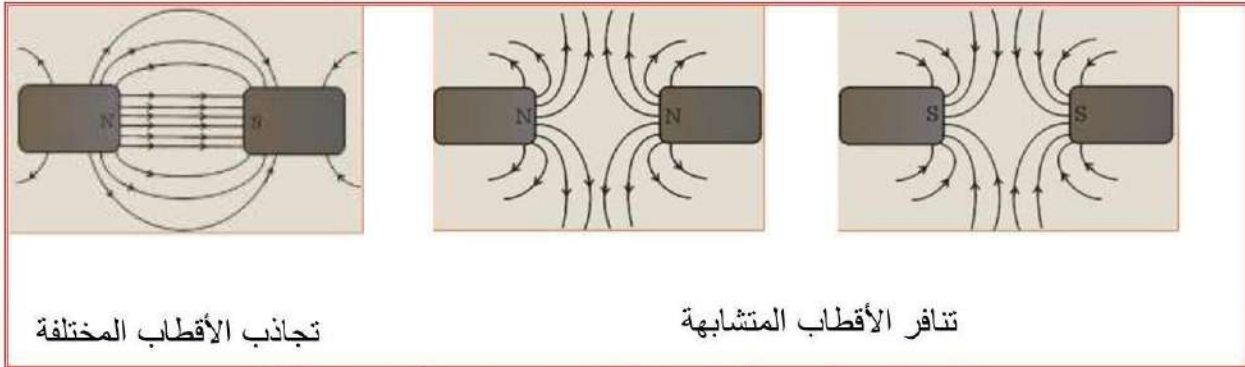
المغناطيس Magnet تسمية إغريقية قديمة أطلقت على بعض القطع من المواد الطبيعية التي وجدت بالقرب من مدينة مغنيسيا Magnesia في آسيا الوسطى. لهذه المواد القابلية على جذب أجزاء من المادة نفسها أو القطع الحديدية نحوها، لذلك سُميت المواد التي تمتلك خاصية الجذب بالمواد المغناطيسية نسبة إلى مدينة مغنيسيا. كما إن هذه المواد تمتلك خاصية أخرى، فعند تعليق قضيب من المغناطيس بشكلٍ حر فإنه يستقر متجهاً للشمال والجنوب الجغرافي. لذلك استخدمت هذه المواد في صنع البوصلة.

وحديثاً استخدمت سبائك الحديد مع الكوبالت، النيكل، والألمنيوم لصنع مغناطيس قوي دائم المغنطة. كما إن المواد بشكل عام قُسمت إلى مواد مغناطيسية وغير مغناطيسية اعتماداً على انجذابها للمغناطيس، وتُعد المواد التي يدخل الحديد في تركيبها مغناطيسية، إما تلك التي لا يدخل الحديد في تركيبها فتعتبر مواد غير مغناطيسية.

ومن الخواص الأساسية للمواد المغناطيسية إن لها قطبان إحداها شمالي North (N) والثاني جنوبي South (S) مهما صغر حجم المغناطيس ولا يمكن الحصول على قطب مغناطيسي معزول، فحتى إذا تم تفتيت المغناطيس إلى أجزاء فإن لكل جزء سيكون قطبان كما في المغناطيس الأصلي، كما إن التأثير المغناطيسي أكبر ما يمكن عند الأقطاب وأقل ما يمكن عند منتصف المغناطيس.

ومن المعروف إن الأقطاب المتشابهة للمغناطيس تتنافر في حين أن الأقطاب المختلفة تتجاذب، وكما مبين في الشكل (7-7)، وتعتمد قوة التجاذب أو التنافر على قوة الأقطاب المغناطيسية. وقوة الأقطاب المغناطيسية يعبر عنها بعدد من خطوط القوى التي تتجه دائماً من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي (المجموع الكلي لخطوط المجال المغناطيسي في قطعة ممغنطة)، وتسمى هذه القوى بالفيز

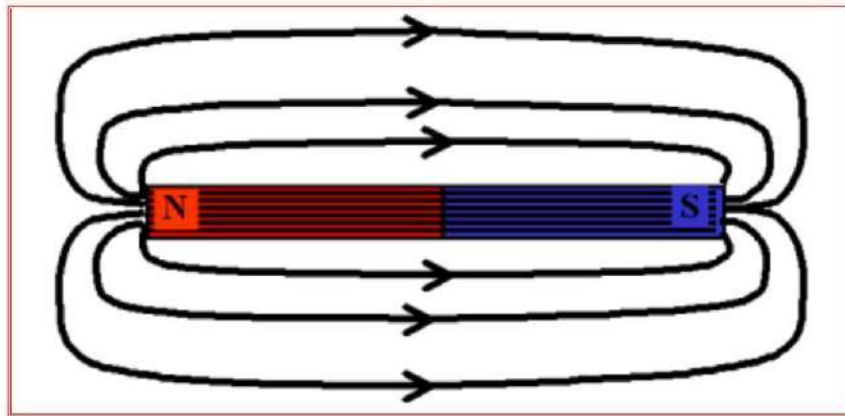
المغناطيسي Magnetic Flux ويرمز له بالحرف Φ ، ويقاس بوحدة تسمى الويبر (Weber) والشكل (7-8) يبين الخطوط المغناطيسية، إذ أن هذه الخطوط وهمية ومغلقة ولا تتقاطع مع بعضها البعض. إن هذه الخطوط الوهمية التي تتجه من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي تسمى خطوط المجال المغناطيسي، ولهذا فإن المجال المغناطيسي هو المنطقة التي تظهر فيها آثار القوة المغناطيسية، ويتولد المجال المغناطيسي من خطوط المغناطيس الطبيعي، أو من موصل يمر فيه تيار كهربائي أو جسم مشحون متحرك.



شكل 7-7 تنافر الأقطاب المتشابهة وتجاذب الأقطاب المختلفة

ومن أهم خواص الخطوط المغناطيسية ما يأتي:

1. خطوط القوى المغناطيسية الخارجة من الجسم تتجه من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي، إما داخل الجسم فإن الخطوط تكمل مساراتها بشكل متوازٍ من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي. أي أنها خطوط متصلة وكل خط فيها له مسار مقفل.
2. عدم تقاطع خطوط القوى المغناطيسية إطلاقاً.
3. قوى التجاذب والتنافر بين الأقطاب المغناطيسية ناتجة عن تفاعل خطوط القوى المغناطيسية للأقطاب.



شكل 8-7 خطوط القوى المغناطيسية

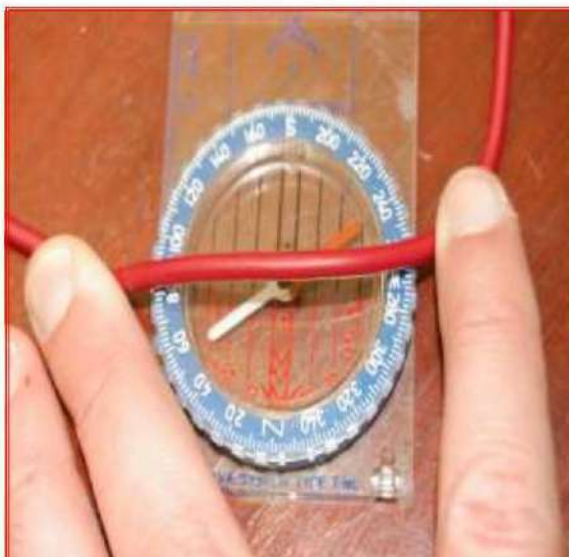
أما شدة أو قوة المجال المغناطيسي عند نقطة ما فتعرف بأنها عدد خطوط القوى المغناطيسية المتدفقة خلال وحدة المساحة (المتر المربع)، وتسمى الكثافة المغناطيسية Magnetic Density، ويرمز لها بالحرف B، وتقاس بوحدة تسمى تسلا Tesla، وهي ويبر على المتر المربع.

كما إن قدرة المادة على تمرير وتركيز خطوط القوى المغناطيسية، فيعبر عنها بالنفاذية المغناطيسية Magnetic Permeability فالمواد المغناطيسية يكون لها معامل نفاذية عالياً وذلك لكون معارضتها للخطوط المغناطيسية قليلة، على العكس من المواد غير المغناطيسية التي يكون لها معامل نفاذية منخفض.

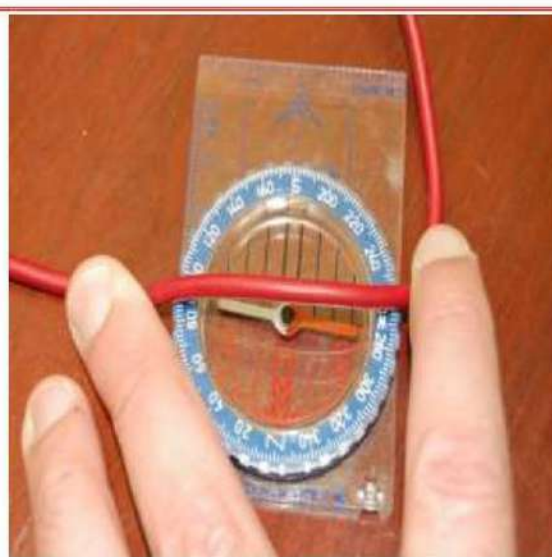
Electric Magnetism

4-7 المغناطيسية الكهربائية

عندما توضع إبرة مغناطيسية (وهي عبارة عن إشارة تبين قراءة المغناطيسية) بالقرب من موصل يمر به تيار كهربائي، يلاحظ انحراف الإبرة باتجاه يعتمد على اتجاه التيار المار بالموصل بسبب تولد مجال مغناطيسي Magnetic Field وهذا المجال يولد قوة تؤثر في الإبرة مسببة انحرافها، وتسمى هذه القوة بالقوة المغناطيسية Magnetic Force، وكما هو مبين في الشكل (7-9). هذه الظاهرة تتماشى مع اكتشاف العالم الدنماركي أورستد Orsted، الذي وجد تغير اتجاه البوصلة عند تقريبها من موصل يمر فيه تيار كهربائي مشابهاً للتغير الذي يحصل عند تقريب مغناطيس من البوصلة. وبذلك يمكن الاستدلال على أن للتيار الكهربائي تأثير مغناطيسي.



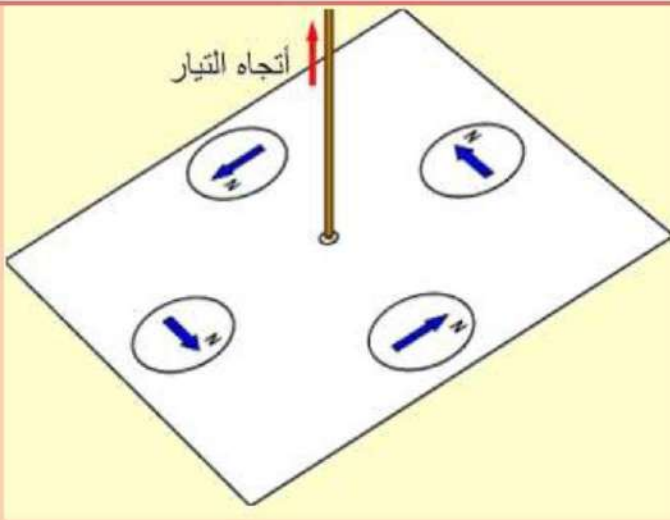
تحرك الإبرة المغناطيسية عند مرور التيار الكهربائي



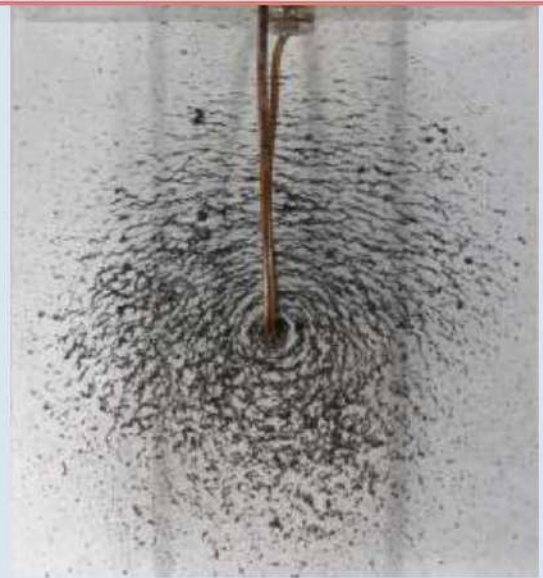
ثبوت الإبرة المغناطيسية عند عدم مرور تيار كهربائي

شكل 7-9 تحرك الإبرة المغناطيسية عند مرور التيار في السلك الكهربائي

ويمكن إثبات تولد المجال المغناطيسي عملياً من خلال توصيل مصدر كهربائي (بطارية) بسلك كهربائي يمر خلال قطعة ورقية موضوعة بمستوى أفقي بحيث يكون السلك عمودياً عليها، كما هو مبين بالشكل (7-10 أ) وتنشر برادة حديد على الورقة، فعند مرور التيار يلاحظ إن البرادة تأخذ مسارات دائرية حول السلك. إن المجال المتولد نتيجة مرور التيار في السلك أو الملف الكهربائي، يمكن رسمه باستخدام الإبرة المغناطيسية ووضعها في مواضع مختلفة بالقرب من ذلك الموصل وتأشير اتجاه الإبرة في كل موضع من المواضع، ومن ثم رسم شكل المجال، كما هو مبين بالشكل (7-10 ب). ويتضح من الشكل إن خطوط القوى المغناطيسية تكون دوائر متحدة المركز حول السلك وتتخذ اتجاه عكس اتجاه عقرب الساعة.



ب- استخدام الإبرة المغناطيسية في تحديد المجال المغناطيس



أ- استخدام برادة الحديد في تحديد المجال المغناطيس

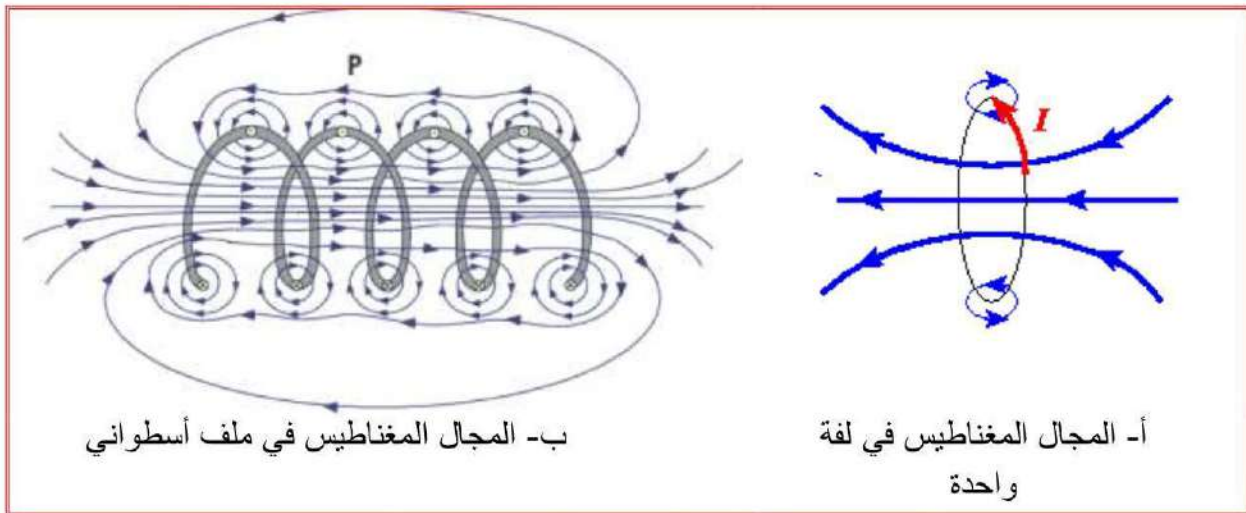
شكل 7-10 تولد المجال المغناطيسي من مرور التيار الكهربائي

إن اتجاه المجال المغناطيسي الناتج من مرور التيار الكهربائي في موصل يمكن تحديده اعتماداً على قاعدة اللولب، التي تتبع القاعدة التالية (حدد اتجاه التيار بوضع لولب يؤشر رأسه باتجاه التيار، فإن اتجاه المجال المغناطيس الناتج عن مرور التيار في السلك يكون باتجاه شد اللولب)، وكما مبين في الشكل (7-11) .



شكل 11-7 قاعدة اللولب لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي

إما إذا كان الموصل ملفاً بلفة واحدة أو أكثر، فيمكن اتباع القاعدة ذاتها عن طريق تحديد اتجاه التيار واتباع قاعدة اللولب ثم تعميم القاعدة على اللفة، وكما هو مبين في الشكل (7-12 أ). ويمكن تعميم القاعدة على عدد من اللفات، وكما هو مبين في الشكل (7-12 ب) إذ يمر عدد كبير من خطوط القوى المغناطيسية داخل قلب الملف موازياً لمحوره. وعند مرور التيار الكهربائي في ملف يكون لمجاله المغناطيسي قطبان شمالي N وجنوبي S يتحددان بحسب اتجاه التيار في الملف، وفي الاستخدامات العملية للملفات يكون قلب الملف من المواد المغناطيسية مثل الحديد أو سبائكه لزيادة قوة المجال المغناطيسي.

