المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

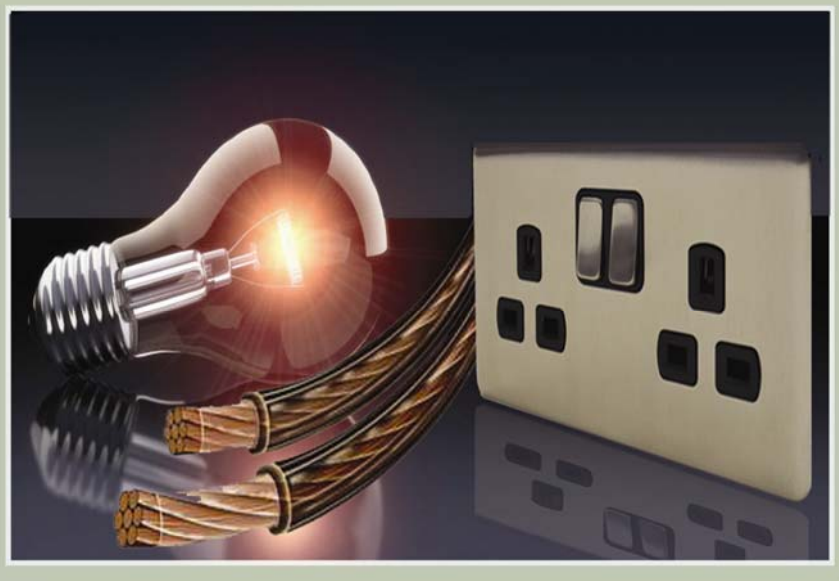
الكليات التقنية

الحقيبة التدريبية :

تشغيل محطات القوى والتحكم فيها

في تخصص

مشغل لوحة التحكم



1

الفهرس

الموضـــوع	رقم الصفحة
الوحدة الأولى ـ الغلايات	7
مقدمة	9
1- وصف عام.	9
1- 1 تصنيف الغلايات وفقاً للنوع :	10
1- 1- 1 غلايات مواسير اللهب:	10
1- 1- 2 غلايات مواسير المياه:	10
1- 2 تصنيف الغلايات وفقاً للاستخدام	14
1- 2- 1 أنظمة البخار لتوليد الطاقة الكهربائية.	14
1- 2- 2 أنظمة غليان الضغط العالي.	15
1- 2- 3 أنظمة غليان الضغط المنخفض.	15
1- 2- 4 غلايات تسخين البخار.	15
1- 2- 5 أنظمة المياه الساخنة.	15
1- 3 نوع الوقود.	16
1- 4 تقنيات معالجة المياه	16
1- 4- 1 المعالجة الخارجية للمياه.	16
1- 4- 2 المعالجة الداخلية للمياه.	18
1- 4- 3 تكييف (تلطيف مياه تغذية الغلاية).	18
1- 4- 4 التفوير.	20
1- 5- 2 حرق الوقود.	20
1- 5- 2- 1 الانبعاثات إلى الهواء.	20
1- 5- 2- 2 غلفات العلبة.	21
1- 5- 2- 3 بيئة العمل.	21

1- 6- 2 إجراءات تشغيل وصيانة غلايات مواسير اللهب.	23
1- 6- 3 أجهزة ومعدات التحكم في غلايات البخار.	24
1- 7 التحكم في تشغيل الغلايات :	25
1- 7- 1 ضغط الغلايات.	26
1- 7- 2 التحكم في الاحتراق.	27
1- 7- 3 نفاثات السناج.	30
1- 7- 4 مؤشر منسوب المياه	32
1- 7- 5 نوعية مياه الغلاية	32
1- 7- 6 الاحتراق الآمن	34
1- 7- 7 تشغيل الغلايات	35
1- 7- 8 البخار المتصاعد	42
الوحدة الثانية. الترتيبات (الغازية_ البخارية- الديزل)	68
الجزء الأول . التوربينات الغازية...	70
مقدمة عامة.	70
2- 2 دورات الاحتراق الداخلي.	71
2- 2- 1 دورة أتو.	72
2- 2- 2 دورة الديزل.	73
2- 2- 3 دورة براتيون.	74
2- 3 مكونات المحطة الغازية.	76
2- 4 نظام الاحتراق.	84
2- 5 التوربين.	87
2- 6 أداء التربين الغازي.	94
2- 7 بدء تشغيل وحدة التوليد الغازية.	97
2- 7- 1 مراحل بدء تشغيل وحدة التوليد الغازية.	98

2- 7- 2 التحكم في التربينات الغازية.	100
2- 7- 3 أوضاع التشغيل لتوربين الغازية .	102
الجزء الثاني: محطات توربينات البخار.	109
2- 8 طريقة عمل المحطة .	109
2- 9 مكونات المحطة البخارية.	114
2- 10 أجزاء التوربين البخارية .	117
2- 11 أنظمة التحكم في التوربينة .	126
2- 12 تشغيل التوربينة.	147
2- 13 إطفاء التوربينة .	153
2- 14 إيقاف التوربينة.	181
2- 15 محطات الدورة المؤلفة للبخار والغاز.	187
الجزء الثالث : محطات الديزل :	190
3- 1 طريق عمل المحطة.	190
3- 2 عناصر محطة الديزل.	191
3- 3 مميزات وعيوب محطات الديزل .	194
3- 4 أنواع محركات الديزل.	195
3- 5 الأجزاء الرئيسية للمحرك .	196
3- 6 دورة المحرك.	200
3- 7 تصنيفات محرك الديزل .	203
3- 8 حقن الوقود.	209
3- 8- 1 أنواع مضخات حقن الوقود.	209
3- 8- 2 تحضير مضخات حقن الوقود.	210
3- 8- 3 تشغيل مضخات حقن الوقود.	211
3- 9 حاكم السرعة.	214

3- 10 دورة زيت الوقود.	216
3- 11 دورة الوقود.	218
3- 12 معدات حقن الوقود.	226
الوحة الثالثة: المولد الكهربائي:	233
مقدمة:	233
3- 1 نظام التحكم في التردد والقدرة .	234
3- 2 نظام التحكم في الجهد ومعامل القدرة.	234
3- 3 تشغيل المولدات.	238
3- 4 التزامن.	243
3- 5 تقاسم أو تشارك الحمل.	246
3- 6 التحكم في الجهد.	251
الوحدة الرابعة: قراءة مخططات النظام :	255
4- 1 مقدمة.	256
4- 2 مخططات تحديد الأنابيب.	256
4- 3 المحابس ورموزها.	256
4- 4 الصمامات .	263
4- 5 الرموز الخاصة بالمكونات الرئيسية.	265
4- 6 قراءة مخططات نظام بسيط.	277
المراجع	291

1

مقدمة

الحمد لله وحده،والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد بن عبدالله وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على الله ثم على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى إلى مصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " تشغيل محطات القوى والتحكم فيها" لمتدربي تخصص **مشغل لوحة التحكم** للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجلً أن تسهم بالشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، مدعم بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه؛ إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

1

2

الوحدة الاولى

الغـــــــلايـــــات

الجدارة: الإلمام بمفاهيم الغلايات وتطبيقاتها الصناعية وطرق تشغيلها.

الاهداف:

عند اتمام دراسة هذه الوحده يتمكن المتدرب من :

- التعرف على الغلايات وأنواعها وتطبيقاتها.
- الإلمام بالأنظمة والعمليات التشغيلية الخاصة بالغلايات.
- طرق التحكم في الغلايات والأجهزة المساعدة لها.

مستوى الاداء المطلوب:

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة 85٪

الوقت المتوقع للتدريب: ستة ساعات أو ثلاثة أسابيع (أسبوع / ساعتان).

الوسائل المساعدة:

زيارات ميدانيه لبعض محطات القوى الكهربائيه ومحطات تحلية المياه.

متطلبات الجداره: لا يوجد

الوحدة الاولى

الغلاية أو مولد البخار

مقدمة :

هي وعاء ضغط محكم يتم تسخين السوائل بداخله (غالباً المياه). فإذا كان الغرض من استخدام الغلاية هو الحصول على المياه الساخنة فيطلق عليها اسم "غلاية المياه الساخنة" (hot-water boiler) . أما إذا كان الغرض من استخدام الغلاية هو توليد البخار (الرطب أوالمشبع أو المحمص) تحت ضغط مرتفع فيطلق عليها اسم "مولد البخار" (steam generator) . يتم تسخين المياه في الغلاية بواسطة الحرارة الناتجة عن حرق الوقود (صلب ، سائل ، غازي)، أو باستخدام الكهرباء أو الطاقة النووية . وتنتقل الحرارة إلى المياه داخل الغلاية عن طريق أسطح التسخين . يوضح الملحق في نهاية الفصل المصطلحات المرتبطة بالغلايات. ويتطلب تشغيل الغلاية وصيانتها والتفتيش عليها فريقاً من الفنيين على مستوى عالٍ من التدريب .

1- وصف عام :

تعتبر وحدات توليد البخار أهم مصادر الطاقة في المنشآت الصناعية . وتتضمن تلك الوحدات :

خطين رئيسيين ،وخط الوقود وخط المياه ،وهم خطان منفصلان تماماً عن بعضهما من حيث انتقال الكتلة (mass transfer) والعلاقة الوحيدة بين الخطين تتم من خلال انتقال الحرارة الناتجة من حرق الوقود إلى المياه والتي ينتج عندها توليد البخار . ويمكن التفريق بين وحدات التوليد البخارية اعتماداً على ما يلي:

- نوع وحدة توليد البخار.
- الاستخدام .
- نوع الوقود.
- التقنية المستخدمة لمعاجلة المياه.

1.1. تصنيف الغلايات وفقاً لنوع الشكل العام:

لا يوجد ارتباط مباشر بين أنواع الغلايات وانبعاث الملوثات في ظروف التشغيل العادية ومع ذلك فإن الإلمام بكيفية تشغيل كل نوع منها يلقي الضوء على عمليات التحكم في التشغيل لتجنب الأعطال من خلال الصيانة الوقائية .

ويمكن تصنيف الغلايات المستخدمة في الصناعة إلى:

1. غلايات مواسير اللهب أو غلايات الغلاف الجداري (Fire tube or shell)
2. غلايات مواسير المياه .
3. الغلايات المركبة (مواسير لهب ومواسير مياه)

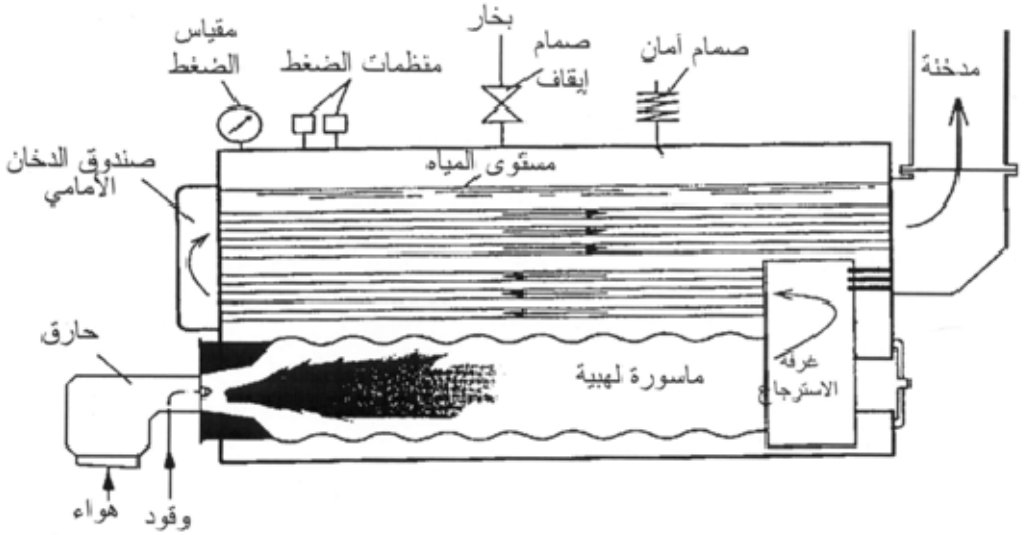
وتنقسم أنواع غلايات مواسير المياه وفقاً لأسلوب صناعتها إلى :

- غلايات سابقة التجميع (تجميع المصنع) (shop-assembled).
- غلايات نسقيه (modular).
- غلايات تجمع بالموقع (site assembled).

1.1.1.غلايات مواسير اللهب (Fire-tube boiler):

في هذا النوع من الغلايات تتدفق الغازات الساخنة الناتجة عن الاحتراق عبر مسارات (غالباً ما تكون على شكل مواسير) تمر داخل وعاء للماء .

كما يحتوي هذا الوعاء أيضاً على ماسورة كبيرة (ماسورة اللهب flame tube) يتم بداخلها حرق الوقود .غالباً ما تستخدم غلايات مواسير اللهب في أغراض التسخين والأغراض التجارية والاستخدامات الصناعية . وتؤثر متطلبات انتقال الحرارة على شكل الغلاية وتركيبها بحث يسمح تصميمها باستخلاص ونقل أكبر قدر من الطاقة الحرارية الناتجة عن الاحتراق إلى المياه.