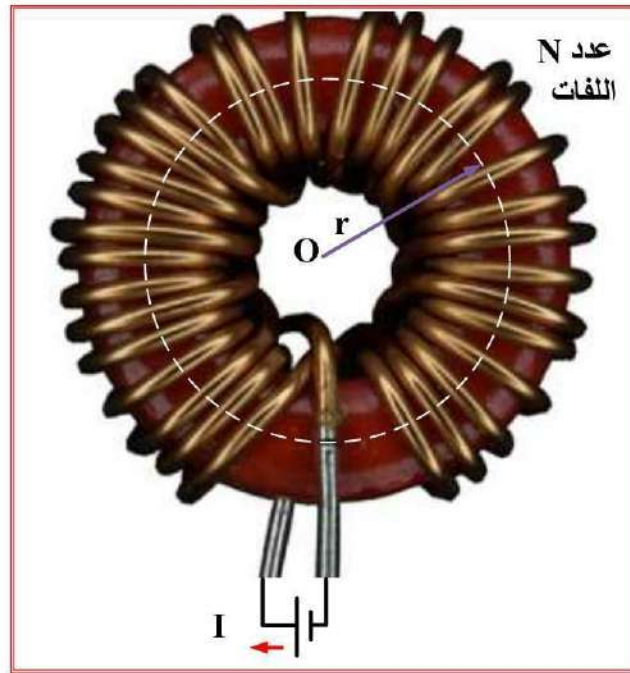


شكل 12-7 مجال مغناطيسي متولد من مرور تيار في ملف

أما الشكل (7-13) الذي يبين المجال المغناطيسي المتولد عن مرور تيار كهربائي في ملف حلقي، إذ أن شدة المجال المغناطيسي المتولد داخل قلب الملف تتغير بتغير نصف قطر الملف، وبما أن شدة المجال هي القوة الدافعة المغناطيسية لوحدة الطول من مسار المجال المغناطيسي المتولد نتيجة مرور

التيار في الملف، فإنها للملف الحلقي ستكون مساوية للقوة الدافعة المغناطيسية مقسومة على محيط الملف $(2\pi r)$.

إن ما تمت الإشارة إليه في أعلاه يمثل مرور تيار كهربائي مستمر Direct Current، لكن عند مرور تيار متناوب AC في ملف فسيولد فيضاً مغناطيسياً متغير القيمة والاتجاه مما ينتج عنه توليد قوة كهرومغناطيسية في الملف باتجاه تسبب منع تغير الفيض المغناطيسي. إن هذه الظاهرة تسمى الحث الذاتي Self-Inductance للملف وينتج عنها قوة دافعة كهربائية في الملف.



شكل 7-13 المجال المغناطيسي المتولد من مرور التيار في الملف الحلقي

Faraday's Law

1-4-7 قانون فراداي

نشر العالم فراداي عام 1832م، وضعاً عاماً سمي فيما بعد باسمه وهو قانون القوة الدافعة الكهربائية (ق. د. ك.) في حلقة أو ملف عند حركته في مجال مغناطيسي أو عند تغير المجال المغناطيسي مع الزمن. لقد ثبت تجريبياً أن (ق. د. ك.) المحتثة في دائرة مغلقة تساوي معدل تغير الفيض المغناطيسي للمجال مع الزمن بإشارة معكوسة.

عند احتواء الملف الذي تحتث فيه (ق. د. ك.) على عدد من اللفات من الواضح جداً أن هذه اللفات يمكن اعتبارها كلفات مستقلة عن بعضها البعض مربوطة على التوالي، فتكون (ق. د. ك.) المحتثة في مجموعها عبارة عن (ق. د. ك.) المتولدة في لفة واحدة منها مضروبة في عددها. ولهذا يصبح قانون فراداي بالصيغة الآتية:

$$E = - N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (7-8)$$

إذ أن:

V	فولت	القوة الدافعة الكهربائية المحتثة	E
-		عدد اللفات	N
Wb	ويبر	التغير بالفيض المغناطيسي	$\Delta\phi$
s	ثانية	التغير بالزمن	Δt

الإشارة السالبة في القانون تعني أن اتجاه (ق. د. ك.) المحتثة يعاكس التغير في الفيض المغناطيسي الذي سبب حثها في اللفة.

مثال 1-7

ملف يحتوي على 1200 لفة، يقطع لفاته فيضاً مقداره $400 \mu Wb$ ، ينعكس هذا الفيض بزمن مقداره 0.1 sec، احسب معدل (ق. د. ك.) المحتثة في الملف.

الجواب

إن الفيض المغناطيسي يتناقص من $400 \mu Wb$ إلى الصفر ومن ثم يتزايد من الصفر إلى $400 \mu Wb$ بالاتجاه المعاكس، لهذا فإن مقدار التغير في الفيض المغناطيسي بنفس الاتجاه يساوي $-800 \mu Wb$

$$E = - N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

$$E = - 1200 \times \frac{-800 \times 10^{-6}}{0.1} = 9.6 \text{ V}$$

Inductance Circuits

5-7 دوائر المحثات

Self-Inductance

1-5-7 المحاثة الذاتية

يعرف المحث بأنه الأداة التي تخزن الطاقة في مجاله المغناطيسي، ويمكن عدّ المحث بأنه المكافئ المغناطيسي للمتسعة. إن الملفات البسيطة والملفات اللولبية هي أمثلة على المحثات.

لقد أوضح العالم فارداي العلاقة بين قيمة الفولتية المحتثة في موصل وتغير الفيض المغناطيسي حسب القانون الذي سمي باسمه، كما أن الفيض المغناطيسي المتغير المحيط بالموصل يمكن إنتاجه بتيار كهربائي متغير في ذلك الموصل، لذا يمكن إيجاد علاقة مباشرة تربط الفولتية المحتثة والتيار المتغير،

يدعى ثابت التناسب بين هاتين الكميتين بالمحاثة ويرمز له بالرمز (L) ووحدة قياسها الهنري Henry (H).

إن المحاثة الذاتية ذات أهمية كبيرة في الدوائر الكهربائية، حيث لها خواصاً مفيدة تستطيع خزن الطاقة في المجال المغناطيسي مؤقتاً ثم إعادة تزويد الدائرة بها في وقت لاحق، لذلك تستخدم بكثرة وخصوصاً في دوائر التيار المتناوب.

2-5-7 ربط المحاثات

إن مقدار المحاثة المكافئة لمجموعة من المحاثات مربوطة على التوالي هي مجموع مقادير تلك المحاثات، وهي مشابهة لمقدار المقاومة المكافئة لمجموعة من المقاومات.

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 + \dots \quad (7-9)$$

أما المحاثات المربوطة على التوازي فيكون مقدار مقلوب المحاثة المكافئة هو مجموع مقلوب المحاثات، كما هو الحال في ربط المقاومات على التوازي.

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} \quad (7-10)$$

3-5-7 المحاثة التبادلية

إذا وُضعت دائرتان قرب بعضهما البعض وكان الفيض المغناطيسي الناتج من إحدهما يقطع الدائرة الأخرى، يدعى الفيض المشترك بين الدائرتين بالفيض التبادلي Mutual Flux وتدعى الدائرتان بأنهما دائرتان متقارنتان Coupled Circuits، إذا تغير التيار في الدائرة الأولى، فإن الفيض الناتج عن هذا التيار يتغير أيضاً، وحيث أن هذا الفيض (أو جزء منه) يقطع الدائرة الثانية أيضاً، لذا فإن قوة دافعة كهربائية (ق. د. ك.) تتولد في الدائرة الثانية، ويقال عن ذلك بأن هنالك محاثة تبادلية بين الملفين. يرمز للمحاثة التبادلية بالحرف (M) ووحدة قياسها هي نفس وحدة قياس المحاثة أي هنري (H).

$$M = k \sqrt{L_1 \times L_2} \quad (7-11)$$

إذ أن k هو معامل الاقتران أو معامل الربط بين الملفين. إن ربط ملفين على التوالي يؤدي إلى تكون محاثة تعادل مجموع محاثتيهما الذاتيتين، أما إذا كان بين المحثين فيضاً مشتركاً أي كان بينهما محاثة تبادلية بالإضافة إلى محاثتيهما وربطاً على التوالي فإن هذا الربط يعتمد على اتجاه وضع نهايتي المحثين. هنالك حالتان في الربط، الحالة الأولى يكونان

باتجاه واحد، والحالة الثانية يكونان باتجاهين مختلفين. في الحالة الأولى يدعى الربط التعاضدي والثانية بالربط التعاكسي.

لذا فإن المحاثّة المكافئة في حالة الربط التعاضدي تساوي مجموع المحثتين الذاتيتين للملفين مضافاً إليهما ضعف المحاثّة التبادلية بينهما

$$L_T = L_1 + L_2 + 2M \quad (7-12)$$

أما إذا رُبطَ الملفان ربطاً تعاكسياً فإن قطبية (ق. د. ك.) المحتثة تبادلياً بينهما تعاكس (ق. د. ك.) المرتبطة بالمحاثّة التبادلية.

$$L_T = L_1 + L_2 - 2M \quad (7-13)$$

إن أحد التطبيقات المهمة على المحاثّة التبادلية هي المحولة التي تتكون من ملفين بينهما محاثّة تبادلية ويزود أحدهما بتيار من مصدر لتجهيز القدرة حيث يفعل الاقتران بين الملفين بأن تتولد (تحتث) (ق. د. ك.) في الملف الثاني.

مثال 2-7

ملفان على قلب ما مقدار المحاثّة الذاتية لهما (0.247 ، 0.968) هنري ، احسب المحاثّة التبادلية بينهما والمحاثّة المكافئة لهما عند ربطهما ربطاً تعاضدياً أو تعاكسياً على فرض أن 80% من التدفق يشترك بينهما.

الجواب

$$M = k \sqrt{L_1 \times L_2}$$

$$M = 0.8 \times \sqrt{0.247 \times 0.968} = 0.391 \text{ H}$$

عند ربط الملفين ربطاً متوالياً تعاضدياً تكون المحاثّة المكافئة

$$L_T = L_1 + L_2 + 2M$$

$$L_T = 0.247 + 0.968 + 2 \times 0.391 = 1.997 \text{ H}$$

وعند ربطهما ربطاً متوالياً تعاكسياً تكون المحاثّة المكافئة

$$L_T = L_1 + L_2 - 2M$$

$$L_T = 0.247 + 0.968 - 2 \times 0.391 = 0.433 \text{ H}$$

How Electrical Motor Works

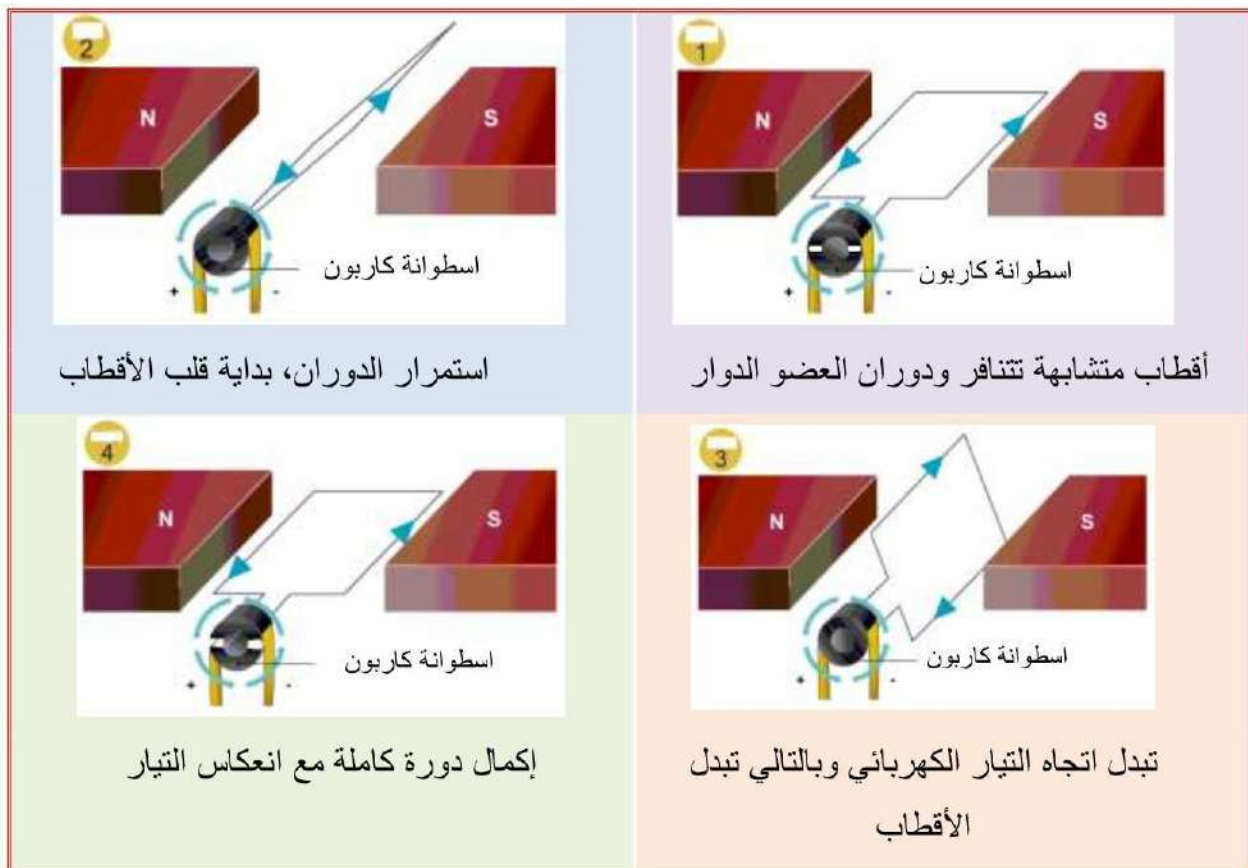
6-7 كيف تعمل المحركات الكهربائية

يعتمد مبدأ دوران المحرك الكهربائي على المبدأ العام للمغناطيسية الذي ينص على أن الأقطاب المتشابهة تتنافر والمختلفة تتجاذب. لنأخذ حالة مغناطيس يدور حول محور موضوع بين فكي مغناطيس (ولنطلق عليه العضو الدوار) وآخر ثابت (ولنطلق عليه العضو الثابت)، كما مبين في الشكل (7-14) وتبعاً لتنافر الأقطاب المتشابهة فإن العضو الدوار سوف يدور نصف دورة حتى تتجاذب الأقطاب المختلفة ويتوقف عن الحركة.



شكل 7-14 مبدأ عمل المحرك الكهربائي

إذاً لضمان استمرارية دوران العضو الدوار فيجب إبدال أقطاب العضو الدوار باستمرار بحيث يبدل قطبه كلما اختلف مع القطب المجاور له، ويمكن ذلك عن طريق إبدال المغناطيس ذي الأقطاب الثابتة بآخر ذي أقطاب مختلفة، ويتم ذلك عن طريق المغناطيسية الكهربائية، فلو أبدلنا العضو الدوار الحالي بملف كهربائي يمر به تيار مستمر، ويتم عكس أقطاب الملف المغناطيس عن طريق أسطوانة من الفحم يتم فيها قلب الأقطاب عند دوران العضو الدوار لاستطعنا أن نجعل العضو الدوار أن يدور باستمرار، وكما مبين في الشكل (7-15).



شكل 7-15 مبدأ عمل محرك التيار الكهربائي يعمل على التيار المستمر

أما بالنسبة للمحركات التي تعمل على التيار المتناوب فلا توجد حاجة إلى عكس الأقطاب الكهربائية، فعند استخدام تيار متناوب بقيمة مقدارها 50 Hz، فإن الأقطاب المغناطيسية للملف الدوار سوف تبدل اتجاهها 50 مرة في الثانية الواحدة، أي أن العضو الدوار سيدور بسرعة 50 دورة في الثانية الواحدة.

Electrical Transformers

7-7 المحولات الكهربائية

المحولة هي وسيلة كهربائية للتحكم بفرق جهد التيار الكهربائي المتغير، وتستخدم محولات التأثير الكهرومغناطيسي المتبادل بين ملفين كهربائيين لرفع فرق جهد التيار الكهربائي أو خفضه، وكما تم ذكره سابقاً في هذا الفصل تعتمد طريقة عمل المحولات على مبدأ الحث المتبادل للمجال المغناطيسي. وتستخدم المحولات الكهربائية على نطاق واسع، ابتداءً من محولات محطات التوليد وشبكات نقل وتوزيع الكهرباء ذات السعات العالية (ذات قدرات تقاس بالميكرواواط MW)، وانتهاءً بالمحولات ذات السعات الصغيرة المستخدمة في أجهزة الاتصالات (ذات قدرات تقاس بالميلي واط mW). والشكل (7-16) يبين نماذج للمحولات شائعة الاستخدام.

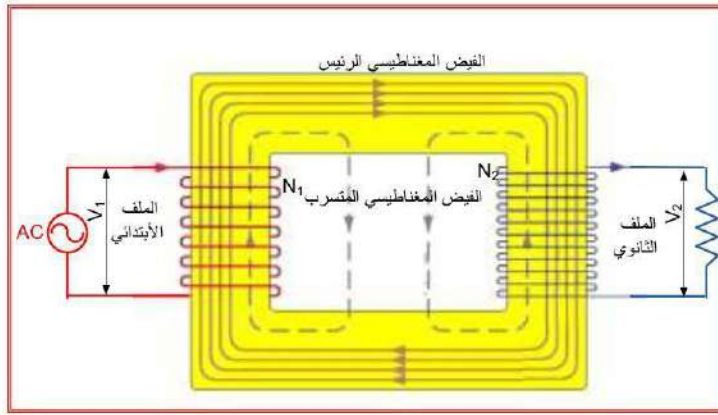


شكل 7-16 نماذج مختلفة لمحولات كهربائية ذات قدرات صغيرة نسبياً

إن أساس عمل المحولات الكهربائية Electric Transformers يعتمد على ظاهرة التأثير المتبادل (المحاثية التبادلية) التي تحدث عند تغير المجال المغناطيسي لملف، كما تم ذكره سابقاً في هذا الفصل، وتُعرف هذه الظاهرة على أنها عند تغير المجال المغناطيسي في ملف، سيتولد جهد بالتأثير في ملف آخر مجاور للملف الأول. ولتوضيح هذا التأثير لاحظ الشكل (7-17)، فإذا وصل الملف الابتدائي Primary Winding (L_1) بمصدر لتيار متناوب، سيتولد حوله مجال مغناطيسي متغير، يزداد وينقص حسب تغير شدة التيار المار بالملف. إن المجال المغناطيسي المتغير سيولد جهداً بالتأثير في الملف الثانوي Secondary Winding نتيجة اختراق المجال للملف، وإن الجهد المتولد بالملف الثانوي يمكن أن يستفاد منه لتشغيل حمل كهربائي.

يلاحظ إن الطاقة الكهربائية انتقلت من دائرة الملف الابتدائي إلى دائرة الملف الثانوي دون وجود موصلات كهربائية مباشرة، بل من خلال الاتصال المغناطيسي. وبصورة عامة تصنع المحولة الكهربائية من قلب من الحديد وملف ابتدائي وآخر ثانوي ملفوفين حول القلب الحديدي، وكما هو مبين في الشكل (7-17)، فعندما يمر تيار متناوب بفرق جهد مقداره V_1 في الملف الابتدائي الذي عدد لفاته N_1 فإن فرق جهد مقداره V_2 سيتولد في الملف الثانوي الذي عدد لفاته N_2 وحسب القانون الآتي:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (7-14)$$



شكل 17-7 المحولة الكهربائية

إن وحدة قياس التأثير المتبادل بين ملفين كما تم ذكره سابقاً هي نفسها وحدة قياس التأثير الحثي (الهنري). وبذلك يكون التأثير المتبادل بين الملفين الابتدائي والثانوي في الشكل (17-7) هنري واحد عندما يتولد جهد قدره واحد فولت بين طرفي الملف الثانوي نتيجة تغير قيمة التيار في الملف الابتدائي بمقدار أمبير واحد بالثانية.

ويمكن زيادة التأثير المتبادل بين الملفين من خلال:

- 1- تقليل المسافة الفاصلة بين الملفين.
- 2- الملفان يكونان بوضع بحيث محوراها متوازيان.
- 3- زيادة عدد اللفات لكل من الملف الابتدائي والثانوي.
- 4- استخدام وسط فاصل بين الملفين ذي نفاذية مغناطيسية عالية .

وهناك عامل آخر قد تم ذكره يشير إلى مدى تأثير لفات أي من الملفات (الابتدائي والثانوي) بالمجال المغناطيسي للملفين الآخرين يسمى هذا العامل بمعامل الربط (k) Coupling Coefficient، تكون قيمة هذا المعامل واحداً عندما تكون جميع خطوط المجال المغناطيسي لأحد الملفين تتقاطع مع كل لفات الملف الآخر. وبشكل عام تتراوح قيمة معامل الربط 0.98 أو 0.99 لبعض المحولات التي تستخدم قلب حديدي، وفي بعض المحولات الراديوية التي تستخدم قلباً هوائياً تتراوح قيمة معامل الربط إلى ما يقل عن 0.05 أو 0.1.

في المحولات المثالية (إهمال الفقدان بالطاقة خلال المحولة) تكون القدرة في الملف الثانوي مساوية لقدرة الملف الابتدائي، لكن هذا غير ممكن عملياً بسبب تحول جزء من الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية، مما يؤدي إلى أن تكون القدرة المتولدة من الملف الثانوي دائماً أقل من تلك المجهزة للملف

الابتدائي، والنسبة بين القدرة الخارجة من المحولة إلى القدرة الداخلة للمحولة تسمى كفاءة المحولة ويرمز لها (η) . وتمتاز المحولات بكفاءة عالية تتراوح ما بين 95% إلى 98%.

إن الفقدان للطاقة في المحولات يكون ناتج من عاملين أساسيين هما الفقد خلال القلب الحديدي (الفقد الحديدي)، والذي يمكن خفضه من خلال تشكيل القلب من رقائق حديدية معزولة عن بعضها، والفقد الناشئ في الملفات النحاسية (الفقد النحاسي) والذي يتناسب طردياً مع مربع شدة التيار.

مثال 3-7

محولة كهربائية تنخفض الفولتية فيها من 1200 V إلى 120 V تجهز حمل قريب منها بقدرة مقدارها 5 kW، فإذا كان عدد لفات الملف الابتدائي 4000 لفة وكفاءتها $(\eta = 0.95)$ احسب الآتي:

1. عدد لفات الملف الثانوي.

2. القدرة الداخلة في الملف الابتدائي.

3. التيار المناسب في الملف الثانوي، إذا علمت أن معامل القدرة يساوي 0.8

الجواب:

$$1. \frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

$$\frac{120}{1200} = \frac{N_2}{4000} \Rightarrow N_2 = \frac{120 \times 4000}{1200} = 400$$

$$2. \eta = \frac{P_o}{P_{in}} \Rightarrow P_{in} = \frac{P_o}{\eta} = \frac{5000}{0.95} = 5263 \text{ W}$$

$$3. P = V \times I \times \cos \phi$$

$$5000 = 120 \times I \times 0.8$$

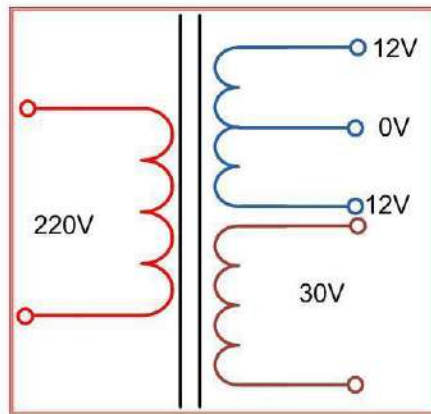
$$I = \frac{5000}{120 \times 0.8} = 52 \text{ A}$$

Types of Electrical Transformers

1-7-7 أنواع المحولات الكهربائية

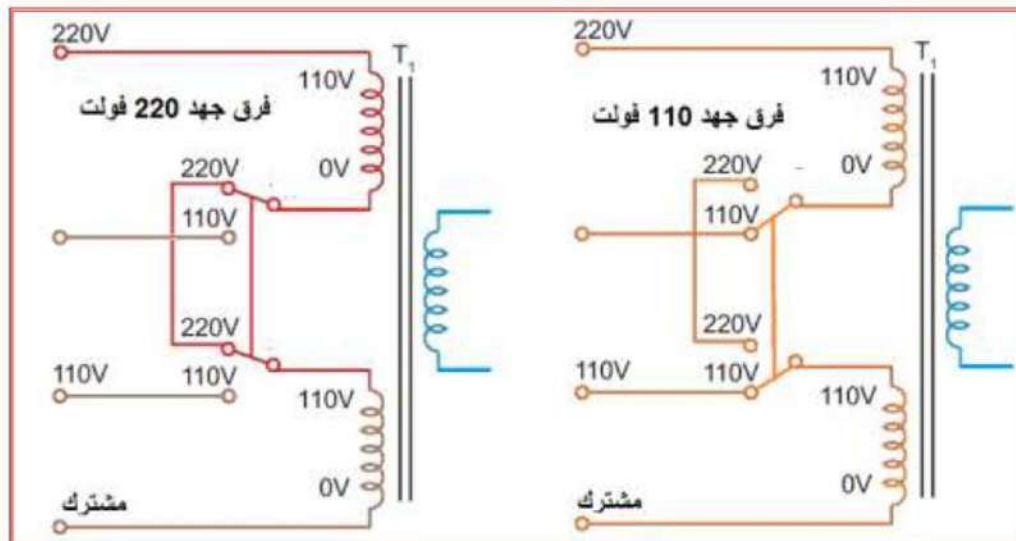
هنالك أنواع مختلفة من المحولات الكهربائية، وفي ما يلي بعض منها:

1. محول القدرة الذي يستخدم لخفض القدرة لوحدة التغذية للأجهزة الإلكترونية، حيث تتم عملية خفض الجهد المتناوب (220V-AC) إلى قيمة مناسبة حسب حاجة الجهاز الإلكتروني من خلال استخدام أكثر من ملف ثانوي للحصول على فروق جهد مختلفة، وكما هو مبين بالشكل (18-7).



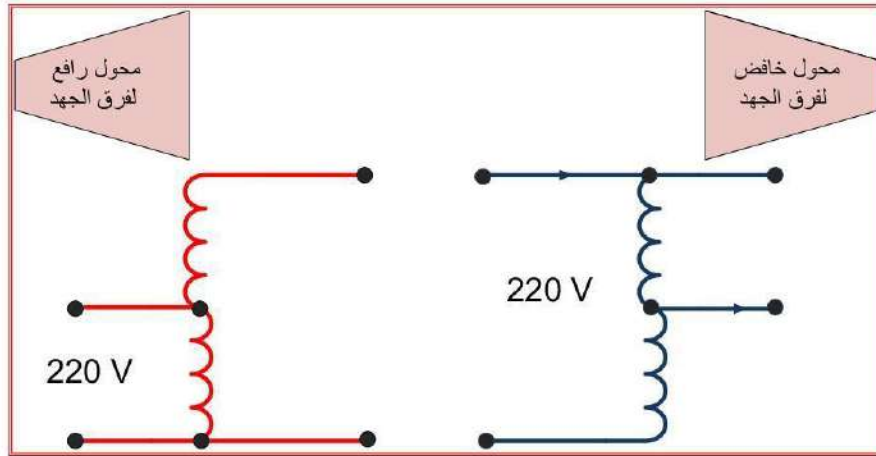
شكل 18-7 محول قدرة متعدد الملفات

2. محول القدرة متعدد الأغراض: تزود محولات القدرة متعددة الأغراض بملفين ابتدائيين يسمحان بالعمل على تغذية بفرقي جهد هما 110 فولت و 220 فولت، وكما مبين في الشكل (19-7)، حيث يبين الشكل عمل المحول على 110 أو 220 فولت، ويجب الحذر من استخدام المحول، حيث أنه إذا وصل المفتاح على 110 فولت ووضعت في مصدر فرق جهده 220 فولت فهذا يؤدي إلى احتراق ملفات المحول.



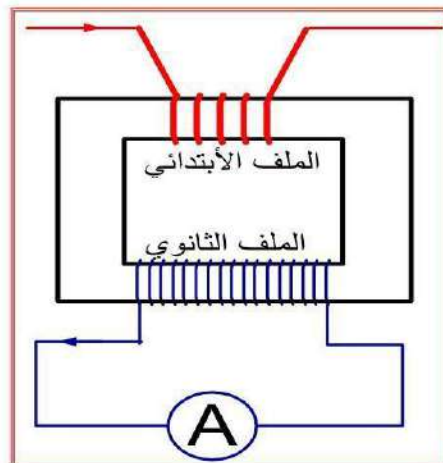
شكل 19-7 محول قدرة متعدد الأغراض

3. المحول الذاتي: ويتكون من ملف واحد مشترك بين الجانبين الابتدائي والثانوي، مما يقلل الأسلاك النحاسية المستخدمة للملفات وبالنسبة لتقليل حجم ووزن المحول. ويكون تركيب المحول كما مبين بالشكل (20-7). ويستخدم المحول الذاتي لرفع أو خفض الفولتية عندما تكون نسبة التحويل غير مرتفعة، وكذلك عندما يكون العزل بين الملفين الابتدائي والثانوي غير ضروري.



شكل 20-7 المحول الذاتي

4. محول التيار: يكون تركيب هذا المحول، كما مبين بالشكل (21-7) من ملف ابتدائي ويستخدم سلك ذو مساحة مقطع كبيرة وعدد لفاته قليلة. أما الملف الثانوي فيكون على العكس من الملف الابتدائي حيث يكون بعدد لفات كثيرة ومساحة مقطع السلك صغيرة. يربط الملف الابتدائي على التوالي بخط الحمل المراد قياس تياره، أما الملف الثانوي فيربط بجهاز قياس التيار. يستخدم هذا النوع من المحولات مع أجهزة قياس التيار المتناوب، لخفض التيار لقيمة مناسبة يمكن قياسها، وكذلك يستخدم لعزل جهاز القياس عن أسلاك الفولتية العالية.



شكل 21-7 محول التيار

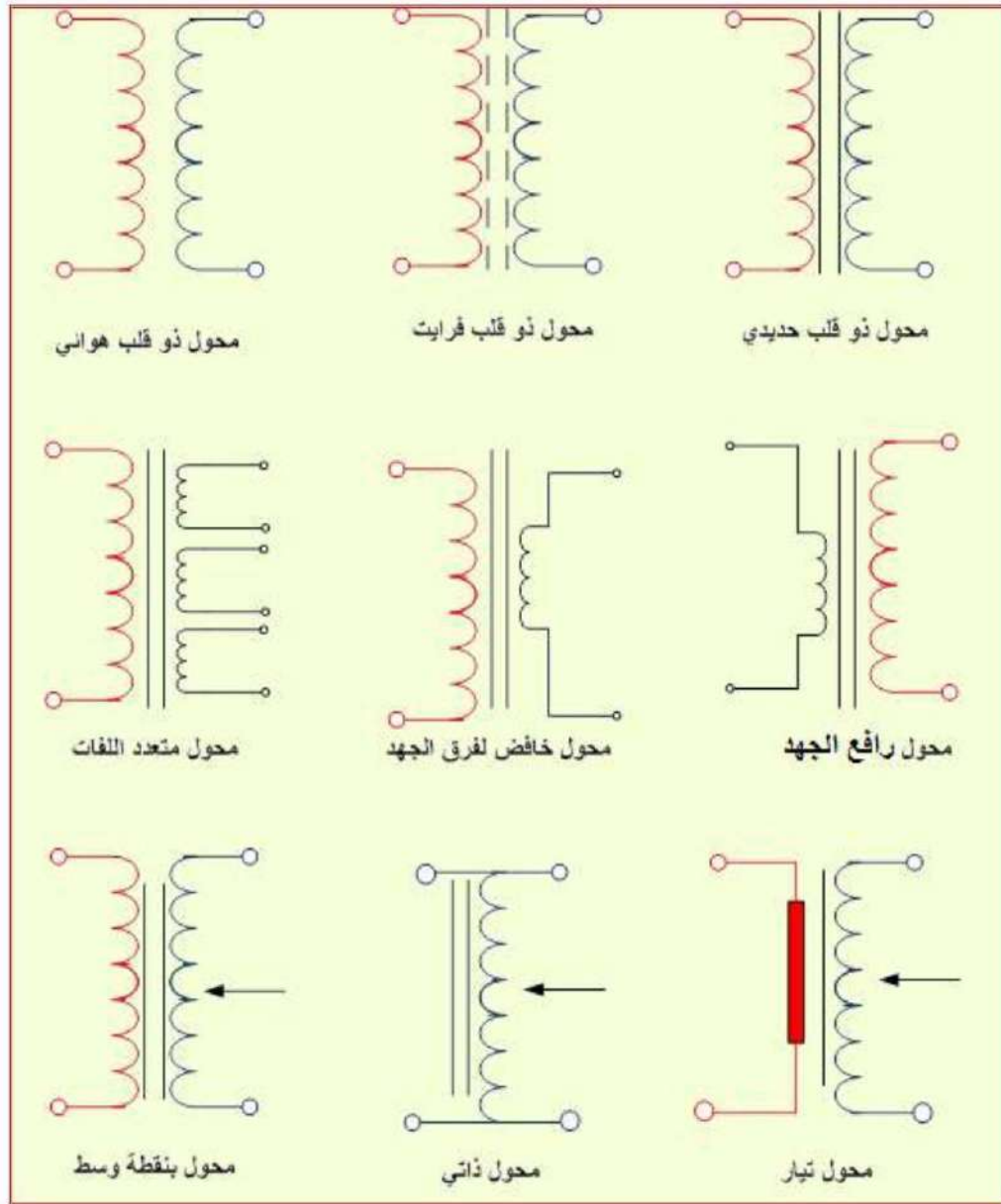
كما أُشير سابقاً هنالك الكثير من أنواع المحولات التي جاء توضيحها سابقاً هي محولات أحادية الطور، لأنها تعمل على تحويل جهد التيار المتناوب ذي الطور الواحد. لكن هنالك محولات ثلاثية الأطوار تستخدم للقدرات الكبيرة، إما المحولات المستخدمة لأغراض السيطرة والتحكم في منظومات التثليج وتكييف الهواء، فإنها تقوم بخفض جهد المصدر الكهربائي عادة إلى 24 V فيها، والشكل (7-22) يمثل بعض المحولات المستخدمة في أجهزة التثليج وتكييف الهواء. وبشكل عام للمحولات مواصفات فنية تميز بعضها عن البعض الآخر، فمنها مواصفات لها علاقة بشكل وتركيب المحولة، إما المواصفات التي تثبت من قبل الشركات المصنعة والمثبتة على المحولة، والتي يتم على غرارها اختيار المحولة، فهي:

- 1- جهد الملف الابتدائي، وهي (الفولتية) التي يمكن توصيلها للملف الابتدائي دون تضرره.
- 2- التيار الثانوي الأقصى، الذي يمكن أن يسحبه الحمل الكهربائي من المحولة دون إتلافه.
- 3- جهد الملف الثانوي، وهي مقدار (الفولتية أو الفولتيات) التي تنتج من المحولة عند تغذية الملف الابتدائي (بفولتية) مقررّة.
- 4- الحمل بوحدات فولت- أمبير (قدرة المحول)، وهي القدرة التي تحدد أقصى قيمة للتيار يمكن أن تسحب من المحولة. وتعطى هذه القدرة بوحدات فولت- أمبير وليس بوحدّة الواط.



شكل 7-22 نماذج من المحولات المستعملة في منظومات التثليج

كما يوضح الشكل (7-23) الرموز الفنية للمحولات شائعة الاستعمال.



شكل 7-23 الرموز الفنية للمحولات الكهربائية

8-7 التيار المتناوب والعناصر الكهربائية

Alternating Current and Electrical Components

جميع الدوائر الكهربائية تحتوي على أحمال مختلفة، قد يكون الحمل عبارة عن مقاومة خالصة أو حمل سعوي أو محاث. في هذه الفقرة سيتم تحليل الدوائر الكهربائية التي تحتوي على العناصر المذكورة وسُلط عليها فرق جهد جيبى (متناوب).

أولاً: الحمل عبارة عن مقاومة خالصة Pure Resistance

عند تسليط فولتية متناوبة على حمل عبارة عن مقاومة خالصة، فإن التيار الذي يمر فيها يرتبط مع الفولتية وفق قانون أوم، أي أن موجة الفولتية وموجة التيار لهما الشكل نفسه. ويحسب مقدار التيار كالآتي:

$$I_R = \frac{V}{R} \quad (7-15)$$

حيث أن I_R هو التيار المار بالمقاومة.