الشكل رقم (٢-١) غلاية ذات مواسير لهب ثلاثية الممرات
(Three-P Fire-Tube Boiler)

ويمكن تصنيف غلايات مواسير اللهب إلى: غلايات مواسير اللهب أفقية العائدة(Horizontal-return-tubular)، الغلايات الاقتصادية أو غلايات صندوق الاحتراق (fire box)، وغلايات القطارات المزودة بصندوق الاحتراق (locomotive firebox)، وغلايات مواسير اللهب القائمة، والغلايات القائمة عديمة المواسير، و الغلاية البحرية (الغلاية الاسكتلندية) (Scotch-marine) .

وهذا النوع الأخير من الغلايات (شكل 2- 1) شائع الاستخدام للأغراض الصناعية ولأغراض التسخين، وهي غلاية مواسير لهب ذات سعة تصل إلى 20000 كجم/الساعة، أما غلايات مواسير المياه فتستخدم في السعات الأكبر.

ونظراً لكبر مساحة أسطح التسخين في غلايات الإرجاع الجاف فإنها تعد أسرع في إنتاج البخار من غلايات الإرجاع الرطب، وتكون تصميماتها أكثر انضغاطاً وأسهل في التركيب. وهي قليلة الانتشار في الوقت الحالي.

1- 1- 2 غلايات مواسير المياه:

أدى تطور الصناعة خلال القرنين الماضين إلى زيادة استخدامات الغلايات لتوليد البخار.وقد ارتبط التوسع في استخدام الغلايات بحدوث انفجارات ضخمة في بعض الحالات

لأسباب مختلفة ، حيث كانت الغلايات في تلك الفترة تتكون من وعاء ضغط يتعرض لمستويات ضغط داخلي مرتفعة تؤدي إلى وقوع إجهاد شد على الحوائط الداخلية للغلاية(tensile stress)معروف باسم الإجهاد الحلقي (loop stress)ويتم تقديره بواسطة المعادلة التالية:

$$S = \frac{P \times D}{T^2}$$

حيث:

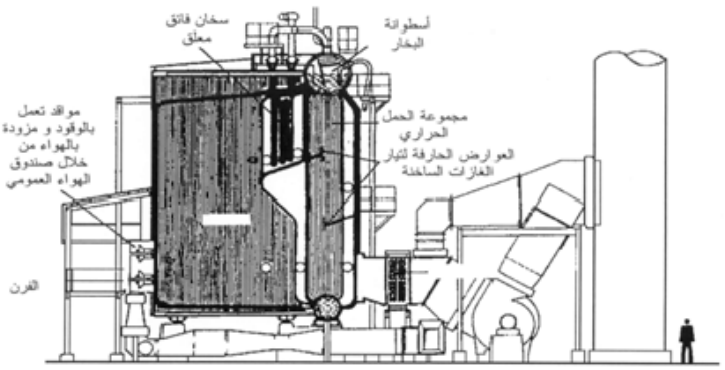
S = الإجهاد الحلقي P = ضغط التشغيل الداخلي D = قطر الوعاء T = سمك المادة المعدنية.

ويتضح من المعادلة أنه: لأي قيمة ل (S) فإن زيادة قطر الغلاية مع زيادة مخرجاتها ينبغي أن تصاحبه زيادة في سمك المعدن (T) فإذا زادت قيمة ضغط التشغيل (P) فإن الوسيلة الوحيدة للحفاظ على ثبات قيمة (S) تنحصر إما في تصغير قطر الغلاية (D) أو زيادة سمك المعدن (T). والحل الأخير يؤدي إلى ارتفاع تكاليف صناعة الغلاية وزيادة حجمها. أما الحل الآخر وهو تصغير قطر الغلاية فيمثل حلاً عملياً. ويمثل هذا التصور التصميم الأساسي لغلايات مواسير المياه حيث تتواجد المياه داخل مواسير تتدفق من حولها نواتج الاحتراق (الغازات الساخنة) (الشكل 2- 2).

تتكون أسطح التسخين في الغلاية من مجموعة من المواسير، بعضها معرض مباشرة للهب والبعض الآخر معرض لتدفق الغازات الساخنة الناتجة عن احتراق الوقود. وتزود مجموعات المواسير بعوارض حارقة (Baffles) تعمل على إيجاد مسارات متعددة لتيار الغازات الساخنة المتدفق لتزيد من كفاءة أسطح التسخين. وبهذا تنتقل الحرارة إلى المياه في الغلاية عبر مواسير رقيقة المقطع مقارنة بسمك جدار الغلاية ذات مواسير اللهب. ويمكن بالتالي زيادة ضغط التشغيل (working pressure) أكثر مما هو متاح في غلايات مواسير اللهب . كما يمتاز هذا النوع من الغلايات عن غلايات مواسير اللهب من ناحية انخفاض الأضرار التي قد تنتج من حدوث تشققات بأحد المواسير إذا ما قورنت بالأضرار التي قد تنتج من جراء تصدع أو تشقق الحارق أو الجدار المحيط بالغلاية ذات مواسير اللهب. وقد استمر العمل بهذا

التصميم لفترة طويلة رغم مستويات الضغط المحدودة التي يوفرها ، ثم ظهرت الغلايات متعددة الأسطوانات (multi-drum boilers) وعرفت الأسطوانات السفلى التي تترسب فيها شوائب المياه بأسطوانات الطين (mud drums).

وكانت الغلايات القديمة تتضمن حوائط من الطوب مبطنة من الداخل، حيث توجد مواسير المياه بطوب حراري. ومع التطوير الذي طرأ على تصميم الغلايات، أصبحت الأسطح الخارجية لهذه الحوائط مغطاة جزئياً بمواسير للمياه أطلق عليها حوائط المياه (water-walls)،تتصل المواسير باسطوانة البخار إما مباشرة أو بواسطة مجمع توزيع (header). وتمتص حوائط المياه جزءاً من الطاقة الحرارية الناتجة عن الاشتعال لتخفيض درجة حرارة غازات العادم قبل وصولها إلى مجموعات مواسير الحمل الحراري (convection bank). ومع تطور التصميمات زادت المساحة المغطاة بمواسير المياه وانخفضت معها كمية الحرارة المفقودة عن طريق التسرب من الجدران إلى الجو.



وأدخلت تطويرات كثيرة على النظام الأساسي لغلايات مواسير المياه، فأصبح الحائط الطوبي الداخلي مغطى تماماً بأسطح يتم تبريدها بواسطة المياه. وتتكون الجدران إما من مواسير متلامسة: "مواسير التماس" (tangent tubes) أو مواسير تتصل ببعضها بواسطة ألواح من الصلب ملحومة محوريا: "الجدران الملتحمة" (welded walls). ومع ازدياد مستوى ضغط التشغيل واستخدام الموفرات

(economizers) وسخانات الهواء لم تعد هناك حاجة لاستخدام عدداً كبيراً من الأسطوانات في الغلاية، وأصبحت الغلايات ذات الأسطوانتين هي أكثر الأنواع شيوعاً في الاستخدام الصناعي، إذ يصل مستوى ضغط التشغيل فيها إلى 100 بار. يوضح الجدول (2-1) خصائص غلايات مواسير اللهب ومواسير المياه.

1- 2 تصنيف الغلايات وفقاً للاستخدام:

يمكن تقسيم أنظمة الغلايات وفقاً لأغراض الاستخدام إلى:

أ- غلايات لتوليد الطاقة الكهربية.

ب- غلايات البخار عالي الضغط للاستخدام الصناعي .

ج- غلايات البخار منخفض الضغط للاستخدام الصناعي .

د- أنظمة التسخين بالبخار.

ه- أنظمة المياه الساخنة، منخفضة الضغط وعالية الضغط .

و- أنظمة تستخدم سوائل تشغيل أخرى غير دورة المياه- البخار مثل (زيوت التسخينdowtherm).

1- 2 - 1 أنظمة البخار لتوليد الطاقة الكهربية:

تستخدم الغلايات ذات مواسير المياه لتوليد الطاقة الكهربية في المرافق العامة، وهي تعمل عند مستويات من الضغط تحت الحرج (sub-critical pressure) مرتفعة بشكل ملحوظ ، كما تستخدم في بعض وحدات الطاقة عند ضغوط فائقة الحرج (super-critical pressure). ويمد مولد البخار التوربينات بالبخار الحي المحمص. وفي الوحدات الحديثة تكون الغلايات مزودة بملحقات مساعدة مثل: السخانات، المحمصات (superheaters)،ملفات إعادة التسخين (reheaters)، سخانات الهواء (preheaters) والتي تزيد من الكفاءة الحرارية للغلاية.

1- 2- 2 أنظمة عمليات الضغط العالي (High-Pressure Process Systems):

تستخدم في هذه الأنظمة غلايات مواسير اللهب أو المياه، تبعاً للضغط أو السعة المطلوبة. ويستخدم البخار لتشغيل المكابس والمضخات والمعدات الشبيهة، كما يستخدم أيضاً لسد احتياجات العمليات الصناعية من درجات حرارة مرتفعة.

1- 2- 3 أنظمة عمليات الضغط المنخفض/ أنظمة المياه الساخنة (Low-Pressure Steam Systems/Hot-Water Systems)

تصنف الغلايات وسخانات المياه التي تعمل عند ضغط تحت واحد بار (1bar) كأنظمة ضغط منخفض.

1- 2- 4 غلايات تسخين البخار (Steam-Heating Boiler):

تتكون غلايات تسخين البخار من وحدات ضغط منخفض مصنوعة من الصلب، وفي بعض الأحيان تستخدم غلايات الضغط المرتفع المصنوعة من الصلب في المباني السكنية الكبيرة أو المنشآت الصناعية الضخمة، وفي مثل هذه الحالات تزود خطوط البخار بصمامات (محابس) لتخفيض الضغط في أجهزة التدفئة بالإشعاع الحراري (radiators) وسخانات الحمل الحراري (convectors) وملفات البخار (coils steam). وتعمل أنظمة تسخين البخار في دوائر مغلقة تضمن عودة متكثفات البخار إلى الغلاية.

1- 2- 5 أنظمة المياه الساخنة (Hot-Water Systems):

هناك ثلاث فئات من أنظمة المياه الساخنة:

أ- أنظمة التزويد بالمياه الساخنة لأغراض الغسل والأغراض الأخرى المشابهة.

ب- أنظمة تسخين الهواء من أنواع الضغط المنخفض ويطلق عليها عادة أنظمة تسخين المباني.

ج- أنظمة مياه الحرارة المرتفعة والضغط العالي التي تعمل عند درجات حرارة أعلى من 120م ومستوى ضغط أكبر من 10 بار.

1- 3 نوع الوقود:

تعتبر عملية الاحتراق نوعاً خاصاً من الأكسدة يتحد خلالها الأكسجين الجوي بعناصر الوقود. وتختلف التأثيرات البيئية لعملية الاحتراق تبعاً لنوع الوقود المستخدم. وهنالك ثلاثة أنواع رئيسة من الوقود التجاري التي تستخدم في الغلايات:

- الوقود الثقيل.
- الوقود الخفيف.
- الغاز الطبيعي.

وترتبط الملوثات الناتجة عن عمليات الاحتراق والمنبعثة إلى الهواء مباشرة بنوعية الوقود المستخدم.

1- 4 تقنيات معالجة المياه:

تعتبر نوعية المياه عنصراً أساسياً ومؤثراً في كفاءة الغلايات وأنظمة البخار. وتحتوي مصادر المياه المختلفة على شوائب متنوعة مثل الغازات الذائبة، والمواد الصلبة العالقة والذائبة. وتعتمد عمليات معالجة المياه إما على إزالة تلك المواد أو تخفيض تركيزاتها إلى المستوى الذي يحد من تأثيراتها السلبية أو على إضافة مواد أخرى للحصول على نفس النتائج ، وتهدف معالجة مياه التعويض في الغلاية (make up water) إلى:

- منع تكون القشور في الغلاية (scales) وفي المعدات الملحقة فيها والتي تؤدي إلى انخفاض كفاءتها وحدوث أضرار جسيمة فيها.
- الحد من تكون الرغوة وتجنب تلوث البخار بالمواد التي تحتويها مياه الغلاية.
- الحد من تآكل جسم الغلاية بسبب الأكسجين الذائب في مياه التغذية ، وتآكل مواسير شبكة البخار بسبب تواجد ثاني أكسيد الكربون . ويحدد الملحق (C) نوعية المياه التي يوصى باستخدامها لتغذية الغلايات.

وهناك طريقتان أساسيتان في معالجة المياه : المعالجة الخارجية و المعالجة الداخلية.

1- 4- 1 المعالجة الخارجية للمياه

تعتمد هذه الطريقة على إزالة الشوائب الموجودة في المياه أو تخفيض تركيزاتها قبل دخولها إلى الغلاية . وتستخدم هذه الطريقة في حالة ارتفاع نسبة بعض الشوائب في المياه إلى الحد الذي لا يستطيع معه نظام الغلاية التعامل معها. وأكثر الطرق شيوعاً في المعالجة الخارجية للمياه هي التبادل الآيوني (ion exchange) ونزع الغازات من المياه (dearation)

ونزع المعادن (demineralization) . وتجدر الإشارة إلى أنه من الضروري إجراء كشف دوري على المتغيرات الأساسية التي تحدد نوعية المياه وتسجيلها .