ثانياً: الحمل عبارة عن متسعة Capacitance

عند تسليط فولتية متناوبة على حمل عبارة عن متسعة، فإن التيار الذي يمر فيها لا يرتبط مع الفولتية، بل يتقدم بمقدار 90 درجة. ويحسب التيار المار بالمتسعة حسب المعادلة الآتية:

$$I_C = \frac{V}{1/2\pi \times f \times C} \quad (7-16)$$

إذ أن:

I_C	التيار المار بالمتسعة	أمبير	A
f	التردد	هيرتز	Hz
C	السعة	فاراد	F

ثالثاً: الحمل عبارة عن محاث Inductance

عند تسليط فولتية متناوبة على حمل عبارة عن محاث، فإن التيار الذي يمر فيها لا يرتبط مع الفولتية، بل يتأخر بمقدار 90 درجة. ويحسب التيار المار بالمحاث حسب المعادلة الآتية:

$$I_L = \frac{V}{2\pi \times f \times L} \quad (7-17)$$

إذ أن:

I_L	التيار المار بالمحاث	أمبير	A
f	التردد	هيرتز	Hz
L	المحاث	هنري	H

مثال 4-7

دائرة تيار متناوب تحتوي على مقاومة مقدارها 10Ω ومحث محاثته 20 mH ومتسعة سعتها $200 \mu\text{F}$ ربطت جميعها على التوازي وسلطت عليها فولتية متناوبة مقدارها 100 V تردد 50 Hz احسب ما يأتي:

1. التيار الكلي المجهز من المصدر.
2. زاوية فرق الطور بين الفولتية والتيار الكلي.
3. عامل القدرة.

الجواب

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{100}{10} = 10 \text{ A}$$

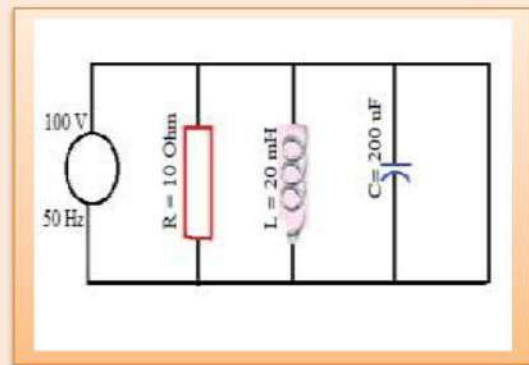
ويصنع زاوية مقدارها صفراً مع فولتية المصدر.

$$I_L = \frac{V}{2\pi \times f \times L} = \frac{100}{2\pi \times 50 \times 20 \times 10^{-3}} = 16 \text{ A}$$

ويصنع زاوية مقدارها 90° متأخراً عن الفولتية.

$$I_C = \frac{V}{1/2\pi \times f \times C} = \frac{100}{1/2\pi \times 50 \times 200 \times 10^{-6}} = 6.28 \text{ A}$$

ويصنع زاوية مقدارها 90° متقدماً على الفولتية.



وحيث أن تيار المتسعة بعكس اتجاه تيار المحث، لذا فإن محصلتهما هي الفرق بينهما وباتجاه التيار الأكبر منهما.

$$I_L - I_C = 16 - 6.28 = 9.72 \text{ A}$$

ومحصلة هذا التيار مع تيار المقاومة (المتعامدين) تساوي التيار الكلي الذي قيمته القصوى:

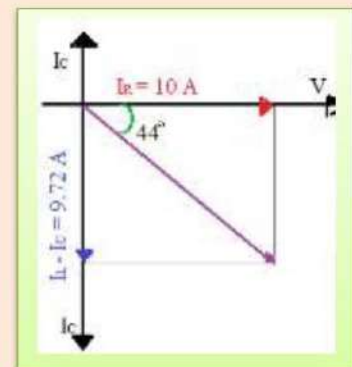
$$I = \sqrt{10^2 + 9.72^2} = 14 \text{ A}$$

ويصنع زاوية مقدارها:

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{9.72}{10} \right) = 44^\circ$$

معامل القدرة:

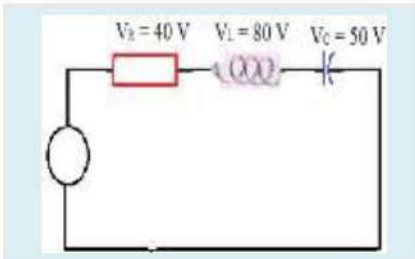
$$\cos \phi = \cos 44^\circ = 0.72$$



مثال 5-7

دائرة تيار متناوب تحتوي على مقاومة ومحاثة ومتسعة، ربطت جميعها على التوالي، إذا كان هبوط الجهد عبر المقاومة 40 V وهبوط الجهد عبر المحاثة 80 V وعبر المتسعة 50 V، وكان التيار الكلي المار بالدائرة يساوي 2 A، احسب ما يأتي:

1. فرق الجهد الكلي.
2. زاوية فرق الطور بين الفولتية والتيار الكلي.
3. عامل القدرة.
4. القدرة الحقيقية.



الجواب

من مخطط المتجهات الطورية تكون محصلة فرق الجهد الكلي:

$$V_T^2 = V_R^2 + (V_L - V_C)^2$$

$$V_T^2 = 40^2 + (80 - 50)^2 =$$

$$V_T^2 = 1600 + 900 = 2500$$

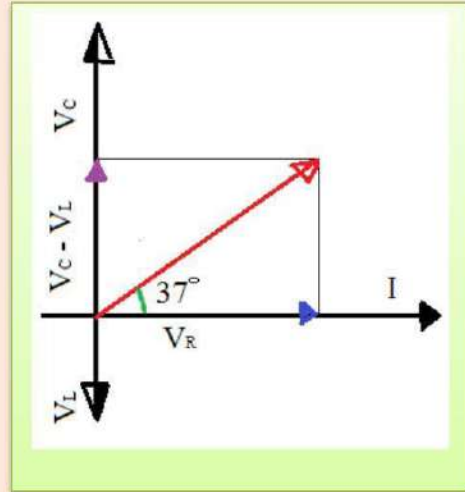
$$V_T = \sqrt{2500} = 50 \text{ V}$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{80-50}{40} \right) = 37^\circ$$

$$\text{Power Factor} = \cos \phi = \cos 37 = 0.8$$

$$P = V \times I \times \cos \phi$$

$$P = 50 \times 2 \times 0.8 = 80 \text{ W}$$



أسئلة الفصل السابع

س1: عرّف ما يأتي:

التيار الكهربائي ، المغناطيسية ، الفيض المغناطيسي ، المغناطيسية الكهربائية ، المجال المغناطيسي ، الحث المتبادل ، التأثير المتبادل ، المحول الكهربائي ، معامل الربط.

س2: أذكر أهم الخواص الفنية لمحول كهربائي مطلوب استخدامه في دائرة سيطرة منظومة تثليج.

س3: علل ما يأتي:

أ- تولد التيار المتناوب.

ب- انتقال الطاقة الكهربائية من دائرة الملف الابتدائي إلى دائرة الملف الثانوي في المحولات الكهربائية.

ت- استخدام التيار المتناوب.

ث- استخدام المحولات الكهربائية.

ج- استخدام القلب الحديدي في المحولات الكهربائية.

س4: عدد لما يأتي:

أ- استخدامات التيار المتناوب والتيار المستمر.

ب- خواص الخطوط المغناطيسية.

ت- الصفات الفنية للمحولات الكهربائية.

ث- طرق زيادة التأثير المتبادل بين ملفي المحول الكهربائي.

ج- أجزاء المحول الكهربائي.

س5: وضّح مع الرسم العلاقة بين الأطوار لتيار متناوب ثلاثي الطور.

س6: ما أنواع التوصيلات للتيار ثلاثي الطور؟ وضّحها ثم قارن بينها.

س7: اشرح عملية تولد المجال المغناطيسي في ملف كهربائي.

س8: اعتمداً على الظاهرة الكهرومغناطيسية، ناقش مبدأ حركة المحركات الكهربائية.

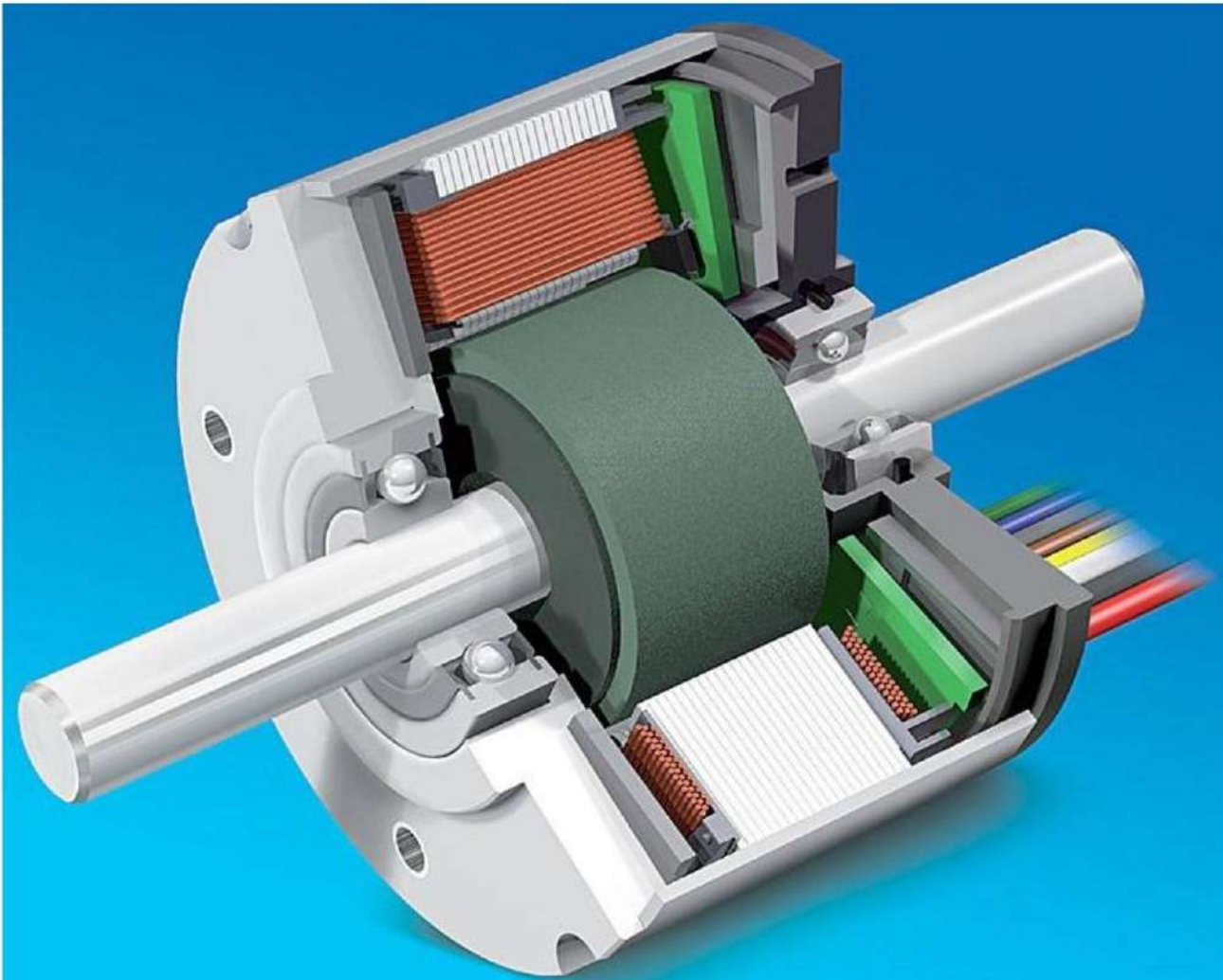
س9: محولة كهربائية تخفض الفولتية من 2200 V إلى 220 V يوصل الحمل مباشرة بملفها الثانوي إذا كان عدد لفات الملف الابتدائي 2000 لفة وكان التيار المناسب فيه 5 A والقدرة الضائعة داخل المحولة 440 W، احسب 1- عدد ملفات الملف الثانوي، 2- كفاءة المحولة.

$$\text{ج} = 200 \text{ لفة} \quad \text{ج} = 96\%$$

الفصل الثامن

المحركات الكهربائية

Electrical Motors



المحركات الكهربائية

Electrical Motors

Introduction

1-8 مقدمة

إن المواد المغناطيسية تشكل جزءاً مهماً في تركيب الآلات الكهربائية كالمحركات والمولدات، فهي تشكل وتوجه المجالات المغناطيسية التي تمثل الوسط الذي تتم فيه عملية تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية في المحركات الكهربائية وبالعكس في المولدات حيث يتم تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية.

في المحولات وكما تم التطرق إليه سابقاً تكون الدائرة المغناطيسية مغلقة، إما الآلات الكهربائية الدوارة، فإنها تحتوي على عنصرين أساسيين هما العضو الثابت (Stator) والعضو الدائر (Rotor) حيث يكونان منفصلين بواسطة فجوة هوائية. وفي معظم الآلات الكهربائية يتم توليد المجال المغناطيسي من خلال تمرير تيار كهربائي في سلك معزول ملفوف حول مادة حديدية مغناطيسية.

إن عمل المحركات الكهربائية كما تم ذكره في الفصل السابع يتم من خلال تمرير تيار كهربائي خلال الموصلات الموضوعة داخل مجال مغناطيسي، وينتج عن ذلك توليد قوة ميكانيكية في كل موصل، وإذا كانت الموصلات محمولة على محور معدني قابل للدوران بحرية، يتولد عزم كهرومغناطيسي يحاول دفع المحور للدوران بسرعة معينة، كما يتولد جهد في الموصلات المتحركة يعاكس جهد المصدر للتقليل من التيار الذي يسحبه المحرك من المصدر، كما إن المحركات الكهربائية تصنف طبقاً لمصدر التغذية، إلى محركات أحادية الطور (المحركات التي يتم تغذيتها بتيار متناوب أحادي الطور)، ومحركات ثلاثية الطور (التي تستخدم تيار متناوب ثلاثي الطور). وتمتاز المحركات ثلاثية الطور بذاتية بدء الحركة وعزم ابتدائي كبير، إما المحركات أحادية الطور فإنها تحتاج إلى وسيلة بدء الحركة. تستخدم محركات أحادية الطور في التطبيقات الصغيرة، بينما تستخدم المحركات ثلاثية الطور للتطبيقات الكبيرة.

تستخدم في منظومات التثليج وتكييف الهواء أنواع مختلفة من المحركات الكهربائية، ذات التيار المتناوب، وهي إما أن تكون أحادية الطور أو ثلاثية الطور حسب القدرة الحصانية المطلوبة لإدارة الضواغط والمضخات والمراوح أو أجهزة التحكم من صمامات أو صفائح تنظيم الهواء.

إن الحاجة للمحركات الكهربائية تعتمد على مواصفاتها الفنية وحاجة أجزاء منظومات التثليج وتكييف الهواء. فالضواغط تحتاج إلى محركات ذات عزم ابتدائي كبير وكفاءة تشغيل عالية، بينما المراوح الصغيرة يمكن إدارتها بمحركات ذات عزم ابتدائي قليل وكفاءة تشغيلية متوسطة.

في هذا الفصل سيتم التطرق للمحركات الكهربائية المستخدمة في مجال التثليج وتكييف الهواء والمرحلات المستخدمة معها.

2-8 المحركات الكهربائية ثلاثية الأطوار Three Phase Electric Motors

إن فكرة عمل المحركات ثلاثية الطور تعتمد على المجال الدوار (Rotating Field)، وهو المجال المغناطيسي المتولد في العضو الثابت نتيجة مرور التيار المتناوب في ملفاته بطريقة تجعل أقطاب هذه الملفات متغيرة. إذ أن عمل المحركات التي تستخدم تياراً متناوباً يعتمد على التفاعل بين المجالين المغناطيسيين المتعاكسين والمتولدين في كل من العضو الثابت والعضو الدوار، وينتج عن ذلك دوران العضو الدوار.

فالمجال الدوار الناتج من مرور التيار الكهربائي في العضو الثابت، يعاكسه مجال متولد بالحث المغناطيسي في ملف العضو الدوار (كما هو الحال في المحركات الحثية Induction Motors) أو نتيجة لمرور تيار مستقر في ملفات العضو الدوار يغذى من مصدر خارجي (كما في المحركات التزامنية Synchronous Motors).

ومن الجدير بالذكر، هو تشابه تصاميم العضو الثابت في محركات التيار المتناوب ثلاثية الأطوار، وإن الفرق بين الأنواع المختلفة يكون في طريقة توليد المجال المغناطيسي في العضو الدوار وتفاعل هذا المجال مع المجال الدوار في العضو الثابت.

2-8-1 أنواع المحركات الكهربائية ثلاثية الطور

المحركات الكهربائية ثلاثية الطور تنتج بنوعين أساسيين هما:

Induction Motors

1- المحركات الحثية

Synchronous Motors

2- المحركات التزامنية

Induction Motors

2-8-1-1 المحركات الحثية

إن المحرك الحثي هو المحرك الكهربائي الذي يتولد فيه المجال المغناطيسي للعضو الدوار من إمرار التيار الكهربائي بالعضو الثابت.

كما تم ذكره سابقاً، يؤدي مرور التيار الكهربائي المتناوب في ملفات العضو الثابت إلى تولد مجال مغناطيسي دوار، (يكون المجال المغناطيسي دوار بسبب تبدل اتجاه التيار المتناوب وكما تم ذكره)، ويقطع هذا المجال المغناطيسي الملفات الكهربائية للعضو الدوار والذي لا يوصل بأي مصدر ومغلق على نفسه، ونتيجة لهذا التقاطع يتولد تيار حثي يقوم بإنتاج مجال مغناطيسي آخر خاص به، وكما هو مبين في الشكل (8-1)، ويكون هذا المجال المغناطيسي ذا أقطاب معاكسة لأقطاب المجال المغناطيسي المتكون في العضو الثابت. وبما أن المجال المغناطيسي للعضو الثابت يدور باستمرار فإن المجال المغناطيسي للعضو الدوار سيتبعه باستمرار مما يولد حركة دورانية للعضو الدوار، وبالتأكيد فإن سرعة العضو الدوار سوف تكون أقل من سرعة دوران المجال المغناطيسي للعضو الثابت. لذا ستكون هنالك حركة نسبية بين العضو الدوار والعضو الثابت مما يولد عزم المحرك الكهربائي الذي يقوم بإدارة المحرك لأول مرة، سرعة هذه المحركات لا تتغير مع زيادة الحمل إلا قليلاً وتكون بحدود 5% من سرعتها الطبيعية، مما يجعلها واسعة الاستخدام في التطبيقات المختلفة.

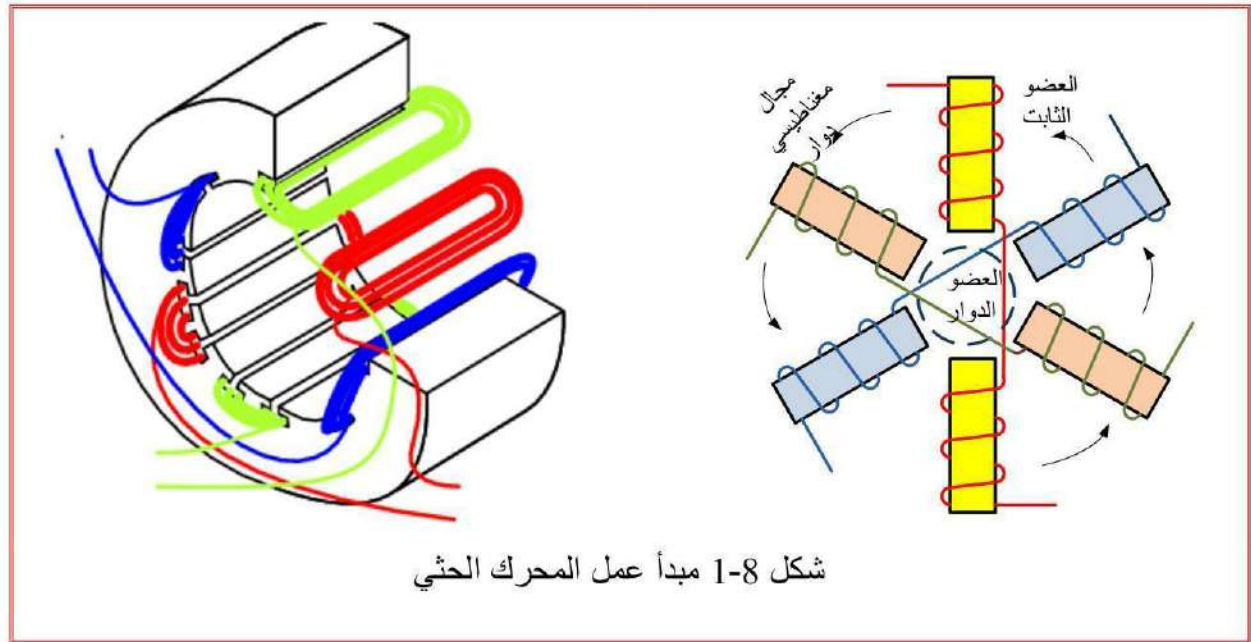
من الناحية العملية، لا يمكن للعضو الدوار أن يدور بنفس سرعة مجال العضو الثابت، حيث لا بد من أن تكون هنالك حركة نسبية بين الاثنين وذلك لكي تتولد قوة تسبب دوران العضو الدوار، وطبقاً لهذه الحركة النسبية يتحدد عزم المحرك والتيار المستهلك لإدارته.

وتتشابه الأعضاء الثابتة للمحركات الكهربائية في حين أن الأعضاء المتحركة يمكن أن تكون على نوعين متقاربين في التكوين من ناحية الخواص الكهربائية، ومختلفين من ناحية الشكل ويسمى النوع الأول باسم العضو الدوار ذي الملفات، وهما:

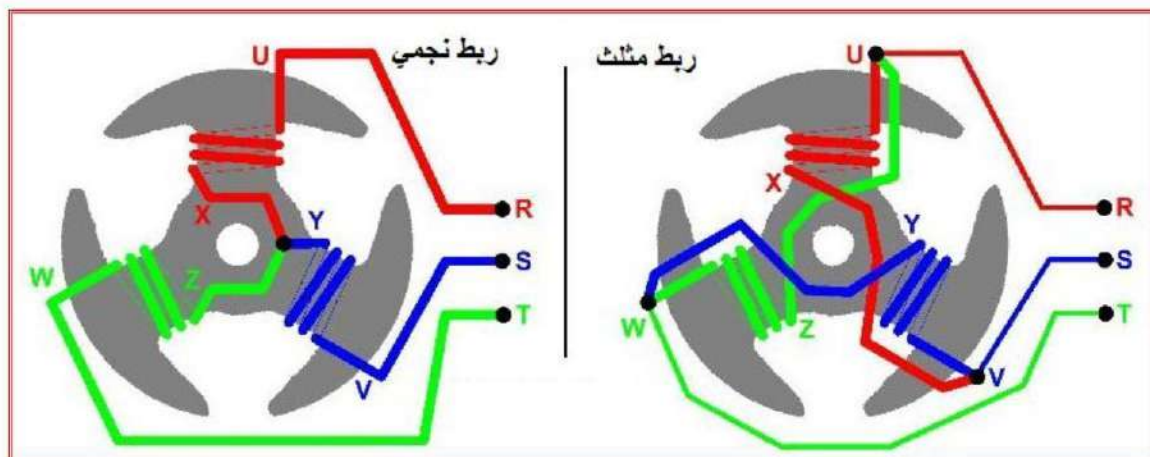
أ- المحركات الحثية ذات العضو الدوار ذي الملفات The Wound Rotor Induction Motors

ب- المحركات الحثية ذات القفص السنجابي The Squirrel Cage Induction Motors

أولاً: المحركات الحثية ذات العضو الدوار ذو الملفات The Wound Rotor Induction Motors
يستخدم هذا النوع من المحركات في تشغيل وحدات التكييف الكبيرة. ويتكون العضو الدوار فيه من جسم اسطواني من رقائق الحديد المعزولة مع وجود قنوات على سطح بعضها تحتوي على ثلاثة ملفات ثلاثية الطور تشابه ملفات العضو الثابت، وكما هو مبين في الشكل (8-2)، تربط هذه الملفات الثلاث مع بعضها على شكل دلتا Δ أو نجمة Y حسب ظروف التشغيل، وكما هو مبين في الشكل (8-3)، وفي كلا الربطين توصل أطراف الملفات لثلاث حلقات انزلاق مركبة على عمود الدوران، ثم توصل إلى دائرة خارجية بواسطة فرشاة كربونية مركبة على حلقات الانزلاق، وهذا يسهل عملية ربط الملفات بالدائرة الخارجية التي تحتوي على مقاومة تساعد في بدء الحركة وكذلك تنظيم سرعة المحرك.

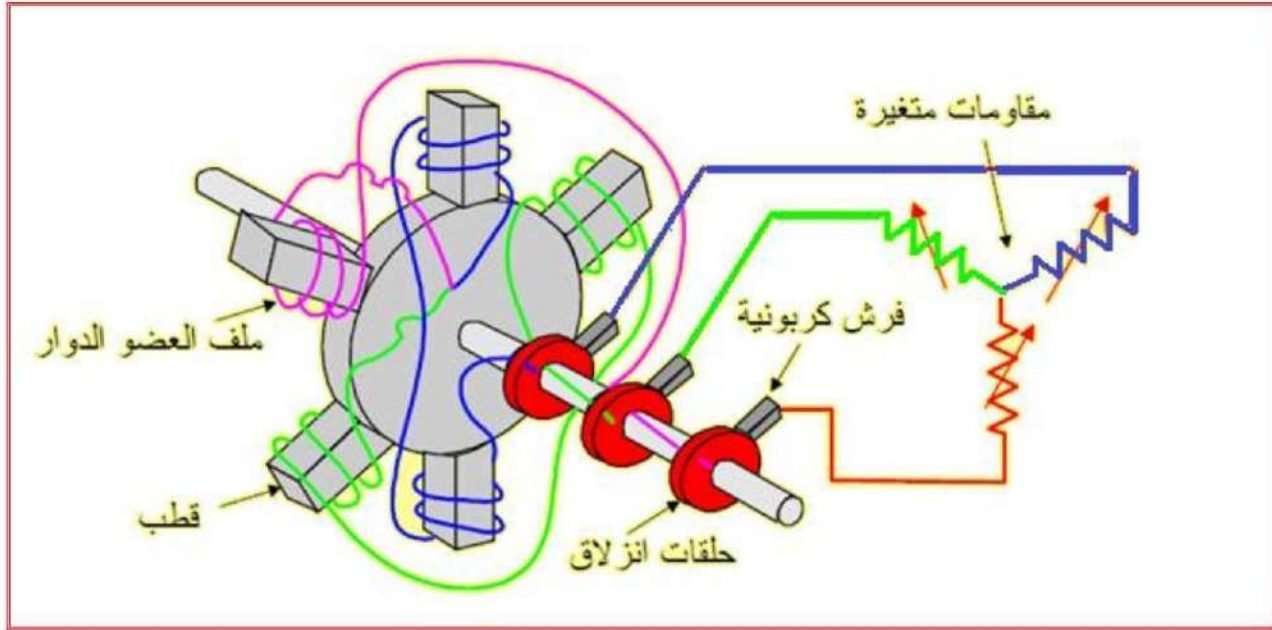


شكل 2-8 العضو الدوار ذو الملفات



شكل 3-8 ربط العضو الدوار ذو الملفات

ويبين الشكل (4-8) عضواً دواراً له قطبان لكل طور، حيث توصل نهايات كل ملف مع بعضها البعض لتكون توصيلة Y بينما توصل بدايات الملفات بثلاث حلقات انزلاق منفصلة ومثبتة على عمود العضو الدوار حيث تسمح هذه الحلقات بتوصيل ثلاث مقاومات متغيرة مع هذه الملفات عن طريق الفرش الكربونية. إن وظيفة هذه المقاومات هي تقليل التيار المار في ملفات العضو الدوار عند بداية تشغيل المحرك فقط، لأنها ترفع من الدائرة بشكل تلقائي عند وصول المحرك إلى حالة التشغيل المطلوبة، كما إن هذه المقاومات تزيد من العزم الابتدائي لتشغيل المحرك.



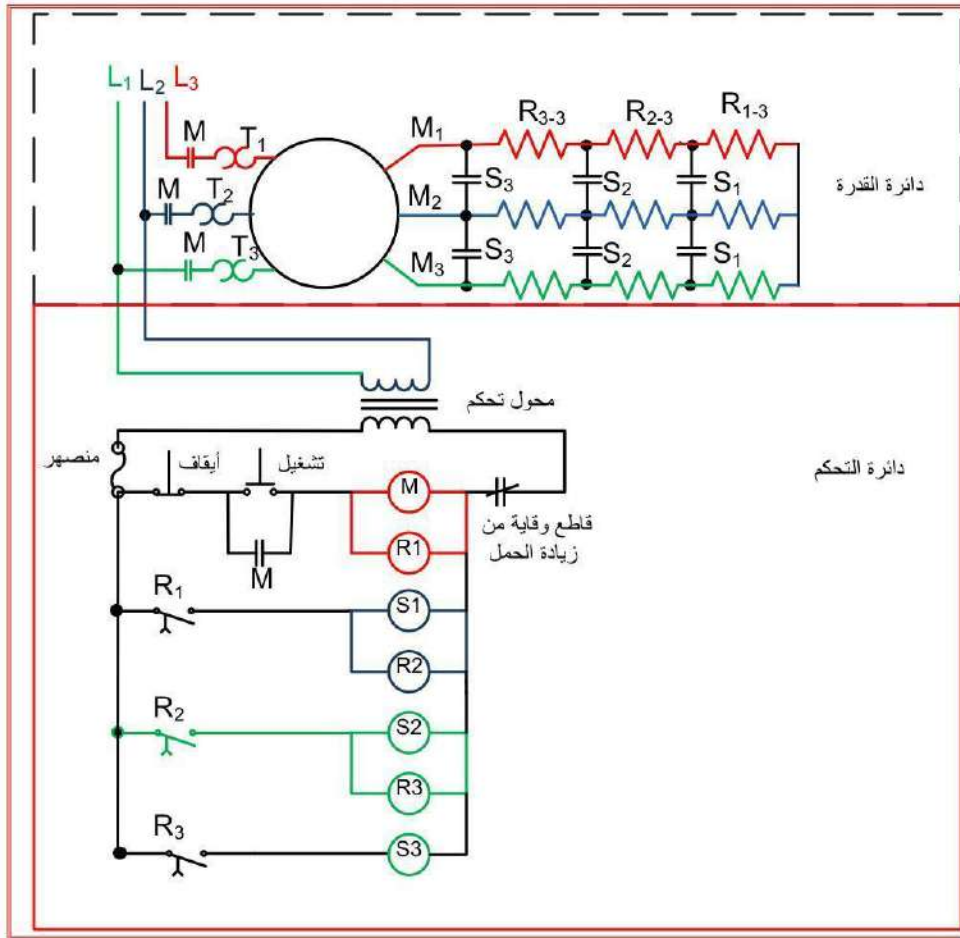
شكل 4-8 عضو دوار ذو ملفات مع مقاومات بدء التشغيل

تستعمل معظم المحركات الكبيرة العضو الدوار ذا الملفات، ويمكن أن تغير قيمة المقاومة طريقة الحركة المتدرجة بدلاً من استخدام المقاومات المتغيرة. يبدأ المحرك حركته بسرعة منخفضة، وذلك لارتباط مجموعة من المقاومات مع ملفات العضو الدوار، لكن كلما زادت سرعة المحرك يتحرك موصل منزلق بحيث يتحرك بفعل قوة الطرد المركزي مما يؤدي إلى تقليل قيمة المقاومة مع ازدياد سرعة المحرك فإذا ما وصل إلى أقصى سرعة يكون موضع المنزلق في بداية المقاومة المتغيرة عندها تكون قيمة المقاومة الكهربائية تساوي صفراً.

وهناك طرائق عدة للتحكم في طريقة قصر المقاومات في المحركات الحثية ذات الملفات منها يعتمد التحسس بقيمة التيار المار في العضو الثابت (التحكم بحد التيار)، ومنها يعتمد على قياس سرعة المحرك (التحكم عن طريق تردد الانزلاق). إما الطريقة شائعة الاستخدام فإنها تتم من خلال مؤقتات زمنية لقصر المقاومات على فترات زمنية محددة، ومن الشكل (5-8) يلاحظ أن دائرة القدرة للمحرك

في أعلى الشكل إما دائرة التحكم فممثله بأسفل الشكل، كما يلاحظ استخدام المحوّل لتخفيض جهد دائرة السيطرة. ودائرة السيطرة تعمل وفق الخطوات الآتية:

- 1- عند ضغط مفتاح التشغيل يمر التيار خلال ملف بدء التشغيل للمحرك M ثم نقاط توصيل الحمل العالي (OL) ومن ثم يتمغنط الملف R_1 . حيث يعمل الملف M على ضمان توصيل دائرة التحكم بعد عمل مفتاح التشغيل. وتوصيل الملف M تتصل أطوار التيار الثلاثة إلى المحرك فيبدأ الدوران بأقل سرعة لأن كل المقاومات متصلة بدائرة العضو الدوار.
- 2- R_1 عبارة عن مؤقت زمني يوصل التيار بعد وقت محدد من تشغيله، وعلى افتراض إن المؤقتات ضبطت لتعمل بعد خمس ثواني من تشغيلها، فإن الملف المغناطيسي S_1 سوف يتمغنط وتتصل نقاطه بعد خمس ثواني ومن ثم المؤقت R_2 .
- 3- باتصال نقاط الملف S_1 تقصر المقاومات الثلاث R_{1-3} عن دائرة العضو الدوار مما يعجل المحرك إلى السرعة التالية نتيجة مرور تيار أكبر في ملفاته.
- 4- بعد خمس ثواني أخرى يبدأ المؤقت R_2 بإغلاق دائرة الملف S_2 ومن ثم المؤقت R_3 .
- 5- بمغنطة الملف S_2 تقصر المقاومات R_{2-3} وتزداد سرعة المحرك أكثر من السابق لزيادة التيار المار خلاله مرة أخرى.
- 6- بعد خمس ثواني أخرى يبدأ المؤقت R_3 بالغلق مسبباً اتصال نقاط الملف المغناطيسي S_3 فتحتذف المقاومات R_{3-3} من دائرة العضو الدوار، لتصل سرعة المحرك لقمتها القصوى بسبب رفع كل المقاومات المتصلة بها.
- 7- فإذا أريد إيقاف المحرك، يتم الضغط على مفتاح الإيقاف ليفقد الملف M مغنطته مسبباً قطع التيار من المحرك بشكل كامل وكذلك عن كل المؤقتات ويتوقف المحرك، وكذلك يحدث التوقف إذا انصهر المنصهر بسبب ما.