وتستخدم مجموعة الاختبارات الجاهزة للكشف عن نوعية المياه (water test kits).

أما الكشف عن الأملاح الذائبة الكلية فيتم بواسطة جهاز قياس القدرة التوصيلية (conductivity meters)

وتعمل هذه الميسرات بكفاءة أعلى في المياه النظيفة ، حيث تتم إزالة المواد الصلبة العالقة من المياه الخام عن طريق الترشيح باستخدام المخثرات (coagulants) ، وإلا فإنها سوف تسد مسام مادة التبادل وتقلل من كفاءتها . وتتعرض الميسرات أيضاً إلى أضرار بسبب الاحتكاك بالمواد الدقيقة المحمولة في تيار الماء ، لذلك يصبح من الضروري إضافة كميات جديدة من المادة المبادلة سنوياً (أو كل سنتين) لاستعادة كفاءة الميسرات. وتختلف الأضرار التي تحدث للميسرات وفقاً لظروف التشغيل ، لذلك ينبغي استشارة موردي الميسرات بخصوص الخسائر المتوقعة وفقاً لظروف التشغيل المختلفة.

ب- نزع الهواء (deaeration) :

تتم خلال هذه العملية إزالة الأكسجين من المياه عن طريق التسخين فقابلية الأكسجين للذوبان في المياه تنخفض بارتفاع درجات الحرارة . وبذلك يمكن التخلص من الأكسجين في المياه برفع درجة حرارتها إلى درجة الغليان عند مستوى ضغط التشغيل (operating pressure) . وهناك تصميمات خاصة بالضبط والتفريغ تستخدم لهذا الغرض. في أنظمة نزع الهواء التي تعتمد على الضغط يتم ضخ البخار الساخن في المياه لإزالة الأكسجين ورفع درجة حرارة مياه تغذية الغلاية في نفس الوقت. أما وحدات التفريغ فتستخدم في الحالات التي لا تتضمن تسخيناً للمياه. وتقوم معدات نزع الهواء البخارية (steam deaerators) بنشر المياه على شكل رذاذ أو غشاء رقيق جداً يدفع من خلاله البخار لطرد الغازات الذائبة مثل الأكسجين أو ثاني أكسيد الكربون . ويمكن بهذه الطريقة خفض محتوى المياه من الأكسجين إلى أدنى من 0.005سم3/لتر ، أي عند الحد الذي يسمح بالكشف عن محتوى الأكسجين في العينات بالوسائل الكيميائية ويعكس ارتفاع الأس الهيدروجيني للمياه كفاءة نظام نزع الغاز ، حيث يؤدي التخلص من ثاني أكسيد الكربون الذائب إلى ارتفاع الأس الهيدروجيني للمياه.

ج- ترسيب المعادن (Demineralization) :

تعتمد أساليب نزع المعادن على تمرير المياه خلال مبادلات للأيونات الموجبة والسالبة. ففي عمليات التبادل الكاتيوني (cation exchange) تحل أيونات الهيدروجين محل كافة الأيونات الموجبة ، أما في عمليات التبادل الأنيوني (anion exchange) فيحل الهيدوركسيد محل كافة الأيونات السالبة. وينتج بالتالي عن هذه العمليات مياه تتكون أساساً من أيونات الهيدروجين وايونات الهيدروكسيد ، أي الماء.

1- 4- 2 المعالجة الداخلية للمياه :

تعتمد المعالجة الداخلية على التخلص من الشوائب الموجودة بالمياه في داخل الغلاية . وتتم المعالجة إما في خطوط مياه التغذية أو داخل الغلاية نفسها. ومن الممكن الاعتماد فقط على المعالجة الداخلية للمياه كما يمكن الجمع بين المعالجة الداخلية والخارجية. ويصمم نظام المعالجة الداخلية للمياه للتغلب على مشكلات عسر مياه التغذية ،والتحكم في التآكل ، والتخلص من الأكسجين الذائب، والحد من الجسيمات المحمولة مع تيار المياه . ومن خلال هذا النظام يتم التخلص من العسر القلوي للمياه الخام وترسيب الأملاح المسببة للعسر عن طريق التسخين. أما العسر المستديم فيتم ترسبه في الغلاية عن طريق إضافة بعض القلويات مثل كربونات الصوديوم والصودا الكاوية ، وفوسفاتات الصوديوم. ونظراً لارتفاع أسعار هذه المواد فإن استخدامها يقتصر على الحالات التي تكون فيها المياه الداخلة ذات نوعية رديئة، إلا أنه في نظم الغلايات التي تعمل عند مستويات ضغط جوي أعلى من 14 بار ، أو في حالات العسر المنخفض لمياه التغذية فإن استخدام هذه المواد يكون ضرورياً .

1- 4- 3 تكييف (تلطيف) (مياه تغذية الغلاية conditioning ofboiler feed water):

يتضمن تلطيف مياه الغلاية إضافة بعض المواد الكيميائية التي تضاعفه أعدادها وأنواعها خلال السنوات العشرين الماضية. والجدير بالذكر أن أي نظام لتلطيف المياه في نوع معين من الغلايات لا يمكن أن يشمل كافة المواد التي نعرضها كما يلي :

1) **كربونات الصوديوم** : تستخدم في الغلايات التي تعمل عند مستوى ضغط أقل من 14بار لمنع تكون القشور ولزيادة قلوية مياه التغذية مما يحد من التآكل . وتوفر بعض عمليات المعالجة الخارجية التي تستخدم فيها كربونات الصوديوم قدراً مناسباً من هذه المادة في مياه التعويض المعالجة.

2) **الصودا الكاوية** : يمكن أن تحل محل كربونات الصوديوم في غلايات الضغط المنخفض ، ويمكن الاستغناء عنها إذا ما وفرت المعالجة الخارجية درجة مناسبة من يسر المياه.

3) **الفوسفاتات** : تستخدم جميع أنواعها لمنع تكون القشور في الغلايات التي تعمل عند مستوى ضغط أعلى من 14 بار .وتعمل الفوسفاتات الزجاجية (glassy phosphates)على خفض ترسيب كربونات الكالسيوم في خطوط التغذية بالمياه الساخنة. ويمكن استخدام كل من الفوسفاتات الحمضية والزجاجية للتخلص من الصودا الكاوية الزائدة الناتجة عن المعالجة الخارجية للمياه .

4) **المركبات الكلابية (chelating agents)** : تستخدم كبديل للفوسفاتات لمنع تكون قشور الغلايات .

5) **مضادات الرغوة (Anti-foams)** : تستخدم لمنع تكون الرغوة في الغلاية ، وعادة ما تتضمن المركبات الكيميائية التي يوزعها الموردون لدى تسليم الغلاية مواداً مضادة لتكوين الرغوة ، كما يمكن الحصول عليها في طلبات منفصلة من الموردين.

6) **الأمينات المعادلة (neutralizing amines)** : تستخدم لمعادلة ثاني أكسيد الكربون في متكثفات البخار وفي خطوط التغذية ، وبالتالي للحد من التآكل . ويعتبر استخدامها غير اقتصادي في أنظمة الغلايات التي تحتاج إلى كميات كبيره من مياه التعويض الغير معالجة . كما أنها لا تتناسب تلك الأنظمة التي تتضمن تلامس مباشراً بين البخار والمنتجات الغذائية أو المشروبات أو المنتجات الطبية.

7) **كبريتيت الصوديوم (sodium sulfite)**: تستخدم للتخلص من الأكسجين الذائب في المياه وبالتالي للحد من التآكل. يتفاعل كبريتيت الصوديوم المركب (compounded sodium sulfite) بسرعة أكبر بـ 200 – 500 مرة من سرعة تفاعل كبريتيت الصوديوم الغير مركب (uncompounded sodium sulfite) مما يتيح حماية أكبر لأنظمة التغذية القصيرة . يضاف كبريتيت الصوديوم للغلايات المملوءة بالمياه عندما تكون في حالة توقف عن العمل أو في حالة جاهزة للاستخدام (stand-by) .

8) **الهيدرازين (hydrazine)** : يستخدم في التخلص من الأكسجين الذائب في المياه وبالتالي بالحد من التآكل ، ويمتاز بأنه لا يزيد من نسبة المواد الصلبة الذائبة، ويتفاعل الهيدرازين عند درجات حرارة أقل من 245°م ، ولا يستخدم في الأنظمة التي تتضمن تلامساً مباشراً بين البخار والمواد الغذائية أو المشروبات.

9) **كبريتيت الصوديوم (sodium sulfite)** : يستخدم في تجنب حدوث التصدعات التي قد تنتج عن استخدام مواد كاوية في الغلايات.

10) **نترات الصوديوم** : تستخدم أيضاً لتجنب التصدعات التي قد تحدث بسبب استخدام مواد كاوية.

11) **مزيلات الحمأه (sludge mobilizers)** : تستخدم بعض المواد العضوية الطبيعية أو التخليقية لمنع التصاق الحمأه بالجسم المعدني للغلاية، غير أن بعض هذه المواد يستخدم عند درجات حرارة محدده لذلك ينبغي اتباع إرشادات المصنعين بدقه عند استخدام هذه المواد.

1- 4- 4 التفوير (Blowdown):

يعتبر تفوير الغلاية جزءاً هاماً من نظام معالجة مياه الغلاية ويتطلب متابعة دقيقة ومستمرة لضمان التحكم الجيد . ويسمح تفوير الغلاية بالتخلص من الطين والحمأه والشوائب الأخرى التي قد تترسب بالجزء السفلي من إسطوانة الغلاية .

1- 5- 2 حرق الوقود:

يتسبب احتراق الوقود في انبعاث غازات العادم إلى الجو ، ويعتبر الرماد والجسيمات هي المخلفات الصلبة الرئيسية الناتجة عن عملية حرق الوقود والتي يتم التخلص منها بواسطة أساليب الحد من تلوث الهواء (الفلاتر والمرسبات الكهروستاتيكية).

1- 5- 2- 1 الانبعاثات إلى الهواء:

توضح المعلومات الكيميائية عن احتراق المواد العضوية والواردة في الملحق (D-1) أن غازات العادم تحتوي أساساً على : ثاني أكسيد الكربون ،والماء والنيتروجين وثاني أكسيد الكبريت بالإضافة إلى الأكسجين الذي ينتج عن الهواء الزائد (excess air) اللازم للاحتراق التام . كما تظهر أيضاً في غازات العادم آثار لأكاسيد النيتروجين

N2O ،NO ،NO2 وآثار ضئيلة للغازات العضوية مثل الألدهيدات (aldhydes) الناتجة عن احتراق بعض المواد العضوية التي تتواجد بالوقود وبخاصة الوقود الثقيل. وأهم الملوثات المنبعثة من المدخنة هي:

- ثاني أكسيد الكبريت (SO2).
- أكاسيد النيتروجين (Nox).
- ثاني أكسيد الكربون (CO2).
- الجسيمات.
- المعادن الثقيلة.
- مواد سامة أخرى تكون ملتصقة بالجسيمات المنبعثة.

1- 5- 2- 2 المخلفات الصلبة:

تستخدم معدات الحد من التلوث لتجميع الجسيمات والرماد وتختلف كمية المخلفات تبعاً لاختلاف نوع الوقود فتزداد نسبة الرماد والجسيمات في استخدام أنواع الوقود الصلب.

1- 5- 2- 3 بيئة العمل:

مصادر التلوث :

- تسرب المواد العضوية الطيارة إلى غرفة الغلاية .
- الضوضاء.
- الحرارة والرطوبة.
- يجب الحفاظ على محابس القياس (gauge cocks) نظيفة وجافة، وينبغي اختبارها مرة واحدة في كل وردية لضمان عدم وجود أية إعاقة في الخط الواصل بينهم وبين عمود الماء ودليل منسوب المياه(water column,waterglass) وللتأكد من منسوب المياه الحقيقي.
- يجب إجراء اختبارات لصمامات الأمان لمرة واحدة على الأقل أسبوعياً وذلك برفع الصمامات برفق عن موضعها، فإذا لم تتحرك الصمامات فإن ذلك يعني تراكم الصدأ وترسب بعض المواد مما يعيق حركتها، وهذا يتطلب اتخاذ إجراءات تصحيحية فور إذ لا ينبغي تشغيل الغلايات عند حدوث أعطال في صمامات الأمان.