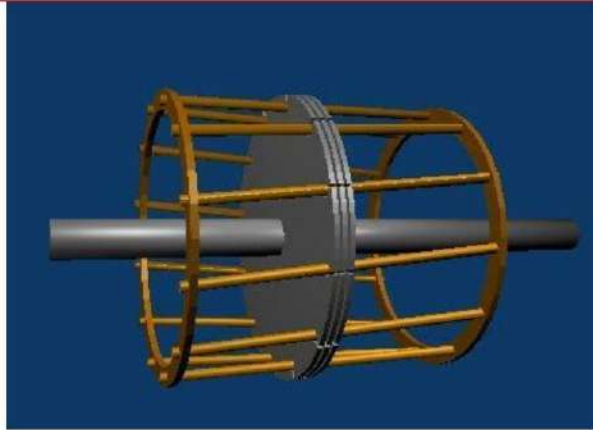
شكل 5-8 دائرة تحكم بدء تشغيل محرك حثي ذي ملفات

ثانياً: المحركات الحثية ذات القفص السنجابي The Squirrel Cage Induction Motors

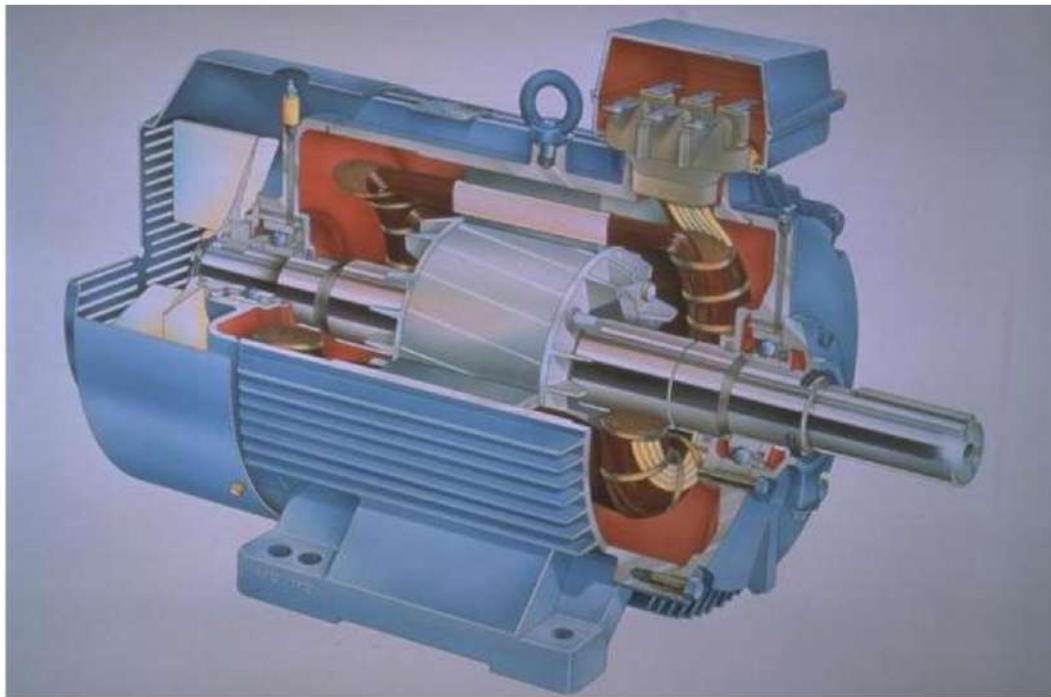
يكون تركيب العضو الدوار في هذا النوع من المحركات، مكوناً من جسم اسطواني مصنوع من رقائق الحديد وفيه قنوات يوضع فيها قضبان من النحاس أو الألمنيوم بدلاً عن الملفات، وهو مشابه للقفص الذي يحجز به السنجاب. (كما في المحركات الحثية ذات العضو الدوار ذي الملفات)، وتتصل القضبان من الطرفين بحلقات من نفس معدن القضبان. إن تركيبية القضبان تشبه في شكلها العام القفص السنجابي (لذلك سُميت هذه المحركات على أساس تركيبية العضو الدوار بالمحركات ذات القفص السنجابي)، ويبين الشكل (6-8) قضبان القفص السنجابي وكذلك العضو الدوار والعضو الثابت لهذا النوع من المحركات.



شكل قفص السنجاب



العضو الدوار (قفص السنجاب)



العضو الدوار والعضو الثابت في محرك قفص السنجاب

شكل 6-8 محرك قفص السنجاب

إن الموصلية الكهربائية للمادة التي تصنع منها قضبان القفص السنجابي، تتحكم بخصائص هذا النوع من المحركات، فالمواد ذات المقاومة الكهربائية العالية تعطي المحرك عزمًا ابتدائيًا عاليًا وتيار ابتدائي قليل، وتتطلب نسبة انزلاق عالية كي يتغلب على الحمل المطلوب في أثناء التشغيل، ولهذا تعتبر خصائصه التشغيلية متدنية. إما المواد ذات المقاومة المنخفضة، يكون لها عزم تشغيل منخفض مع تيار ابتدائي للتشغيل عالٍ ويصاحب ذلك نسبة انزلاق قليلة. إن هذه المواد أعطيت رموزاً للاستدلال عليها وربطت هذه الرموز بتيار بداية التشغيل من خلال الكيلو فولت - أمبير المقاس عند توقف العضو الدوار، والجدول (1-8) يبين ذلك.

ومن طرائق بدء التشغيل المعتمدة في المحركات الحثية ذات القفص السنجابي، طريقة بدء التشغيل بمفتاح ستار- دلتا $Y-\Delta$ Motor Starting، حيث يكون التشغيل من خلال ربط ملفات العضو الثابت أولاً بطريقة Y ويستمر ذلك لحين وصول سرعة المحرك بحدود 75% من سرعة الحمل الكامل وعندها يتم عكس مفتاح التشغيل ليصل الملفات حسب طريقة Δ ، وتمتاز هذه الطريقة بخفض تيار بدء التشغيل للمحرك إلى حدود ثلث تيار الحمل الكامل، ولكن يصاحبه انخفاض بعزم بدء التشغيل للمحرك، وعليه يتوجب أن يكون هذا العزم متناسباً مع الحمل المطلوب.

جدول 8-1 حروف ترميز قضبان محركات القفص السنجابي

الرمز	كيلوفولت-أمبير لكل حصان	الرمز	كيلوفولت-أمبير لكل حصان
A	0 - 0.314	L	9.0 - 9.99
B	3.15 - 3.54	M	10.0 - 11.19
C	3.55 - 3.99	N	11.2 - 12.49
D	4.00 - 4.49	P	12.5 - 13.99
E	4.5 - 4.99	R	14.0 - 15.99
F	5.00 - 5.59	S	16.0 - 17.99
G	5.60 - 6.29	T	18.0 - 19.99
H	6.30 - 7.09	U	20.0 - 22.39
J	7.10 - 7.99	V	22.4 وأكثر
K	8.00 - 8.99		

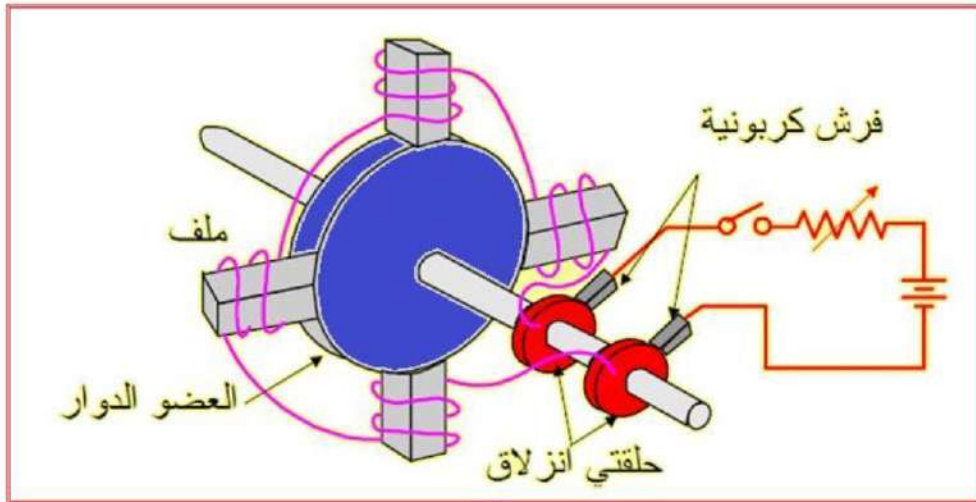
Synchronous Motors

2-1-2-8 المحركات التزامنية

هذا النوع من المحركات يمتاز بكفاءة عالية لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية. وتولد المجال الدوار في العضو الثابت لهذه المحركات يكون مشابهاً لتولده في محركات التيار المتناوب الأخرى. كما تتشابه ملفات العضو الدوار للمحركات التزامنية مع ملفات المحرك الحثي ذي الملفات، إلا

إن ملفات المحرك التزامني تكون ملفوفة حول العضو الدوار بطريقة متصلة، كما مبين بالشكل (7-8). وتجدر الإشارة إلى أن المحركات التزامنية تغذى بمصدر تيار مستمر، ولهذا يتم استخدام حلقتا انزلاق فقط بدلاً من ثلاث حلقات، كما أن هنالك عدة طرائق لتزويد المحرك بالتيار المستمر، فمنها تتم باستخدام مولد للتيار المستمر باستخدام حركة المحرك ذاته، أو استخدام مغذي تيار إلكتروني يحول التيار المتناوب إلى تيار مستمر. ولبدء الحركة في المحركات التزامنية، تستخدم مجموعة من قضبان مشابهة لما هو مستخدم في المحركات ذات القفص السنجابي لبدء حركة العضو الدوار، وعند وصول السرعة بحدود 95% من سرعة المجال الدوار للعضو الثابت، يتم إبطال ملفات العضو الدوار بمصدر تيار مستمر عن طريق حلقات الانزلاق، ليتولد به مجال مغناطيسي يرفع سرعة الدوران للمحرك إلى السرعة التزامنية، مع قطع التيار عن قضبان بدء الحركة. ومن أهم خصائص المحركات التزامنية ما يأتي:

- 1- عدم اعتماد المجال المغناطيسي للعضو الدوار على مجال العضو الثابت.
- 2- تكون سرعة دوران المحرك ثابتة دون الاعتماد على الحمل.
- 3- للمحرك إمكانية تصحيح معامل القدرة له وللمحركات المربوطة على خط التيار نفسه.



شكل 7-8 عضو دوار لمحرك تزامني مع دائرة تيار مستمر لتغذية ملفاته

Single Phase Electric Motors

3-8 المحركات الكهربائية أحادية الطور

غالباً ما تكون المحركات الكهربائية لأجهزة التثليج وتكييف الهواء قليلة السعة التثليجية والمستخدمه للأغراض المنزلية أو بعض الاستخدامات والتطبيقات الصغيرة، هي محركات كهربائية أحادية الطور، تستخدم تياراً متناوباً أحادي الطور.

ومن الدراسة السابقة في الفصل الثامن، لاحظنا أن المحركات ثلاثية الطور، تعتمد على المجال المغناطيسي الدوار في العضو الثابت، جعلها لا تحتاج إلى وسيلة بدء الحركة، على العكس من

المحركات أحادية الطور التي تحتاج إلى وسيلة لبدء حركتها، وذلك لعدم توافر المجال الدوار فيها. إذ أن محركات الطور الواحد تحتوي على ملف واحد في العضو الثابت، وهذا الملف غير قادر على توليد عزم الإدارة، ولهذا استخدمت طرائق عدة لتوليد عزم بدء الدوران وسميت هذه المحركات باسم الطريقة المستخدمة لتوليد عزم البدء وعزم الدوران. والجدول (2-8) يبين بعض أنواع المحركات الأحادية شائعة الاستخدام في تطبيقات التثليج وتكييف الهواء.

ويجدر الإشارة إلى أن المحركات أحادية الطور عند وصولها إلى سرعتها المقررة تعمل تماماً كالمحركات ثلاثية الطور، لأن الطبيعة المتغيرة للتيار المتناوب تغير قطبية الملفات في الدورة الواحدة. وفيما يلي شرح مبسط لهذه الأنواع المدرجة بالجدول (2-8)، وقد توجد بمصادر أخرى بأسماء قد تختلف بعض الشيء.

جدول 2-8 مواصفات المحركات الأحادية الطور شائعة الاستخدام

القدرة hp	فرق الجهد V	نوع المحرك
		محرك الوجه المقسم
0.05 – 0.333	115 و 230	1. ذو ملف بدء الحركة عالي المقاومة
0.05 – 0.5	115 و 230	2. ذو متسعة بدء الحركة
0.05 - 5	115 و 230	3. ذو متسعة دائمة
0.05 - 6	115 و 230	4. ذو متسعة بدء الحركة ومتسعة دائمة
0.01 – 0.25	115 و 230	محرك القطب المشقوق

8-3-1 محرك حثي بمقاومة طور منقسم

Resistance Split-Phase Induction Motor

يكون العضو الدوار لهذه المحركات من نوع القفص السنجابي، ويحتوي عضوه الثابت على ملفين، الأول ملف التشغيل (ملف الدوران) (Running Coil)، الذي يصنع من أسلاك بأقطار كبيرة بعض الشيء وذات مقاومة كهربائية قليلة وذو ممانعة مغناطيسية عالية، والملف الثاني هو ملف بدء التشغيل (ملف التقويم) (Starting Coil)، الذي يصنع من أسلاك رفيعة عالية المقاومة الكهربائي وكما

موضح بالشكل (8-8 أ) إذ يوصل ملف الدوران مباشرة مع التيار فيما يوصل ملف التقويم على التوازي مع ملف الدوران في بداية التشغيل. إن الاختلاف في مقاومة الملفين سيؤدي إلى اختلاف في طوري التيار في الملفين مما يتسبب بتوليد مجال مغناطيسي دوار يؤدي لحركة العضو الدوار ذاتياً .

بعد بدء الدوران ووصول سرعة المحرك بحدود 75% من السرعة القصوى (سرعة الحمل الكامل) يقوم مفتاح (مرحل بدء الحركة) بفصل ملف بدء الحركة من دائرة العضو الدوار، لتزداد سرعة العضو الدوار ويعمل كمحرك تأثيري من نوع القفص السنجابي.

إن مرحل بدء الحركة، عبارة عن مفتاح طرد مركزي، وهو عضو ميكانيكي يحتوي على ثقبتين، عندما يدور العضو الدوار للمحرك والحامل للمفتاح فإن هذين الثقبتين يحاولان الابتعاد عن مكانهما بسبب قوة الطرد المركزي، وبهذه الحركة يسحبان معهما نقاط التوصيل الكهربائية.

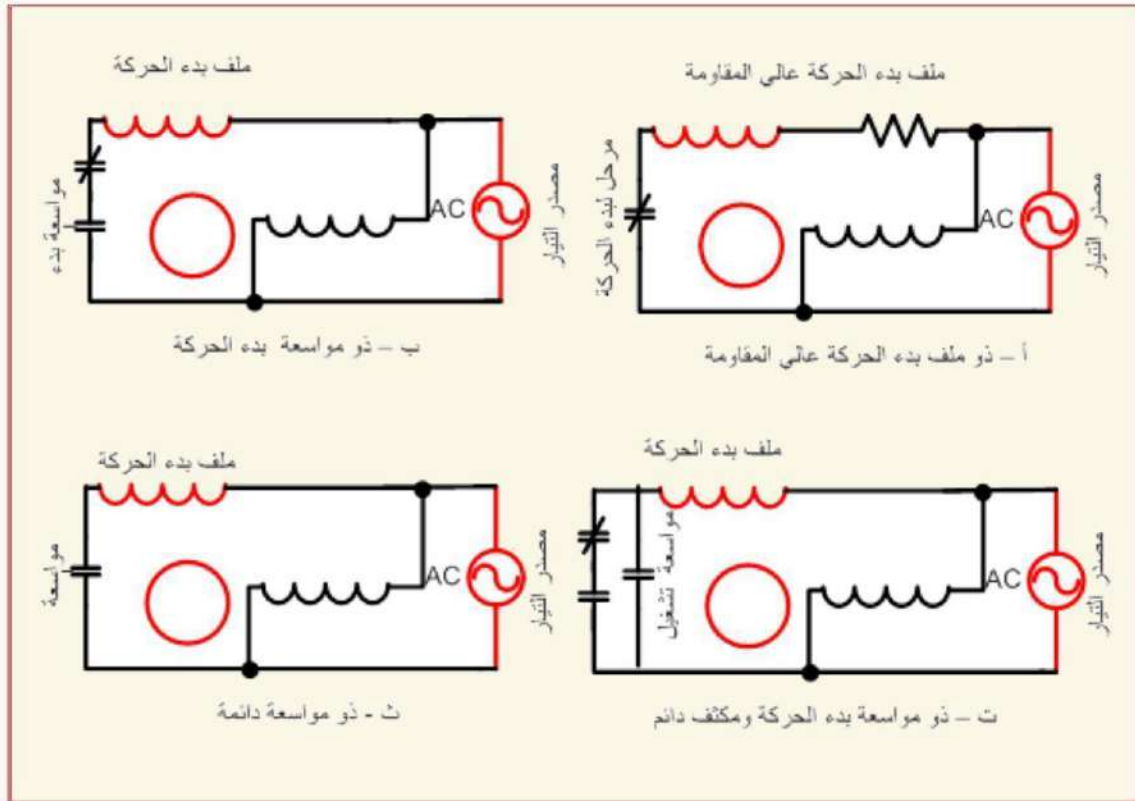
يكون هذا النوع من المحركات ذا عزم بدء حركة منخفض ويحتاج إلى تيار كبير نسبياً لبدء الحركة ويصنف للاستعمال العام ويستخدم في تشغيل المراوح الصغيرة. وكذلك يستخدم مع الضواغط الصغيرة حتى قدرة ($\frac{1}{3}$ hp) لمنظومات التثليج التي تستخدم الأنبوب الشعري مثل الثلاجات والمجمدات وبرادات الماء المنزلية.

Capacitor-Start Induction Motor

2-3-8 محرك حثي بمتسعة لبدء الحركة

في هذا النوع من المحركات الأحادية الطور، يتم استخدام متسعة Capacitor تقويم (بدء الحركة) لزيادة عزم بدء الحركة، وتربط المتسعة في دائرة العضو الدوار على التوالي مع ملف بدء الحركة وكما هو مبين بالشكل (8-8 ب). ويستخدم لإدارة المراوح الصغيرة أو النافخات (Blowers) ذات الحمل العالي. ويبين الشكل (8-9) صورة لهذا النوع من المحركات.

غالباً ما تكون المتسعة المستخدمة في هذه المحركات من النوع الإلكتروني (الكيميائي)، ويتم فصله من الدائرة بفعل مفتاح الطرد المركزي أو مرحل، كما مر ذكره في محرك الوجه المقسم ذي ملف بدء الحركة عالي المقاومة، بعد وصول سرعة المحرك بحدود 75% من سرعة الحمل الكامل. عند عطب المتسعة يُراعى استبدالها بأخرى ذات جهد مساوي أو أكبر من المتسعة الموصى بها من قبل المصنعين لضمان عدم تقليل عزم الحركة الابتدائية.