- يجب الحفاظ على نظافة الحوارق (burners) والتأكد من عدم وجود وقود متسرب، بينما يتم التأكد من توجيه اللهب بحيث لا يؤثر على الحوائط الجانبية والجدار أو المواسير. ويجب كذلك التأكد من سلامة مراقبات اللهب (flame detectors or safeguards)في كل وردية للتأكد من صلاحيتها وذلك لتجنب حدوث انفجار الفرن.
- يجب التأكد من خلو الغلاية من أية قشور مترسبة ، أو حال متراكمة أو ترسيبات زيتية لتجنب التسخين الزائد للأسطح المنبعجة الذي يؤدي إلى حدوث تشققات خطيرة أو انفجار الغلاية.
- يجب الحفاظ على محيط الغلاية نظيفاً وخالياً، ولا يسمح بتراكم السناج والمواد التي لم تحترق إذ يؤدي ذلك إلى إعاقة عمليات التحكم والتشغيل وقد يؤدي إلى حدوث تآكل في أجزاء من جسم الغلاية.
- يجب إجراء الإصلاحات المناسبة فوراً عند حدوث أية تسربات، إذ يشير ذلك إلى خلل في نظام الغلاية يترتب عليه زيادة معدلات التآكل في مكونات الغلاية ويفضي إلى إيقافها عن العمل.
- يجب تجنب الإسراع في إيقاف الغلاية عن العمل عن طريق التفوير تحت ضغط مرتفع مثلاً إذ يؤدي ذلك إلى استهلاك حرارة الغلاية في تحميص الأوحال والقشور على الأسطح الداخلية. وينبغي ترك الغلاية تبرد ببطء ثم يتم صرف المياه وغسل الأجزاء العليا والسفلى من الداخل غسلاً جيداً.
- يجب الحفاظ على خانق تيار السحب (damper) في حالة جيدة لتلافي تراكم الوقود الغير محترق داخل غرفة الاحتراق أو الفرن، والذي قد يؤدي إلى انفجار في المنطقة المعرضة للهب (fireside).
- يجب فحص فتحات الدخول (manholes) وفتحات الأيدي (handholes) في الغلايات المتوقفة عن العمل أياً كانت فترة التوقف ، وغسل الأسطح الداخلية للغلاية جيداً لإزالة القشور المتراكمة وأية ملوثات أخرى ، ويجب الحفاظ على الغلاية جافة تماماً من الداخل .
- يجب القيام بأعمال طرد وكسح الغازات (purging) قبل الإشعال أو قبل إعادة تشغيل الغلاية لإزالة أية آثار للوقود المتبقي عند مدخل الفرن لتلافي انفجار المنطقة المعرضة للهب . وقد صممت الحوارق الحديثة بحيث تعمل تلقائياً على التخلص من الوقود المتبقي من الإشعال السابق قبل أية عملية إشعال جديدة .

1- 6- 2 إجراءات تشغيل وصيانة غلايات مواسير اللهب

في هذا النوع من الغلايات يتعرض جدار الغلاية مباشرة للهب ، لذلك فإن التفتيش الداخلي يجب أن يولي اهتماماً خاصاً بأية ترسبات للقشور أو انبعاجات أو نتوءات على سطح الغلاية الداخلي وخاصة في المناطق التالية:

التفتيش الداخلي على المنطقة الموجودة أعلى الأنابيب:

- التفتيش على أية آثار للتآكل أو التنقير (pittings)
- التفتيش على أية تشققات في دعامات وأعصاب تثبيت الجزء العلوي والغلاف واللحامات والبراشيم (rivets) والمواسير . فحص خطوط اللحامات للكشف عن أية تصدعات ، أو براشيم مكسورة أو ثقوب أو ترقق في ألواح الجدار عند خط المياه.
- فحص الدعامات للتأكد من سلامتها واحتفاظها بقوة الشد المناسبة.
- فحص مواسير التغذية الداخلية للتأكد من سلامتها ومن عدم وجود أية انبعاجات فيها.
- فحص فتحات توصيل عامود المياه وصمامات الأمان ومقياس الضغط للتأكد من عدم وجود أية عوائق على تدريج المقياس.
- الكشف عن تراكم القشور على أسطح جدار الغلاية أو على المواسير.
- القيام بنفس إجراءات التفتيش على المناطق الواقعة أسفل المواسير.
- فحص فتحات التوصيل لمخرج مياه التفوير السفلية والتأكد من ميل قاع الغلاية في اتجاه مخارج التفوير السفلى وأنه خال من أية انبعاجات أو نتوءات.
- التفتيش الخارجي.
- فحص نهايات المواسير والبراشيم واللحامات للتأكد من عدم وجود ضعف في الألواح الموصلة بين المواسير.
- التفتيش عن التشققات والصدوع عند خطوط اللحامات الخارجية وعن وجود تسربات حول خطوط الجلفنة .
- فحص الدعامات والتأكد من سلامة التثبيت.

1- 6- 3 أجهزة ومعدات التحكم في غلايات البخار:

فيما يلي عرضٌ لأهم أجهزة التحكم ومعدات القياس في غلايات البخار:

- يعد مقياس ضغط البخار من أهم التجهيزات الخاصة بغلايات تسخين البخار، ويتضمن المقياس تدريجاً يبدأ من 1كجم /سم ويصل إلى الحد الأقصى من الضغط الذي يسمح به نوع الغلاية. ينبغي ألا يقل قطر مواسير التوصيل للغلاية عن 4/1 بوصة، أما إذا استخدمت مواسير من الصلب أو الحديد المطاوع (wrought iron) فينبغي ألا يقل قطرها عن 2/1 بوصة.
- جميع أنواع غلايات تسخين البخار مزودة بمقياس مياه زجاجي متصل بالغلاية بواسطة صمام لا يقل قطره عن 2/1 بوصة، ويكون المقياس مزوداً بفتحة صرف لا يقل قطرها عن 4/1 بوصة ويجب أن يكون الجزء الأسفل من المقياس الزجاجي أعلى من حد المياه الأدنى المسموح به ببوصة واحدة على الأقل وفقاً لإرشادات الشركة المنتجة للغلايات.
- تزود غلايات الإشعال الأوتوماتيكي بمفتاحين للتحكم في الضغط:
  - يعمل أحدها على إيقاف ضخ الوقود عند الوصول إلى مستوى ضغط التشغيل المطلوب (مفتاح إيقاف ضغط التشغيل operating-pressure cutout) .
  - ويعمل الثاني على إيقاف ضخ الوقود في حالة فشل المفتاح الأول ويكون مضبوطاً عند مستوى ضغط لا يزيد عن 0.5بار (مفتاح الحد الأقصى upper-limit control) .

- تزود غلايات تسخين البخار ذات الإشعال الأوتوماتيكي بمفتاح لإيقاف ضخ الوقود يتم تركيبه بحيث يوقف ضخ الوقود عند مستوى وصول المياه في مقياس الماء الزجاجي إلى الحد الأدنى المرئي (low-water fuel cutoff) .
- جميع غلايات تسخين البخار مزودة بصمام ارتداد نابض للأمان (spring-loaded pop valve) وقد تكون مزودة بأكثر من صمام واحد. ويتم ضبط صمام الأمان بحيث يسمح بالتنفيس عند وصول مستوى الضغط إلى حد أقل من الحد الأقصى المسموح به في مواصفات الغلاية. وينبغي أن لا يقل الصمام عن 2/1 بوصه ولا يزيد عن 4.5 بوصة. كما ينبغي أن تكون سعة الصمام أكبر من معدل تفريغ الغلاية (كجم/ساعة)، بحيث لا يمكن أن يتجاوز مستوى الضغط في حالة الإشعال القصوى الحد الأقصى المسموح به بـ 0.2بار.

- يجب أن تتضمن جميع دوائر التحكم الكهربية في غلايات تسخين البخار ذات الإشعال الأوتوماتيكي توصيلات تفريغ أرضية موجبة ، وأن يتضمن نظام التوصيلات والمعدات كابل توصيل أرضي متعادل .
- جميع غلايات تسخين البخار ذات الإشعال الأوتوماتيكي تكون مزودة بمفاتيح أمان وقائية للهب (flame safeguard safety controls).
- إن استخدام غلاية واحدة لتسخين البخار عند مستوى الضغط المنخفض لا يتطلب تركيب صمامات للإيقاف على خط التزويد بالبخار في حالة وجود نظام يسمح باسترجاع كل المتكثفات إلى داخل الغلاية. أما إذا تضمن خط استرجاع المتكثفات صماماً للإيقاف أو مصيدة للبخار فإن ذلك يستوجب تركيب صماماً للإيقاف على خط تزويد الغلاية بالبخار.وفي حالة استخدام خط التزويد بالبخار لإمداد عددٍ من غلايات التسخين فإن ذلك يستوجب تركيب صمامات إيقاف على خط التزويد وعلى خطوط استرجاع المتكثفات في الغلايات.

1- 7 التحكم في تشغيل الغلايات:

تتكون أنظمة التحكم من مجموعة من العناصر التي تتحكم في العديد من المعايير الكمية التي تشير إليها سلسلة من أجهزة القياس والرصد بحيث يمكنها إيقاف عمليات التشغيل عند تخطي أي من المعايير الكمية المرصودة حدود التشغيل الآمن أو السليم. وتتراوح أنظمة التحكم بين أنظمة بسيطة تعتمد على التحكم اليدوي في تشغيل الصمامات ومنظمات السحب (dampers) وأنظمة بالغة التعقيد يتم التحكم فيها بواسطة البرمجيات بشكل شبه تام بمجرد تصميم برنامج التحكم ومراجعته . وتجدر الإشارة في هذا الصدد إلى العبارة التالية: "لكي تكون قادراً على التحكم يجب أن تكون قادراً على أخذ القياسات"، وهي عبارة تنطبق على نظامي التحكم اليدوي والأوتوماتيكي.

وأنظمة التحكم اليدوي شائعة الاستخدام في الغلايات ذات السعة الصغيرة، وهي أنظمة شاقة حيث تتطلب المتابعة المستمرة لكافة معدات القياس لضمان ثبات ظروف التشغيل الآمن. كما تتضمن وجود أنظمة للإنذار لتنبيه العاملين إلى وجوب اتخاذ إجراءات تصحيحية فور حدوث تغير في بيانات الرصد.

ويتطلب التحكم السليم في تشغيل الغلاية تنظيم المعايير الكمية التالية وفقاً لنظم الغلايات المختلفة:

1. تنظيم المدخلات الحرارية للتناسب مع المخرجات الحرارية المرغوبة.
2. تنظيم نسبة الوقود إلى الهواء لتوفير أفضل ظروف الاحتراق.
3. تنظيم معدل دفق مياه تغذية غلايات البخار ليتناسب مع معدل سريان مخرجات الغلاية من بخار.
4. تنظيم ضغط غرفة الاحتراق في غلايات السحب المتوازن (balanced- boilers) draught للإبقاء على مستوى ضغط سلبي بسيط في جانب الغاز.
5. التحكم في درجة حرارة البخار في مناطق توليد درجات الحرارة الفائقة وذلك لحماية المحمصات وشبكة أنابيب البخار والأجهزة التي يستخدم فيها البخار ، من درجات الحرارة فائقة الارتفاع.
6. درجة أمان عملية الاحتراق (التحكم في الموقد).

وتتراوح درجة التعقد في أنظمة التحكم الأوتوماتيكي وفي مجالات استخدامها وفي معداتها بين أنظمة "تشغيل/إيقاف" بسيطة كتلك المستخدمة في غلايات مواسير اللهب الصغيرة وأنظمة التحكم بالتضمين (modulating schemes) بالغة التعقيد التي تتضمن وحدات العرض المرئي (visual display) وإمكانيات تخزين البيانات البرمجية ، وهي الأنظمة المتبعة في بعض الغلايات الكبيرة.

1- 7- 1 ضغط الغلاية ، القياس والتنفيس والدلالة:

دلالة قراءات الضغط:

تعتبر قياسات الضغط ودرجة الحرارة المرتبطة بها والتحكم فيهما من أهم إجراءات التحكم في تشغيل الغلايات ، لذلك يجب أن تكون مواضع رصد هذه القياسات واضحة بحيث يسهل على العاملين أخذ القياسات لضمان أمن وسلامة المنشأة. إن ارتفاع مؤشر الضغط عن العلامة الحدية لضغط التشغيل على مقياس الضغط ينذر بوجوب الخفض الفوري للمدخلات الحرارية. أما انخفاض المؤشر (انخفاض الضغط) فيعني أن الطلب على الحرارة يزيد عن المدخلات الحرارية وذلك يستلزم زيادة معدل الإشعال. ويستخدم مقياس "بوردون" للضغط للحصول على هذه القياسات (Bourdon gauge)، وهو يتكون من أنبوب مرن

مفلطح منثني على شكل منحني ، يستقيم بزيادة الضغط الداخلي ويتصل طرفه بمؤشر يتحرك على تدريج دائري.

صمامات الأمان:

يتم تصميم الغلايات بحيث تتحمل مستويات محددة من الضغط ولا ينبغي تحت أي ظرف تعريض الغلاية لمستويات ضغط أعلى من تلك المحددة بمواصفاتها. وتكفي أجهزة قياس الضغط السالف ذكرها لتجنب ارتفاع الضغط عن المستويات المحددة، أما في غلايات البخار والمياه الساخنة فيلزم تركيب صمامات أمان لتنفيس الضغط.

1 – 7 – 2 التحكم في الاحتراق:

ويتضمن التحكم في الاحتراق كلاً من التحكم في المدخلات الحرارية والتحكم في نسبة الوقود إلى الهواء. ويتم تصميم أنظمة التحكم في الاحتراق لتسمح بتوفير كميات الهواء المناسبة لاحتراق الوقود بكفاءة عالية دون تولد الدخان مع أقل قدر من انبعاثات المدخنة الضارة.

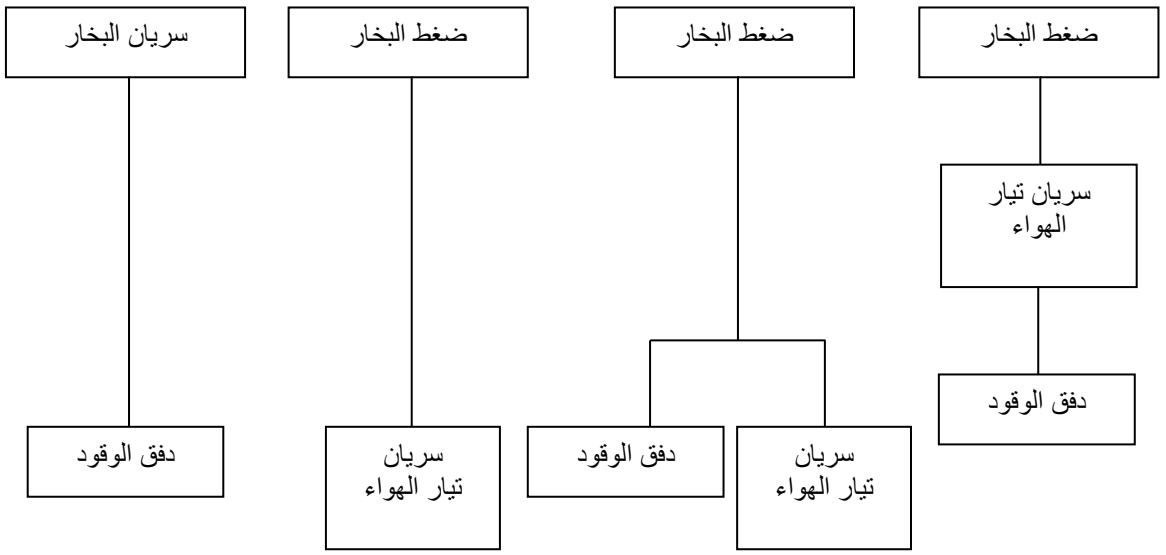
ويعتبر ضغط البخار عند مخرج الغلاية هو المؤشر الأساسي الذي تعتمد عليه أنظمة التحكم في الاحتراق في غلايات البخار، أما في حالة غلايات المياه الساخنة فتعتبر درجة حرارة المياه الخارجة هي مؤشر التحكم الأساسي. لذلك فإن أساليب التحكم في الاحتراق تضمن في نفس الوقت التحكم في ضغط الغلاية من خلال التحكم في المدخلات الحرارية.

أنظمة التحكم في الاحتراق:

هناك ثلاثة أنظمة أساسية للتحكم في الاحتراق تنظم متغيرات متعددة مثل الوقود وسريان (تيار) الهواء:

- التحكم المتتابع (series) الذي يتضمن سلسلة من مؤشرات التحكم، حيث يؤدي أي تغير يطرأ على مؤشر التحكم الرئيس فيها (ضغط البخار) إلى إحداث تغير في سريان الهواء اللازم للاحتراق، والذي يؤدي بدوره إلى تغير في دفق الوقود.
- التحكم على التوازي (parallel) حيث يؤدي أي تغير يطرأ على مؤشر التحكم الرئيسي إلى ضبط دفق الوقود وتيار الهواء اللازم للاحتراق في آن واحد ، وهو يمثل نظاماً نمطياً للتحكم الموقعي (positional control).

- نظام التحكم المتتابع/المتوازي، حيث يؤدي أي تغير يطرأ على مؤشر التحكم الرئيسي إلى تعديل في سريان تيار الهواء اللازم للاحتراق، وحيث إن سريان البخار يتناسب تقريباً مع سريان الهواء، فإن أي تغير يطرأ على سريان البخار (نتيجة تغير في أحمال المعدات التي يستخدم فيها البخار) يترتب عليه تعديل مناسب في دفق الوقود.



(أ) (ب) (ج)

شكل (10 – 1) مخطط لأنظمة التحكم في الاحتراق الرئيسية

(أ) التحكم المتتابع (ب) التحكم المتوازي (ج) التحكم المتتابع/المتوازي

أنواع أنظمة التحكم في الاحتراق:

هناك ثلاثة أنواع رئيسة للتحكم الأوتوماتيكي في الاحتراق:

أنظمة تشغيل/إيقاف (on/off) ، أنظمة تحديد الموضع (positioning)، أنظمة المعايرة (metering).

أ) أنظمة التشغيل / الإيقاف:

تستخدم هذه الأنظمة في غلايات البخار وتعتمد على إيقاف تدفق وقود الاحتراق وسريان تيار الهواء اللازم الاحتراق في حالة وصول ضغط البخار إلى قيمة حدية محددة ،

فيبدأ ضغط البخار في الانخفاض نظراً لاستمرار طلب الأحمال عليه ، حتى يصل إلى قيمة حدية دنيا محددة مسبقاً ، عندئذ يعاد تشغيل تدفق الوقود وتيار الهواء. تعتمد غلايات المياه الساخنة على درجات حرارة المياه العالية والمنخفضة كمؤشرات للإيقاف والتشغيل وينشأ عنها تغير مستمر في ضغط البخار ، مثل أنظمة التحكم المستخدمة في أجهزة التسخين المنزلية التي تعتمد على إشعال الغاز. ويقتصر استخدام هذه الأنظمة على الوحدات الصغيرة للحصول على المياه الساخنة أو البخار المشبع، بينما لا تصلح لتوليد البخار المحمص ، فخلال فترات "الإيقاف" لا يوفر هذا النظام تياراً من الغازات التي تستمد الحرارة المطلوبة من السخانات الفائقة. وهناك أيضاً أنواع متعددة من نظام "التشغيل/الإيقاف" مثل "نظام/عالي/منخفض/إيقاف" (high/low/off) الذي يعتمد على ثلاث وحدات للتحكم بدلاً من وحدتين.

ب) أنظمة تحديد الموضع (positioning control system) :

في هذه الأنظمة تتصل منظمات دفق الوقود بمنظمات سحب الهواء (أو مفاتيح سرعة مراوح السحب) ميكانيكياً بحيث تظل منظمات سحب تيار الهواء في نفس الوضع طالما بقيت منظمات دفق الوقود دون تغير في موضعها. ويتضمن الاتصال الميكانيكي بين جهازي التحكم كامات لتحويل الحركة (cam) تتحدد هيئتها خلال اختبار التشغيل (commissioning) بإحداث تعديلات يدوية في منظمات دفق الوقود ومنظمات سحب الهواء (dampers) لتوفر أفضل ظروف الاحتراق لأحمال تشغيل الغلاية. وتسمى هذه الأنظمة "أنظمة الدائرة المفتوحة" (open-loop) حيث يفترض أن يبقى سريان الهواء من خلال منظمات السحب ثابتاً عند موضع معين ، وأن يبقى دفق الوقود من خلال منظم الدفق أيضاً ثابتاً طالما بقيت المنظمات في مواضعها.

تستخدم هذه الأنظمة بشكل تقليدي في غلايات مواسير اللهب ، حيث ترتبط مؤشرات التحكم في الضغط بعدد من المجسات . يختص أحد هذه المجسات بإرسال إشارة إلى منظم دفق الوقود (الذي يرتبط بدوره بمنظم سحب هواء الاحتراق) في حالة وصول مستوى الضغط للقيمة الحدية (المضبوطة سلفاً) فيتولى منظم دفق الوقود إيقاف وصول الوقود إلى معدات الاحتراق ، مصحوباً بإنذار صوتي ومرئي بموجب اتخاذ إجراءات تصحيحية يدوياً. ويستخدم هذا النظام للتحكم في الغلايات الأوتوماتيكية. ويختص المجس الثاني بإرسال

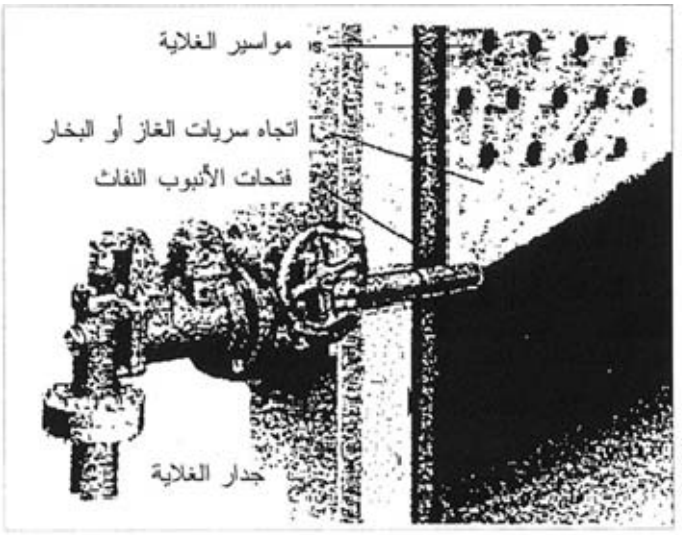
إشارة كهربية تتناسب شدتها مع قيمة تغير مستوى الضغط عن القيمة الحدية إلى محرك مؤازر (servomotor) متصل بمنظم دفق الوقود ومنظم هواء الاحتراق (أو مفاتيح التحكم في سرعة مراوح السحب) فيعاد تصحيح أوضاعها للوصول بمستوى الضغط إلى القيمة الحدية.

ج) أنظمة التحكم العياري / التضميني *(metering/modulating control systems):*

تحتاج هذه الأنظمة إلى معدات لقياس دفق الوقود وسريان هواء الاحتراق. في هذه الأنظمة يتم تنظيم دفق الوقود وهواء الاحتراق بواسطة المؤشر الرئيسي للتحكم وهو ضغط البخار ، حيث يشير الانخفاض في مستوى الضغط إلى وجوب زيادة مدخلات الوقود أو الهواء. عندئذ يقاس دفق الوقود وسريان هواء الاحتراق وتقارن (مقارنة ارتجاعية) القياسات في جهاز التحكم في النسبة (ratio controller) ويتم تعديل نسبة الهواء إلى الوقود بتشغيل منظم دفق أو سريان أحدهما حتى الوصول إلى النسبة المطلوبة المحددة سلفاً. وبذلك يمكن الحفاظ على ظروف الاحتراق المناسبة بغض النظر عن حدوث تغيرات في مقاومة النظام أو خصائص معدات التحكم. وتسمى هذه الأنظمة "أنظمة الدائرة المغلقة". ويمكن بواسطة جهاز التحكم في نسبة الوقود /أو سريان هواء الاحتراق يدوياً بسهولة أثناء تشغيل الغلاية للوصول إلى النسبة المناسبة المحددة سلفاً ، في حالة وجود إنذار بخصوص دفق الوقود أو تغير في خصائصه ينتج عنه تغير في المدخلات الحرارية للغلاية.

1 – 7 – 3 نفاثات السناج (soot Blowers):

لضمان المحافظة على أفضل أداء وأعلى كفاءة حرارية للغلاية يجب الحفاظ على أسطح التسخين نظيفة باستمرار ، مما يستوجب الإزالة المستمرة التي تترسب على المواسير نتيجة احتراق الوقود. ويؤدي عدم إزالة تلك المترسبات إلى انخفاض معدل انتقال الحرارة من الغازات إلى أسطح التسخين وارتفاع درجة حرارة الغاز. لذلك يتم تركيب نفاثات السناج في معظم الغلايات التي تستخدم الوقود الصلب وبعض الغلايات التي تستخدم الغاز والنفط في الإشعال (وفقاً لخصائص كل نوع) وكذلك في غلايات الحرارة المهدورة (waste heat boilers) ، وذلك لضمان تنظيف أسطح التسخين أثناء تشغيل الغلاية.



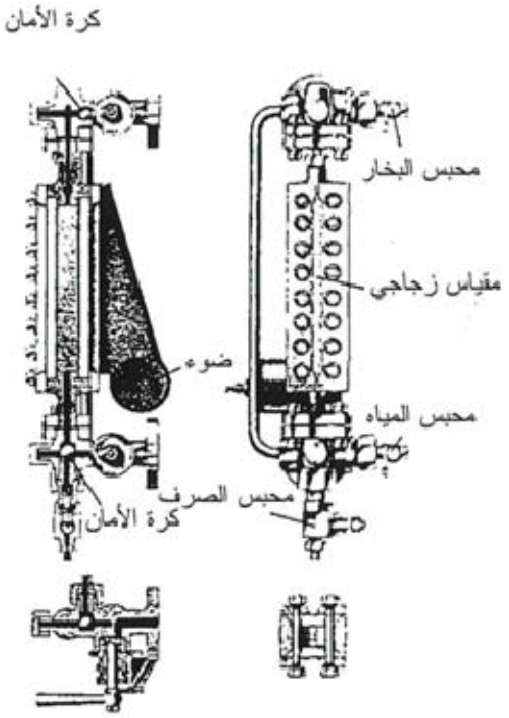
شكل (10 – 3) نفاثات السناج الانسحابية القصيرة

يصل معدل استهلاك نفاثات السناج للبخار إلى 2 – 4 طن/ساعة وهو يمثل نسبة كبيرة من مخرجات البخار للغلايات الصناعية الصغيرة بالنسبة لتعاقب فترات التنظيف. وتقدر فترات التنظيف ببضعة دقائق وفقاً لاتساع الغلاية وعدد النفاثات المستخدمة. ونظراً لمعدل استهلاك البخار المرتفع.