شكل 8-8 دوائر محركات أحادية الطور ذات طور مقسم



شكل 9-8 محرك حثي بمتسعة لبدء الحركة

3-3-8 محرك بمتسعة منقسمة دائمة

Permanent Split-Capacitor Motor

كما مبين في الشكل (8-8 ث)، قد يستعمل متسعة دائمية في دائرة العضو الدوار، وترتبط مع ملف بدء الحركة على التوالي، وتبقى هذه المتسعة بشكل دائمي. إن استخدام هذه المتسعة يسهل عملية بدء التشغيل ويغني عن استخدام مرحل التيار، إلا أن عزم هذا المحرك يكون قليلاً عند بدء التشغيل. لكن هذه المحركات تكون ذات كفاءة عالية وتحتاج إلى تيارات كهربائية قليلة.

في هذا النوع من المحركات يتم استعمال متسعة الزيت بدلاً عن متسعة كيميائية لعدم صلاحيتها لمثل هكذا استخدامات. هذه المحركات تستخدم عادة مع مكيفات الهواء الجدارية التي تتراوح ما بين 2 إلى 5 حصان. ويبين الشكل (8-10) محرك بمتسعة منقسمة دائمة.



شكل 8-10 محرك بمتسعة منقسمة دائمة

8-3-4 محرك بمتسعة بدء الحركة ومتسعة دوران

Capacitor-Start, Capacitor Run Motor

إن هذا النوع من المحركات يبدأ الدوران بمتسعة بدء الحركة ويستمر بالدوران بمتسعة الدوران، ويبين الشكل (8-8 ت) الدائرة الكهربائية له، عند توصيل المصدر الكهربائي بالمحرك يتكون مسارين متوازيين الأول يتكون من ملف الدوران والمسار الثاني يتألف من ملف البدء موصل بالتوالي مع كل من المتسعتين الموصولتين على التوازي فيما بينهما. عند وصول سرعة المحرك إلى 75% من سرعة الحمل الكامل يعمل ملف البدء كمولد فيولد قوة دافعة كهربائية عالية، تسبب قطع مسار التيار عن ملف البدء ومتسعة البدء. وتستخدم هذه المحركات في ضواغط أجهزة التكييف التي تتراوح قدرتها بين 2 إلى 5 حصان. ويبين الشكل (8-11) محرك بمتسعة بدء الحركة ومتسعة دوران.



شكل 8-11 محرك بمتسعة بدء الحركة ومتسعة دوران

5-3-8 المحرك الحثي ذو القطب المظلل The shaded-Pole Induction Motor

كما في جميع المحركات الكهربائية يتكون المحرك الكهربائي ذو القطب المظلل من عضو ثابت وهو عبارة عن قطب بارز، في حين أن العضو الدوار عبارة عن قفص سنجاب، ويتكون العضو الثابت من شقوق تقطع خلال طبقات رقيقة من الصفائح ويمر خلالها ملف كهربائي يصنع من النحاس ويسمى هذا الملف بالملف المظلل، وكما موضح في الشكل (8-12 أ)، أما القطب الذي يتكون بفعل الملف المظلل فيسمى بالقطب المظلل، في حين أن الجزء الآخر من القطب فيسمى بالقطب غير المظلل. ويبين الشكل (8-12) العضو الثابت والعضو الدوار للمحرك الحثي ذي القطب المظلل. فإذا مر تيار متناوب خلال الملف الذي يحيط بالقطب، فسيحيد محور القطب المظلل عن محور القطب غير المظلل، وسيسبب هذا الحيود في المحاور حركة دورانية للقطب، وعلى هذا الأساس سيبدأ العضو الدوار بالدوران وباتجاه الحيود من القطب غير المظلل إلى القطب المظلل، تتميز هذه المحركات بأنها رخيصة الثمن وسهلة الصنع ومتينة، ولكن من ناحية أخرى تكون قليلة الكفاءة وذات عزم دوران ضعيف لذلك تستخدم كمحركات لمراوح الهواء الصغيرة جداً.



ب- محرك كهربائي ذو قطب مظلل

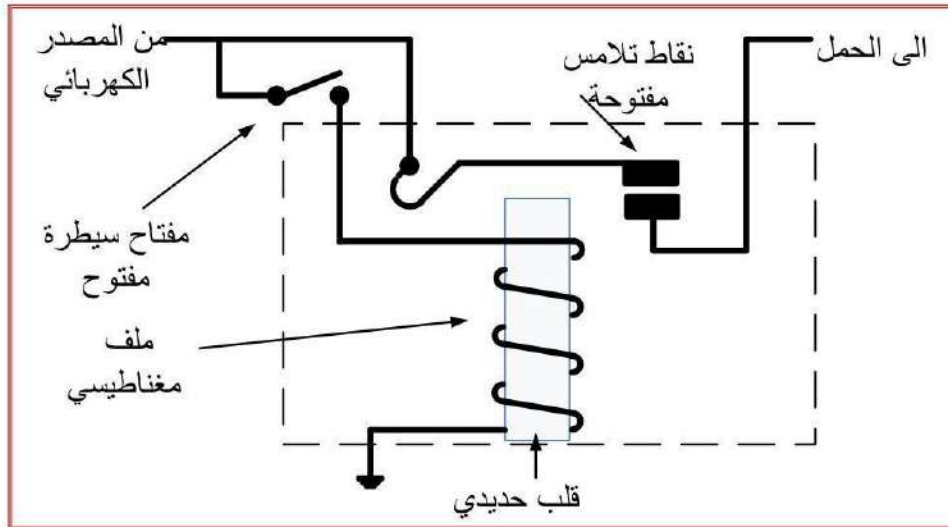
أ- القطب المظلل

شكل 8-12 العضو الثابت والعضو الدوار للمحرك الحثي ذو القطب المظلل

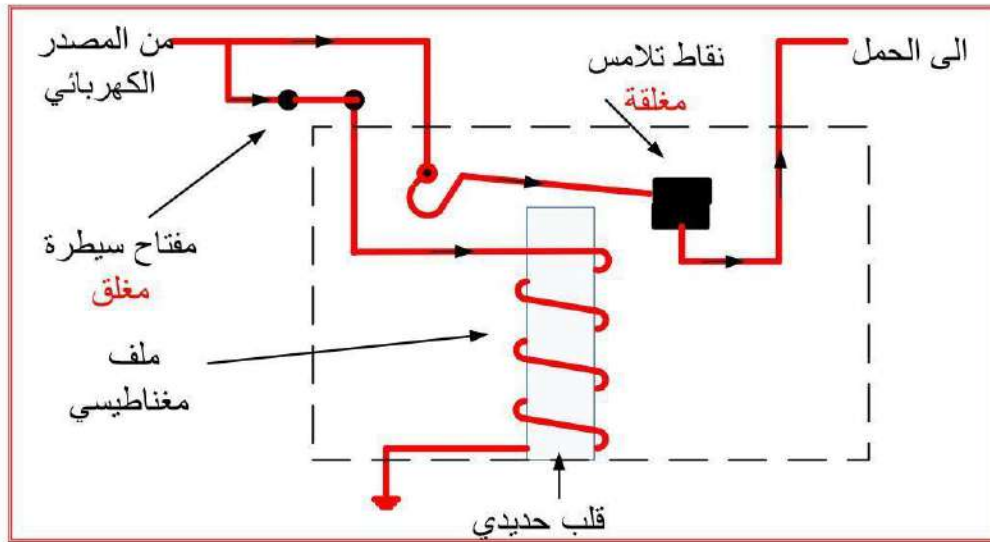
4-8 مَرَحَلَات بدء الحركة في محركات الطور المنقسم

Starting Relays for Split Phase Induction Motors

يمكن توضيح عمل المَرَحَل من خلال الشكل (8-13 أ) الذي يبين مقطعاً في المَرَحَل، ويتكون المَرَحَل من قلب حديدي محاط بملف كهربائي، ويمرر التيار إلى الملف المغناطيسي الذي يحيط بالقلب الحديدي عن طريق مفتاح سيطرة، وهناك سلك آخر ينقل التيار إلى نقاط تلامس ومنها إلى الحمل، فعند غلق مفتاح السيطرة يمر التيار الكهربائي في الملف الممغنط مما يؤدي إلى تكون مجال مغناطيسي حول القلب الحديدي، يقوم المجال المغناطيسي بسحب الذراع العلوي لنقطة التماس مما يؤدي إلى غلق الدائرة الكهربائية وإيصال التيار الكهربائي إلى الحمل، وكما مبين في الشكل (8-13 ب). وإذا تم فصل التيار الكهربائي عن الملف الممغنط فإن المجال المغناطيسي سينعدم مما يؤدي إلى ارتفاع الذراع الأعلى لنقطة التماس بفعل دفع النابض المركب في نهاية الذراع مما يؤدي إلى فصل التيار الكهربائي عن الحمل.



شكل 8-13 أ مقطّعاً في مرحل التيار في حالة عدم إيصال التيار إلى مفتاح السيطرة

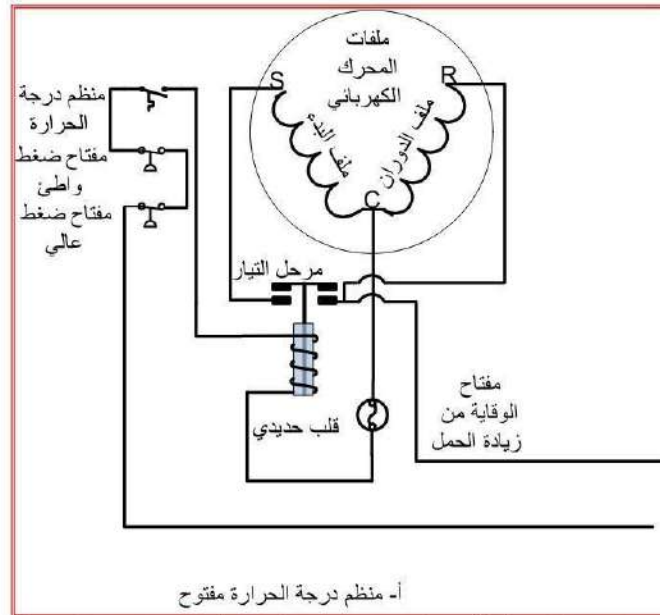


شكل 8-13 ب مقطّعاً في مرحل التيار في حالة إيصال التيار إلى مفتاح السيطرة

Current Relay

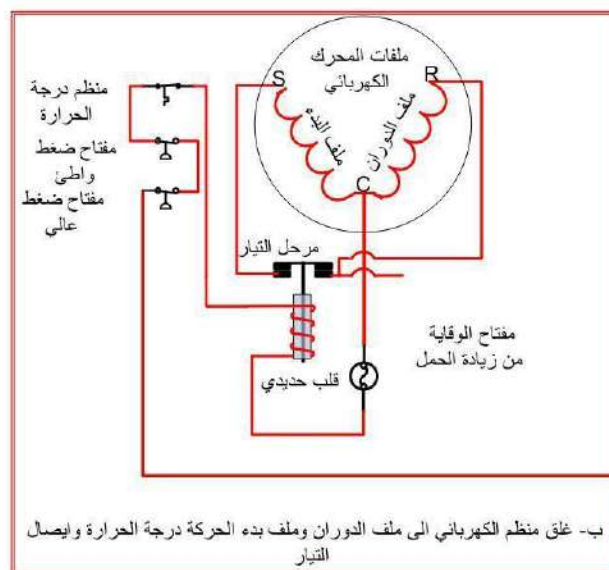
1-4-8 مُرَحِّل التيار

يستعمل مُرَحِّل التيار مع المحركات التي تبدأ حركتها بمتسعة أو مع المحركات منقسمة الطور وبدون متسعة. ولا يختلف التركيبان عن بعضهما لا في العمل ولا في التركيب. إن هذا المُرَحِّل هو من النوع المغناطيسي ويعمل نتيجة التغير في مرور التيار في ملفات العضو الدوار للمحرك خلال فترة بدء التشغيل والدوران. والشكل (8-14 أ) يوضح دائرة الربط لمُرَحِّل تيار بدء الحركة مع دائرة المحرك مع عدم مرور التيار بسبب فتح مفتاح منظم درجة الحرارة.

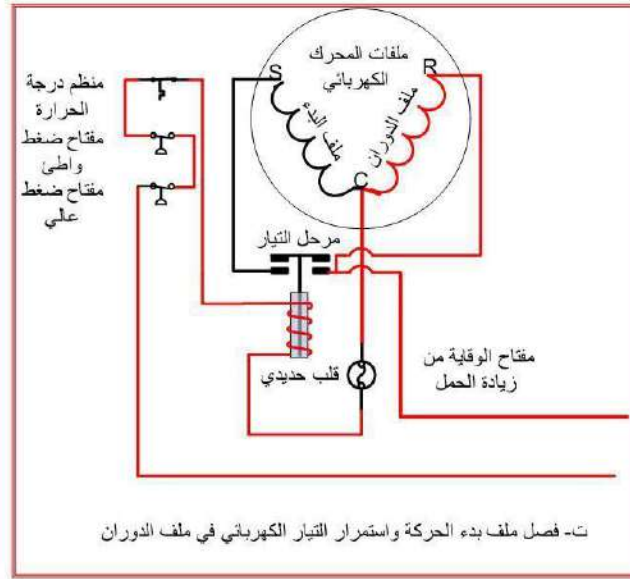


شكل 14-8 أ يوضح دائرة الربط لمُرحل تيار بدء الحركة مع دائرة المحرك مع عدم مرور التيار بسبب فتح مفتاح منظم درجة الحرارة

فعندما يغلق مفتاح منظم درجة الحرارة كما في الشكل (14-8 ب) يمر التيار في الملف الممغنط مما يؤدي إلى سحب نقاط التماس وإيصال التيار الكهربائي إلى ملف بدء الحركة وملف الدوران، وعند بدء دوران المحرك يتركز التيار في ملفات الدوران بشكل كبير وعند وصول سرعة المحرك إلى 75% من سرعة المحرك الكلية فإن التيار المار في الملف الممغنط سوف يضعف بشكل كبير مما يؤدي إلى توقف الفيض المغناطيسي، وبالتالي ارتفاع نقاط التماس، فيفصل التيار عن ملف بدء الحركة ويستمر مروره في ملف الدوران، وكما هو مبين في الشكل (14-8 ت). وتحدث هذه العملية بزمان قدره ثانية وربع الثانية تقريباً.