تستخدم نفاثات السناج عادة في غلايات مواسير المياه التي تعمل لفترات طويلة مما يستوجب وجود نظام للتنظيف المستمر. أما في غلايات اللهب، التي تعمل لفترات متقطعة فيتم التنظيف يدوياً في فترات توقف الغلاية بواسطة الفرش (brushes) وأنظمة تنظيف تعمل بالتفريغ لإزالة المترسبات السائبة. وهناك طريقة أخرى فعالة لإزالة المترسبات بإطلاق دفعات سريعة من الهواء المضغوط على كل ماسورة لهبية بواسطة "حربة النقر" التي توجه يدوياً على كل ماسورة.

1 – 7 – 4 مؤشر منسوب المياه:

تستخدم أنظمة تحديد منسوب المياه أساساً في غلايات البخار حيث يمكن رؤية منسوب المياه. ويتكون المؤشر من مقياس زجاجي بسيط أو مزدوج في حالة غلايات الضغط العالي، يتم تركيبه على إسطوانة البخار/المياه أو على جدار الغلاية (شكل 10 – 4). ويجب أن تزود الغلاية بمقياسين كما يجب أن تتخذ كافة الاحتياطات التي تحمي العامل عند حدوث كسر في زجاج المقياس. كما يجب تركيب المقياس الزجاجي في موضع تسهل عنده أخذ القياسات من مستوى التشغيل وأن يكون المقياس مزوداً بإضاءة كافية ويتراوح الخطأ في القياسات المأخوذة عن المقياس الزجاجي بين + 125 من المنسوب العادي.



شكل (10 – 4) مؤشر منسوب المياه ذو المقياس الزجاجي المزدوج

1 – 7 – 5 نوعية (جودة) مياه الغلاية:

ينبغي الحفاظ على نوعية المياه داخل الغلاية في الحدود الواردة بمواصفات مياه الغلاية، ولتحقيق هذا الهدف يجب أخذ عينات من مياه الغلاية دورياً وتحليلها. وتعكس القدرة التوصيلية للمياه (conductivity) محتوى المياه من المواد الصلبة الذائبة الكلية،

الذي ينبغي ألا يتعدى 3500جزء في المليون بوجه عام. أما في غلايات مواسير اللهب فيختلف الحد الأقصى لمحتوى المياه من مواد صلبة ذائبة تبعاً لضغط الغلاية وبحد أقصى 3000 جزء في المليون.

ويتم تركيب جهاز قياس القدرة التوصيلية بحيث يسمح بتعديل صرف مياه التفوير النازف عن طريق قيام العامل المسؤول عن التفوير بضبط نظام التفوير يدوياً ليناسب القراءات التي يظهرها جهاز القدرة التوصيلية.

ومن ناحية أخرى فإن قياس الأس الهيدروجيني للمياه يعكس درجة قلويتها ، وفي الحالات العادية يكون الأس الهيدروجيني 9. وتشير الزيادة في الأس الهيدروجيني إلى زيادة قلوية المياه واحتمال وجود خلل في عملية معالجة مياه التغذية. أما انخفاض الأس الهيدروجيني فيشير إلى احتمال تسبب مياه الغلاية في تآكل مكوناتها المعدنية.

يتضح مما سبق أهمية عملية تفوير الغلاية لصيانتها وللحصول على بخار على درجة عالية من الجودة ، وفي هذا الصدد تجدر الإشارة إلى نقطتين:

1- التحكم في تفوير الغلاية على درجة كبيرة من الأهمية، بحيث لا ينبغي تفوير كميات من المياه تتعدى أدنى حد ممكن، إذ تمثل أية كمية زائدة من مياه التفوير هدراً للطاقة يجب تجنبه.

2- تتسبب عملية تفوير الغلاية في فقدان جزء من الطاقة الحرارية، وتحتاج إجراءات استعادة الحرارة المفقودة أولاً إلى مراجعة جدواها اقتصادياً. في المتوسط يكن استعادة 50٪ من الحرارة المفقودة أثناء عملية التفوير.

التحكم في التفوير:

في الأنظمة البسيطة ذات التحكم اليدوي ، يتم ضبط صمام التفوير يدوياً للتحكم في كمية مياه التفوير بحيث يمكن الاحتفاظ بتركيز المواد الصلبة الذائبة تحت الحد الأقصى المسموح به والوارد بمواصفات الغلاية. وتستلزم هذه الطريقة أخذ عينات من المياه وتحليلها بشكل مستمر والتحكم في عملية التفوير حتى الوصول بخصائص مياه الغلاية إلى المستوى المطلوب.

1 – 7 – 6 الاحتراق الآمن (التحكم في الموقد):

تتضمن أنظمة التحكم في الموقد مجموعة من المواصفات المتشابكة (interlocks) التي تضمن التعاقب السليم لعدد من العوامل التي تؤلف في مجملها إجراءات إشعال الموقد وتشغيله وإيقافه. وهناك إرشادات كثيرة ومواصفات متنوعة لوصلات الأمان ولإجراءات التنظيف قبل وبعد التشغيل لأنظمة التحكم في المواقد المختلفة. ويستطيع الفني من خلال نظام تحكم بسيط ضبط الصمامات ومنظمات تيار السحب في مواضعها وبتعاقب سليم يدوياً أثناء إجراءات تشغيل الموقد. وتمنع الوصلات المتشابكة البدء في مرحلة من مراحل التشغيل قبل الانتهاء من كافة إجراءات المرحلة السابقة عليها. أما في معظم الغلايات الحديثة التي تعتمد على الوقود السائل أو الغازي في الإشعال فيضم الموقد نظاماً أوتوماتيكياً تاماً يسمح ببدء إجراءات التشغيل بمجرد الضغط على زر التشغيل.

يعد استخدام أجهزة المسح (scanner) من أهم ميزات أنظمة التحكم الحديثة في الموقد، إذ يستطيع المسح الكشف عن حدوث الاشتعال أو وجود اللهب الرئيسي لكل موقد من مواقد الغلاية أياً كان نوع الوقود المستخدم: الوقود السائل أو الغازي، مما يضمن إغلاق الموقد في حالة عدم الاشتعال أو في حالة انطفاء اللهب. ويعني هذا ، في حالة الغلايات وحدية الموقد ، أن الغلاية تتوقف عن العمل حتى إصلاح الخطأ.

يلخص الجدول (10 – 2) أهم العناصر التي ينبغي رصدها وملاحظتها للتحكم في التشغيل الآمن للغلايات. وهذه العناصر هي المتغيرات الرئيسية ، ويجب إعداد قائمة تفصيلية لكل حالة على حدة.

الجدول (10 – 2) التحكم في تشغيل الغلايات

الجهاز	المتغيرات التي ينبغي رصدها	طريقة الرصد	معدل الرصد	الدلالة
الغلاية رقم (000)	- العزل	المشاهدات	بانتظام	
	- الضغط	مقياس الضغط	متواصل	
	- درجة الحرارة	مزدوج حراري	متواصل	
	- سريان البخار	مقياس السريان	متواصل	
	- دفق الوقود	مياس الدفق	كلما أمكن	
	- استهلاك الوقود/يوم	الجرد	بانتظام	
	- نسبة الوقود إلى الهواء	مقياس السريان		
	- الهواء الزائد	تحاليل غازات العادم	بانتظام	
	- كفاءة الاحتراق الفعلية	الحسابات		
	- التسرب من أنابيب الفعلية	المشاهدات	بانتظام	
	- الاهتزازات / الدعامات	المشاهدات	بانتظام	
	- معدل التفوير	مقياس الدفق		

1- 7- 7 تشغيل الغلايات:

عند تشغيل الغلايات يجب أن تكون السلامة أحد المعايير الفنية التي يجب الأخذ والعناية بها.

الحالات الأكثر خطورة والتي يجب متابعتها بدقة وتسجيل الملاحظات الدورية عليها حتى لا تحدث وهي:

أ- انفجار الفرن.

ب- تمزق أنابيب الغلاية .

ج- مستوى المياه غير المتحكم به (Uncontrolled) .

د- زيادة حرارة الأنابيب الحديدية .

أ- **انفجارات الفرن (Furnace Explosions)**:

تنتج عادة انفجارات الأفران من نقص الهواء و الذي يخلط مع الوقود (Fuel/Air mixture) . هذا الخليط عادة يسمى الخليط الغني (rich mixture) . فعند هذه الحالة عندما يشعل هذا الخليط و هو الخليط الغني فإنه بلا شك الانفجار سيحدث (لا قدر الله).

والسبب الأكثر شيوعاً لانفجارات الهواء أو الناتجة عن الهواء هو في الإشعال (ignition) والتي يحدث عادة من التقطع اللحظي لإمدادات الوقود عندما يعود هذا الانقطاع اللحظي للوقود فإنه يدخل الفرن بدون احتراق وينتج عنه تجمع الخليط المذكور أعلاه . و عندها عندما يبدأ الإشعال يحدث الانفجار.

للتغلب على هذه الحالة يجب إقفال مزود الوقود عندما يلاحظ انطفاء أو إخماد الشعلة لأي سبب.

يجب ألا أن تكون هناك محاولات لإشعال الغلاية حتى يتم تطهير الفرن كلية.

في الغلايات الحديثة هناك جهاز راصد الشعلة (flam scanners) يركب عادةً لرصد أي نقص أو فقد في الشعلة و يقوم بإقفال مزود الوقود في حالة ملاحظة نقص أو فقد فيها الشكل (3A) يوضح ذلك

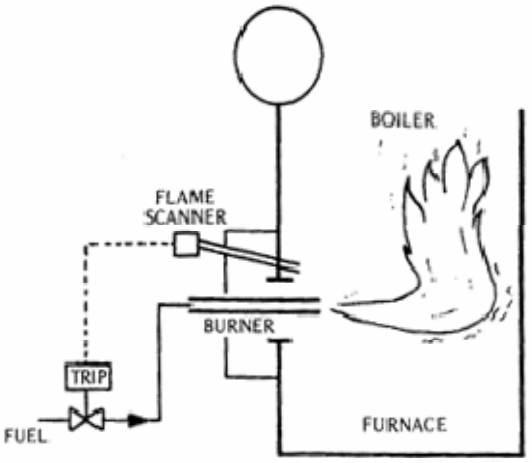


Figure 3A. Flame Scanner

عندما تكون الغلاية في وضع الإطفاء لفترة قصيرة فإن الغازات المتطايرة أو سريعة التبخر ربما تتجمع داخل الفرن نتيجة ترسب الكربون على جدران الفرن أو أنه معلق قبل محاولة تشغيل الحارق (burners) لذا فإنه يجب أن يتم تطهير الفرن كلية من الغازات بواسطة ضخ كميات كبيرة من الهواء خلال الفرن لمدة تقريباً خمس دقائق تقريباً وتسمى هذه العملية دورة التطهير (purge cycle) و هذه عملية مهمة جداً في تشغيل الغلايات هناك متمم (Relay) كما في الشكل (3B) ولن يسمح أي إمداد بالوقود للغلاية حتى تتم دورة التطهير تماماً.

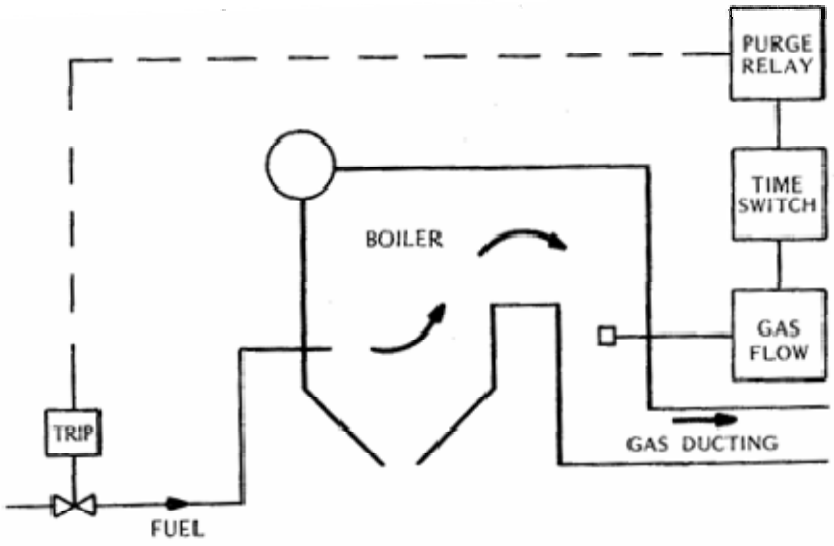


Figure 3B. Purge Relay

سبب آخر لانفجارات الفرن هو نقص أو فقد هواء الاحتراق (combustion air) . إذا حدث و إن حصل هذا فإن الغلاية سوف تفصل فوراً خارج الخدمة و هذا عادة يحصل أوتوماتيكيا. أما إذا كان النقص في الهواء جزئياً فإن أجهزة التحكم الخاصة بالاحتراق سوف تقوم بتقليل كمية الوقود حتى يتم الموازنة بين نسبة الوقود / الهواء (fuel/air ratio).