شكل 14-8 ب يمر التيار في الملف الممغنط مما يؤدي إلى سحب نقاط التماس

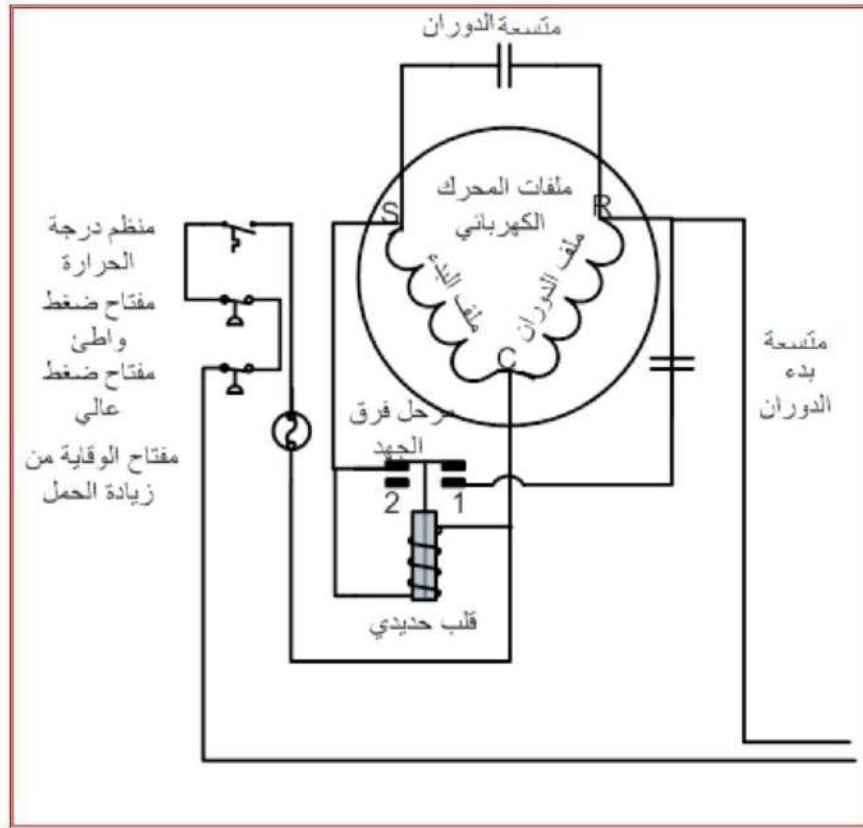


شكل 8-14 ت فصل التيار عن ملف بدء الحركة ويستمر مرور التيار في ملف الدوران

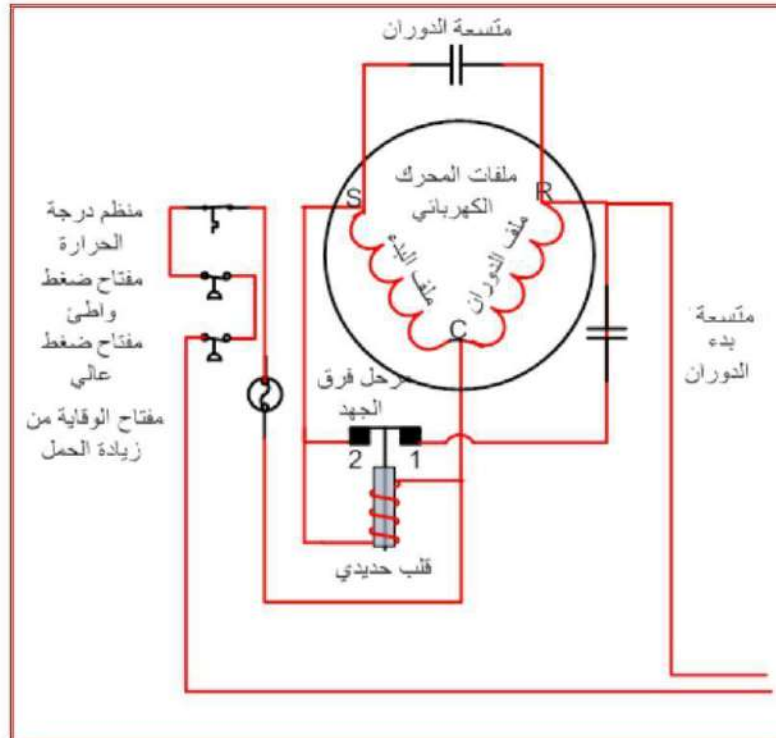
2-4-8 مُرَحَل الجهد

Potential Relay

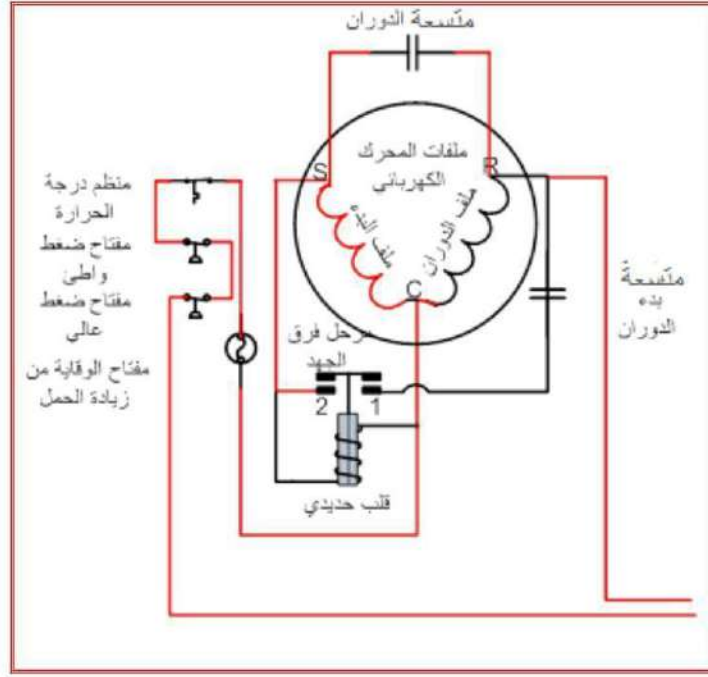
يستعمل ملف مُرَحَل الفولتية في المحركات التي تبدأ حركتها بمتسعة ومع المحركات التي تبدأ حركتها وتدار بمتسعة. يختلف مُرَحَل الجهد عن مُرَحَل التيار من خلال كون ملفه يتكون من عدة لفات من سلك ذي مقاومة عالية ويوصل على التوازي مع ملفات بدء الحركة، ويوضح الشكل (8-15 أ) طريقة تركيب هذا المُرَحَل في دائرة المحرك. توصل نقطتا تلامس المُرَحَل على التوالي مع متسعة بدء الحركة وتفتح في أثناء توقف المحرك فعند مرور تيار كهربائي في الدائرة يتمغنط قلب المُرَحَل مما يؤدي إلى توصيل نقاط التلامس عندها يمر التيار في جميع أجزاء الدائرة الكهربائية بضمنها ملفي بدء الحركة وملف الدوران، وكما هو مبين في الشكل (8-15 ب). وبعد بدء الحركة واستقرار سرعة المحركين تصل سرعة المحرك إلى 75% من سرعة المحرك يقل فرق الجهد بشكل كبير على ملف المُرَحَل مما يؤدي إلى توقف الفيض المغناطيسي وفصل نقاط التماس وبالتالي توقف مرور التيار الكهربائي في متسعة بدء الحركة وملف بدء الحركة، وكما هو مبين في الشكل (8-15 ت).



شكل 8-15 طريقة تركيب مرحل فرق الجهد في دائرة المحرك الكهربائي



شكل 8-15 ب تكون فيض مغناطيس وتوصيل نقاط التماس ومرور التيار في الدائرة الكهربائية



شكل 8-15 ت وصول سرعة المحرك إلى 75% من سرعته القصوى وفصل مُرَحِّل فرق الجهد

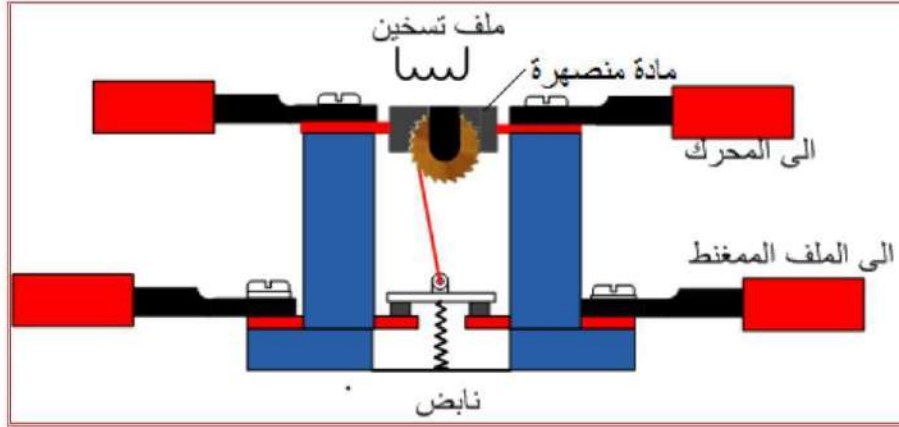
Overload Protection

5-8 حماية المحركات من التحميل الزائد

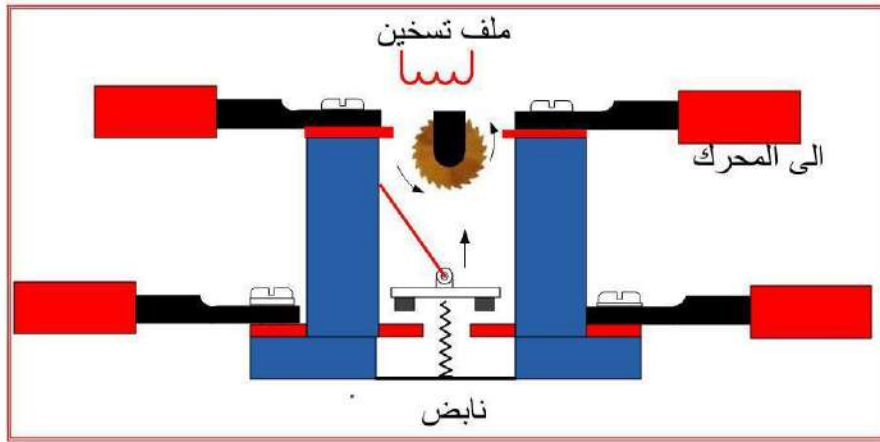
تستخدم قواطع الوقاية من الحمل الزائد لحماية المحركات من التلف نتيجة الحمل الزائد، حيث ينتج أحياناً زيادة جهد المصدر الكهربائي عن الحد المقرر، والمصممة على أساسه ملفات المحركات، مما يتسبب بمرور تيار عالٍ في ملفات الدوران وإتلافها، ولمنع تلف المحرك فإنه يزود بقاطع للوقاية عند زيادة التيار. إن معظم مرحلات الحمل الزائد تعتمد على خاصية التأثير الحراري، كما إن وحدة الحماية يجب أن تكون حساسة للتيار الذي يسحبه المحرك، ولذلك فإن العنصر الحساس في دائرة الحماية والذي يعتمد على تسخين التيار العالي يجب ربطه على التوالي مع دائرة المحرك، وهنالك نوعان من أجهزة الحماية شائعة الاستخدام في تطبيقات تكييف الهواء والتثليج، أحدهما يستخدم مادة لحام قابلة للانصهار عند مرور تيار عالٍ (Solder-Melting Material) والآخر يستخدم شريحة ثنائية المعدن (Bimetal). وفيما يلي توضيح لهاتين الطريقتين:

1- قواطع الوقاية من الحمل الزائد باللحام القابل للانصهار The Solder-Melting Type of Overload

يستخدم هذا النوع بشكل واسع في منظومات التثليج والتكييف، ويتكون هذا المرحّل من عجلة مسننة مثبتة على عمود داخل أنبوبة ثابتة، كما مبين بالشكل (8-16 أ) تكون الأنبوبة مثبتة بالعمود بواسطة مادة لحام. ويكون هنالك سلك تسخين ملفوف حول الأنبوبة ومتصل على التوالي مع المحرك، عند زيادة حمل المحرك، يزداد التيار المار خلال سلك التسخين، مما يؤدي إلى انصهار مادة اللحام وتحرير حركة العمود داخل الأنبوبة، ويقوم النابض بتحريك العجلة المسننة وتنفصل نقاط التلامس للمرحّل، لاحظ الشكل (8-16 ب)، وبما إن نقاط التلامس مربوطة على التوالي مع ملف بادئ الحركة للمحرك، فسوف يفقد مغنطته ويسبب انفصال المحرك عن المصدر الكهربائي.

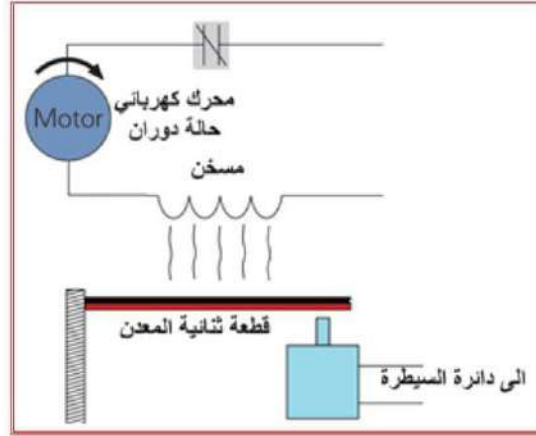


شكل 8-16 أ الدائرة الكهربائية تعمل بشكل طبيعي

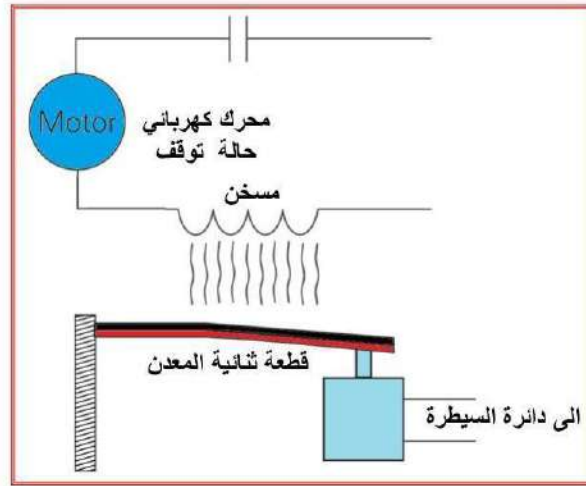


شكل 8-16 ب الدائرة الكهربائية بعد زيادة التيار وانصهار السلك

2- قاطع الوقاية من الحمل الزائد ذو شريحة ثنائية المعدن Bimetal Type of Overload، إن عمل هذا المُرَّحَل يكون مشابهاً لقاطع الوقاية باللحام القابل للانصهار، الذي تم ذكره في أعلاه، إلا أن الشريحة ثنائية المعدن هي التي تقوم بمهمة فتح نقاط التلامس للمُرَّحَل، كما في الشكل (8-17 أ)، حيث تقوم الشريحة بإغلاق نقاط التلامس نتيجة ضغط النابض، وعند التحميل الزائد سيمر تيار عالٍ في سخان المُرَّحَل، الذي يقوم بدوره بتسخين الشريحة ثنائية المعدن ومن ثم انحنائها، وكما مبين في الشكل (8-17 ب). وعند انحناء الشريحة تفتح نقاط التلامس بفعل النابض، مما يؤدي إلى توقف المحرك نتيجة انقطاع التيار، وبعد زوال أسباب زيادة الحمل الكهربائي تبرد الشريحة المعدنية وتعود نقاط التلامس لوضع الغلق مرة أخرى.



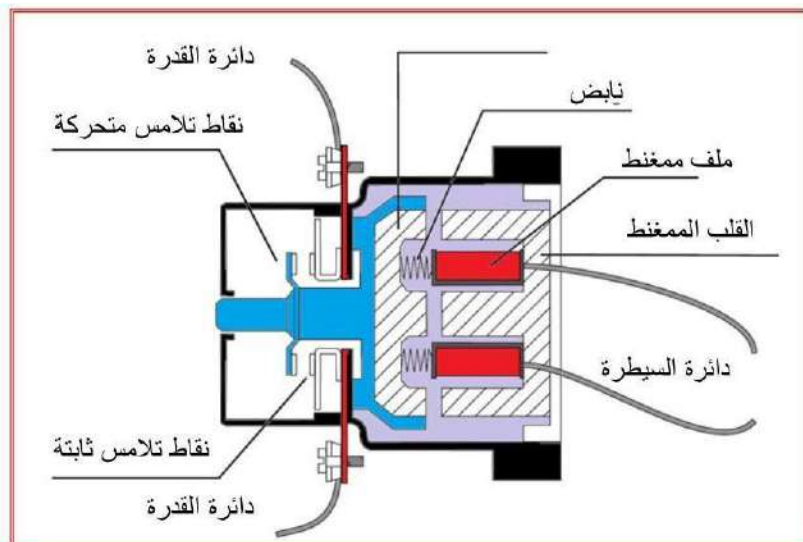
شكل 8-17 أ قاطع وقاية ذو شريحة ثنائية المعدن في حالة طبيعية



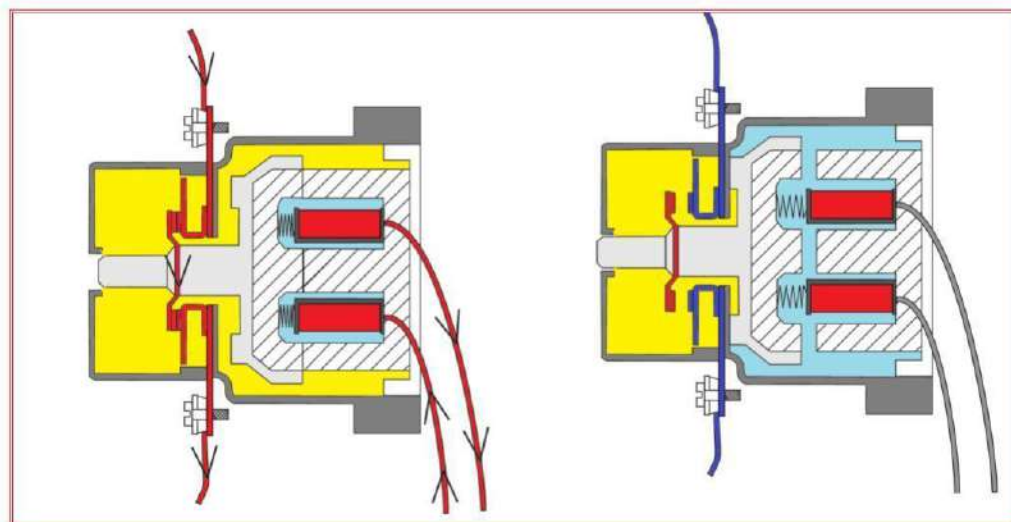
شكل 8-17 ب قاطع وقاية ذو شريحة ثنائية المعدن في حالة فصل

8-6 موصلات التيار ومفاتيح تشغيل المحرك Contactors and Motor Starters

تستخدم اللواقي المغناطيسية في أنواع مختلفة من دوائر التحكم وتدخل في مجالات كهربائية وإلكترونية عديدة. اللواقي المغناطيسية عبارة عن جهاز فصل ميكانيكي - كهربائي، يستخدم المجال المغناطيسي في إيصال أو فصل الدائرة الكهربائية، يتم تشغيله إما مباشرة بواسطة اليد أو عن بعد بواسطة مفاتيح خاصة. تختلف اللواقي المغناطيسية عن بعضها البعض باختلاف عدد الأقطاب فقد يكون ذا قطب واحد أو قطبان أو ثلاثة أو أربعة أقطاب. ويبين الشكل (8-18) تركيب اللواقي المغناطيسية. ويعمل اللاقط كما ذكرنا عن طريق مرور تيار كهربائي في ملف اللاقط مما يؤدي إلى تولد فيض مغناطيسي في ملف اللاقط، ويقوم الفيض المغناطيسي بسحب قاعدة النقاط المتحركة للاقط ويصلها بنقاط التلامس الثابتة، وكما هو مبين في الشكل (8-19 أ) والشكل (8-19 ب). في حين أن الشكل (8-20) يبين بعض أنواع اللواقي.



شكل 8-18 التركيب الداخلي للاقط مغناطيسي



ب - لاقط مغناطيسي في حالة توصيل

أ - لاقط مغناطيسي في حالة فصل

شكل 8-19 طريقة عمل اللاقط المغناطيسي



شكل 8-20 أنواع اللواقط المغناطيسية

أسئلة الفصل الثامن

س1: عرّف ما يأتي:

الموصل ، العضو الدوار ، العضو الثابت ، المحرك الكهربائي ، المرحّل ،
المحرك التزامني.

س2: ما هي كل من:

أ- أنواع المحركات ثلاثية الطور؟

ب- أنواع المحركات أحادية الطور؟

ج- الفروقات بين المحركات ذات الأطوار الأحادية والثلاثية؟

د- خصائص المحركات التزامنية؟

س3: وضح بالرسم مع التأشير على الأجزاء لكل مما يأتي:

أ- عضو دوار لمحرك ثلاثي الطور مع مقاومات بدء التشغيل.

ب- عضو دوار لمحرك تزامني مع دائرة التيار المستمر المغذية لملفاته.

س4: قارن بين الأنواع الأربعة من المحركات أحادية الطور ذات الطور المنقسم، من ناحية الدوائر الكهربائية ، التركيب ، وطريقة بدء الحركة.

س5: اشرح مبدأ عمل المحركات الكهربائية، وطريقة عمل المحركات الحثية ذات العضو الدوار ذي الملفات.

س6: اشرح أحد طرائق بدء الحركة لمحرك حثي ذي القفص السنجابي.

س7: اشرح موضحاً بالرسم كلاً مما يأتي:

أ- مُرحّل التيار.

ب- مُرحّل الجهد.

ت- مُرحّل الحمل الزائد باللحام القابل للذوبان.

ث- مُرحّل الحمل الزائد ذي شريحة ثنائية المعدن.

س8: كيف يتكون المجال الدوار داخل العضو الثابت لمحركات ثلاثية الأطوار؟