جميع أجهزة الحماية تعمل خلال مرحل أو متمم فصل الوقود كما في شكل (3C) وهذا بدوره يقوم بالتحكم في صمام الوقود ممكن أن يعمل هذا المتمم بواسطة مفتاح ضاغط على لوحة التحكم لمنع حدوث انفجارات الفرن (لا قدر الله) الصيانة / والملاحظة للشعلة وثباتها أمر حيوي و هام .

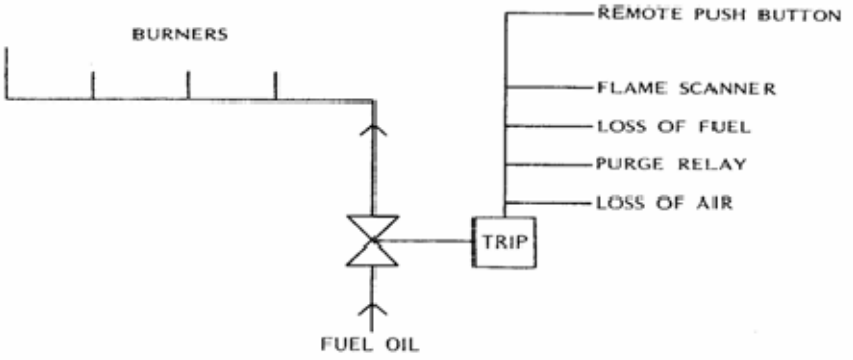


Figure 3C. Fuel Trip Relay

خلال التغيرات في الحمل فإن أجهزة التحكم الأوتوماتيكية ربما يحصل لها تعليق مؤقت أي لا تعمل مؤقتاً (hunt) و هذا يحصل عادةً، ينتج عن ذلك حالة إشعال غير ثابتة أو شعلة غير ثابتة. في هذه الحالة يجب على الفني أن يبدل التحكم إلى التحكم اليدوي (manual control) و يبقى الاحتراق في حالة ثابتة بواسطة وضع التحكم على وضعية الحالة الثابتة (fixed position).

عند ثبات التحكم فإنه يلاحظ التغير في الضغط و لكن الشعلة سوف تبقى ثابتة.

عادةً لا يصمم التحكم الأوتوماتيكي للتشغيل في الأحمال الخفيفة جداً و فيما حدث أن الغلاية تعمل في مثل هذه الحالة أي أحمالها خفيفة فإنه يجب أن يكون التحكم يدوياً.

أخيرا الأفضل بمشيئة الله لحماية الفرن من الاحتراق هو الضبط و الحفاظ على نسبة الوقود/الهواء صحيحة.

ب- مستوى الماء (water level) :

تمزق أنابيب الغلاية ناتج عن زيادة الحرارة للأنابيب الحديدية . هذه السخونة في الأنابيب ناتجة عن انسداد في الأنابيب أو الانتشار و الدوران الضعيف (poor circulation) أو ترسب على القشرة الداخلية للأنابيب.

إذا حدث التمزق و الغلاية في حالة تشغيل فإن مستوى المياه يهبط بسرعة. تتدفق مياه ذات درجة حرارة عالية إلى الفرن و مضياً إلى بخار في طريقه إلى المدخنة من خلال الغلاية . على الفني في هذه الحالة أن يطفئ جميع أنواع الإشعال (fires) و يخرج الغلاية خارج الخدمة

يتم التحكم في مستوى مياه الغلاية بواسطة صمام التحكم الأوتوماتيكي لمياه التغذية المؤدية إلى إسطوانة المياه و إعادة المستوى يحافظ عليه على النصف . صمام التحكم لمياه التغذية (feed water) ينظم عن طريق مستوى المياه في إسطوانة المياه و كذلك بواسطة الفرق بين سريان البخار و سريان مياه التغذية.

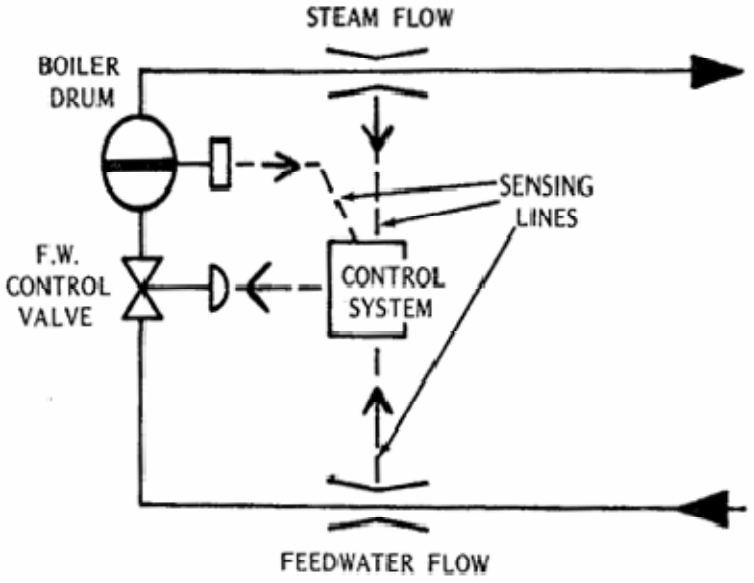


Figure 3D. Feedwater Control System

الشكل (3D) يوضح نظام التحكم هذا

مستوى الانخفاض الشديد في مستوى المياه سوف يحصل فصل و بالتالي إطفاء الاحتراق في الغلاية و الذي ممكن أن ينتج في حالة الانخفاض الفجائي للحمل ، وبالمثل يحدث فصل في حالة زيادة مستوى المياه بهدف حماية التوربينة من اختلاط المياه مع البخار .

فيما لو حصل أن مياه التغذية للغلاية فقدت أو انخفضت لأي سبب ، فإن مستوى المياه في الإسطوانة (drum) سيهبط بسرعة و خلال دقيقتين أو ثلاث سيصل مستوى الخطورة . الأهم فقدان مياه التغذية للغلاية ناتج أساساً من أن مضخة التغذية للغلاية فصلت أو أن هناك

عطل في صمام التحكم لمياه التغذية. إذا حدثت مشاكل بالنسبة لتزويد مياه التغذية للغلاية فإنه يجب العمل فورياً لإعادة مياه التغذية أو فصل الغلاية.

ج- حدود درجة حرارة معدن الغلاية :

عادةً جدران أنابيب الغلاية تصنع من معدن الصلب الكربوني و أعلى درجة مسموحة هي 900F . درجة حرارة خليط البخار /الماء داخل الأنابيب تقريباً 500 F. درجة حرارة التشبع، المحمص (Super heater) يعمل عند درجة حرارة أعلى. البخار داخل الأنابيب تقريباً 1050F ، بينما الغازات خارج الأنابيب تقريباً 2000F . درجة حرارة معدن المحمص هي حدود 1100F بواسطة سريان البخار خلال أنابيب المحمص.

خلال بداية تشغيل الغلاية ، يزاد الضغط قبل السماح بدخول البخار إلى التوربينة . و بما أنه لا يوجد سريان للبخار إلى الغلاية ، فإنه ينشأ السريان خلال المحمص بواسطة فتح مخرج التصريف الرأسي (Header drain) أو بواسطة إغراق البخار في المكثف (condenser) كما في الشكل (3E) .

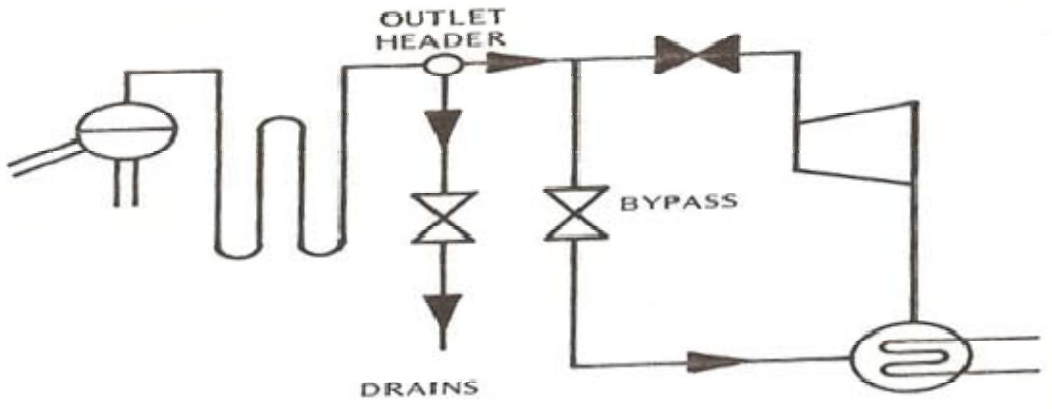


Figure 3E. Startup Steam Flow

في حالة إغراق البخار فإن صمام الإيقاف للتوربينة (Turbine stop valve) مقفل ويتم تحويل البخار إلى المكثف . في حالة النظام العادي حوالي 25٪ من سريان البخار يتم

تحويره بهذه الطريقة .عند تشغيل الغلاية و زيادة الضغط يجب أن يتم تصريف المحمص لأنه خلال الإطفاء فإن البخار سيتكثف و يملأ المحمص . إذا كان المحمص من النوع الأفقي أو في وضع أفقي فإنه من السهل تصريف المياه بواسطة فتح التصريف الجزء السفلي من الرأسي (Header). و لكن إذا كان المحمص من النوع الرأسي فإن مدخل و مخارج الرأسي تقع أعلى المحمص و لهذا يجب أن تغلي المياه بواسطة حرارة بطيئة حتى يتم تبخير جميع المياه، لا يوجد سريان بخار خلال الأنابيب.

درجة حرارة أنابيب معدن المحمص تقاس بواسطة (Thermocouples) و يتم ضبط معدل الاحتراق (Firing rate) بناءً عليها. خلال بداية التشغيل عندما تكون أنابيب المحمص تحتوي ماء، درجة حرارة المعدن تساوي درجة حرارة التشبع (تقريباًF 500) و سيبقى على هذه الدرجة حتى تكتمل درجة الغليان.طالما يبدأ سريان البخار فإن درجة حرارة الأنابيب يزداد بسرعة بالارتفاع حتى تساوي درجة حرارة البخار المحمص. معدل الاحتراق (Firing rate) و عندها يضبط حتى يتم الحفاظ على درجة حرارة معدن المحمص أقل من القيمة القصوى له (1100 F) إذا كان معدل الاحتراق عالياً جداً فإن درجة حرارة معدن المحمص سترتفع فوق القيم المسموحة .

تسجل درجات الحرارة معدن إسطوانة الغلاية (Boiler drum) لأن اختلاف درجات الحرارة يسبب تشوهات.، انظر الشكل (3F).

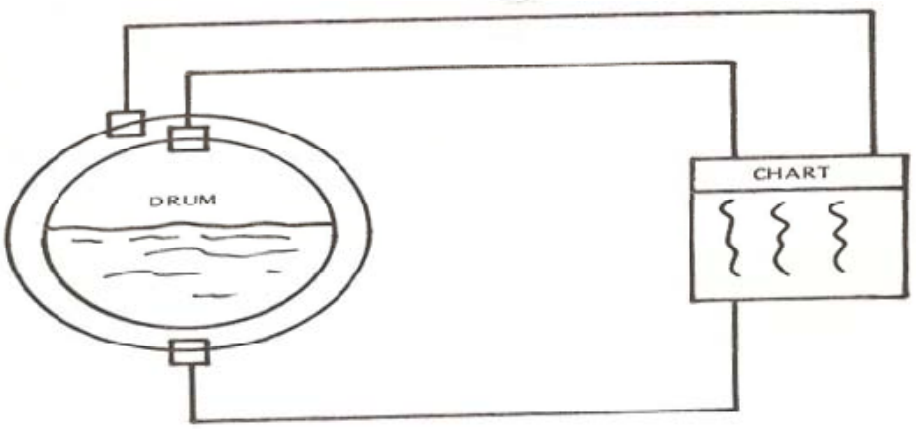


Figure 3F. Drum Metal Temperatures

تباين درجة الحرارة أو الفروقات يقاس بين قمة و قاع الإسطوانة و خلال سماكة جدران الإسطوانة (drum) .

يجب أن يضبط معدل الاحتراق حتى يتم الحفاظ على تباين درجة حرارة الإسطوانة أقل من الحدود التي وضعها الصانع (تقريباً في حدود 120F).

1- 7- 8 البخار المتصاعد:

يجب أن تملا الغلاية باستخدام مضخة خاصة بذلك إن وجدت. بينما الغلاية تملأ الهواء يطرد من منافذ الهواء(Vents) و الموجودة أعلى الإسطوانة (drum) هذه المنافذ عندما يصل الضغط 50 Psi فإنها تقفل . خلال تصاعد وارتفاع الضغط و الحرارة كذلك تضاف و هذا يجعل الماء يتمدد و يرفع مستوى الماء و نتيجة لهذا الغلاية تملأ أولاً في البداية إلى أقل مستوى مسموح به .

معدل ارتفاع ضغط البخار يعتمد على معدل الإشعال (Firing rate) و التي تقيد بواسطة معامل التمدد المسموح به للغلاية. المعدل المسموح لارتفاع درجة حرارة جدران المياه (Water walls) هو تقريباً 120F في الساعة. درجة حرارة معدن الفرن و ليس درجة حرارة البخار هو الذي يحصل للفرن يتمدد و الذي يحدد معدل ارتفاع الضغط. و في أي لحظة فإن درجة حرارة معدن الفرن يساوي درجة حرارة التشبع (saturation) لضغط بخار الغلاية.

و لهذا يوصى دائماً بأن يكون معدل ضغط البخار المتصاعد هو عند 120Fدرجة حرارة التشبع في الساعة الواحدة.

كما هو معلوم فإن منحنى الضغط والزمن على أساس درجة التشبع 120F في الساعة هي علاقة غير خطية. مطلوب زمن أكبر في البداية لرفع الضغط. معدل 120 F في الساعة درجة حرارة التشبع تعتبر قيمة تقديرية متحفظ عليها ربما تزيد على ذلك إذا أوصت الشركة المصنعة للغلاية على ذلك.

إذا كانت الغلاية خارج الخدمة لعدة أيام عند ضغط صفر و كانت مصرفات الهواء (vents) مفتوحة فإنه يطلق على الغلاية بأنها في الوضع البارد (cold) تحت هذه الظروف فإن المياه يجب أن ألا تبقى في المستوى الطبيعي لها أثناء العمل (normal working level)

و معرض للغلاف الجوي لأنه عادة التآكل يحدث تحت ظل هذه الظروف . خلال فترة الإيقاف (shutdown) و بدون ضغط (no pressure) يجب على الفني أن:

أ/ يفرغ أو يصرف (drain) الغلاية لأنه مستهلك و تستبدل بمياه تغذية جيدة.

ب/ تملأ الغلاية تماماً مع المحمص بالماء و يحقن الماء مع الهيدرازين (hydrazine) للحماية ضد الأكسدة (oxygen).

ج/ أبقاء الماء في مستوى العمل الطبيعي و لكن تأكد من إغلاق المياه و بعيدا عن الغلاف الجوي بواسطة وضع سجادات النيتروجين (nitrogen blanket) لهذا الغرض .

أما إذا كانت الغلاية خارج الخدمة لعدة ساعات ، فعادةً تقفل وتعلب (boxed up) جميع المخارج من المثبطات (damper) و المنافح (blow downs) و مساعدات البخار . هذا الإجراء بهدف الحفاظ على الحرارة المتبقية . و مع ذلك جزء من الحرارة يفقد في الجو المحيط . ثم يبدأ حدوث التبريد ببطء و عندها يكون مستوى مياه الغلاية و الضغط ينقص ببطء. و خلال ست ساعات من الإطفاء أو الإيقاف فإن الضغط يهبط من 2400Psi إلى 1600Psi. عند تشغيل الغلاية فإن منحنى الضغط يزداد حتى تأخذ الغلاية وضعها الطبيعي .

المشكلة الحقيقية و الكبرى في بدء التشغيل الحار (hot start) هو رفع درجة حرارة البخار إلى قيمة تساوي و توازن درجة حرارة معدن التوربينة . عادة من الأهمية إمرار 25% من السريان الأقصى للبخار خلال الغلاية بهدف رفع درجة الحرارة . البخار يمرر مباشرة إلى المكثف (condenser) ، بدون المرور (bypassing) على التوربينة عادةً خطوات تشغيل الغلاية تختلف باختلاف المصنعين ، و أيضاً باختلاف الشركات المشغلة للغلايات و لكن الخطوات النموذجية هي كالتالي :

أ- الفحص الكامل و التأكد بإلغاء كروت الصيانة وإن الغلاية جاهزة للتشغيل.

ب- التأكد من أن مخارج التصريف (drain) مغلقة . افتح منافذ الهواء الإسطوانة (vents) و مخارج التصريف المحمص و املا الغلاية إلى مستوى الحد الأدنى المسموح و كما أسلفنا السبب في ذلك.

ج- وضع أجهزة التحكم في الوضع اليدوي وتأكد من فحص و جاهزية عمل صمام فصل الوقود .

د- قم بتطهير أو كسح (purge) الغلاية لمدة تقريباً خمس دقائق .

ه- قلل كمية تزويد الهواء إلى حوالي 20% وابدأ في إشعال واحد حارق فقط (burner).

و- عند وصول الضغط إلى 50Pis (خلال ساعتين تقريباً) أقفل منافذ الهواء ، يستمر ارتفاع الضغط، اتبع المنحنى ، إشعال حوارق أخرى إذا استدعى ذلك حتى نحافظ على ارتفاع الضغط . في البداية مستوى الماء يرتفع نتيجة التمدد و الانتفاخ للمياه و ممكن يحتاج الفني في مثل هذه الحالة بتصريف جزء من المياه خارجاً.

ز- عند وصول الضغط إلى 400Pis، مستوى المياه يبدأ بالانخفاض بسبب أن البخار بدأ يفرغ خلال مخارج تصريف المحمص. عند ذلك فإن مضخة التغذية المساعدة للغلاية يجب أن تبدأ العمل بإضافة كمية المياه للغلاية حسب الحاجة.

ح- يجب على الفني أن يهتم جيداً بالمؤشرات الخاصة بدرجة حرارة المعدن و تقليل معدل الاحتراق (firing rate) إذا كان ذلك ضرورياً.خط البخار و توابعه يسخن خلال مرحلة زيادة الضغط الأولية .

ط- عند وصول الضغط 500Pis من الممكن البدء بتشغيل التوربينة إلى سرعتها . ضغط و درجة حرارة الغلاية تزداد في نفس الوقت .

ي- حالما يكون مولد التوربينة في حالة الحمل فإن مخارج تصريف المحمص تستطيع أن تقفلها و توضع حوارق الزيت الثقيل في الخدمة .

ك- عند زيادة الحمل على مولد التوربينة ، فإن صمام التوقف للتوربينة يحول (bypass) الصمامات و تدريجياً يقفل . و في النهاية يقفل تماماً عند وصول الحمل إلى 25% و أكبر .

ملاحظة: طالما أن هناك خطوات وطرائق عمل مختلفة للأنواع المختلفة للغلايات لحالات تشغيل مختلفة فيجب علينا الإلمام بالتفاصيل الدقيقة للغلايات.

الغلايات الحرجة جداً و كفاءة الغلاية :

(أ) أهمية الضغط الحرج:

عند الضغط الحرج 3208.2Psia تحدث تغيرات هامة و عديدة في الماء و البخار عند 3208.2Psia قيمة الحرارة الكامنة ((latent تساوي صفر كما في الشكل (4A).

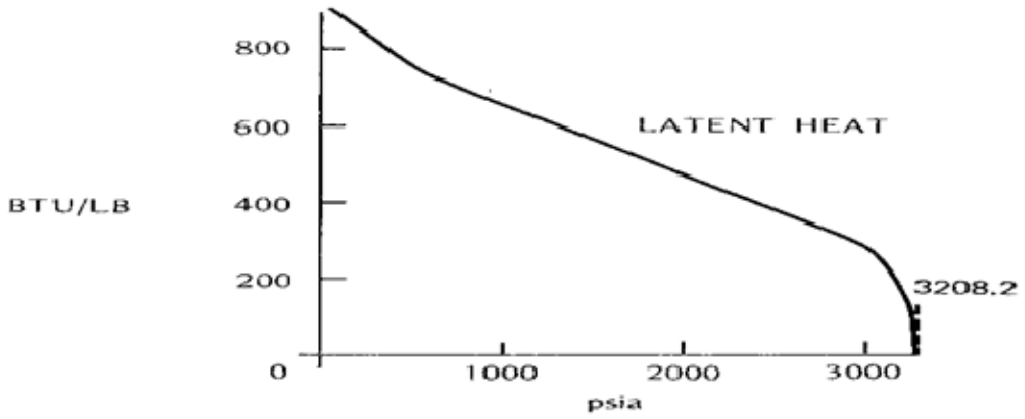


Figure 4A. Latent Heat/Pressure Curve

4-1

لـيس مطلـوب طاقـة (حـرارة) إضـافة ليتحـول المـاء إلى بخـار. عنـد ضـغوط منخفضـة فـإن الحـرارة الكامنة مطلوبة لتحويل الماء إلى بخار. عند التحويل تحت الضغط الحرج فلا يحدث زيادة في درجة حرارة السائل . عند قيمة أو أعلى من الضغط الحرج أي حرارة تضاف إلى الماء عند درجة حرارة التشبع ينتج أن يتحول الماء إلى بخار فوراً و تستمر عندها درجة الحرارة في الارتفاع.

عند الضغط الحرج وعند درجة حرارة التشبع فإن الحجم النوعي للماء و البخار متساويان انظر

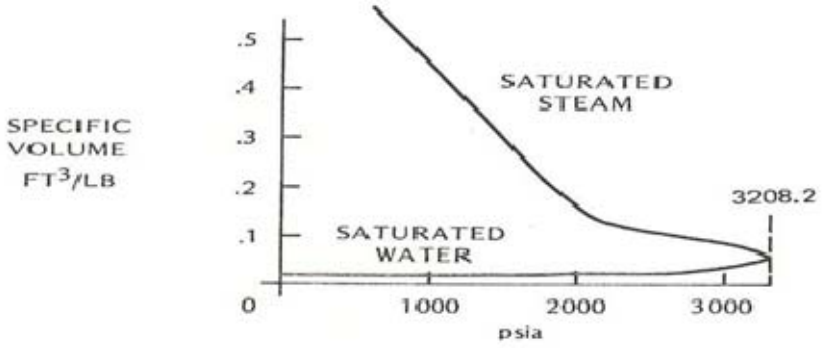


Figure 4B. Specific Volume/Pressure Curve

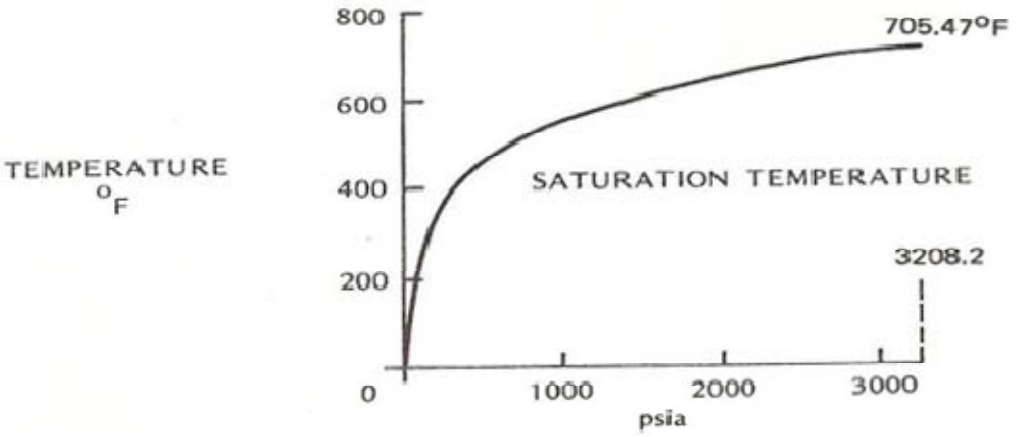
4–2

الشكل (4B)

عند تحول الماء إلى بخار عند أعلى من الضغط الحرج فلا يوجد فقاعات البخار و لا يوجد كذلك زيادة في الحجم و لهذا السبب ليس بالضرورة وجود إسطوانة البخار (steam drum) .

فإن عملية التحول من ماء إلى بخار تتم بنعومة .

في الشكل (4C)



تزداد درجة حرارة التشبع مع زيادة الضغط حتى يصبح المنحنى مستوى أكثر و أكثر .

يصبح المنحنى مستوى تماماً عند الضغط الحرج 3208.2Psia عند هذه النقطة درجة الحرارة 705.47F و التي تدعى درجة الحرارة الحرجة. أعلى من درجة الحرارة هذه فإنه لا

يتحمل وجود الماء. لا يهم كم يتم زيادة ضغط السائل فإنه لا يزال بخاراً إذا كانت درجة الحرارة أعلى من 705.47F.

نوع من الغلايات يدعى غلاية الاختراق الأحادي (once – through) استفاد من هذه الظاهرة. هذا النوع من الغلايات عادة يعمل عند ضغط أعلى من الضغط الحرج، و مع ذلك بعضها يعمل بأقل قليلا من الضغط الحرج. و كما تلاحظ من الشكل (4D)

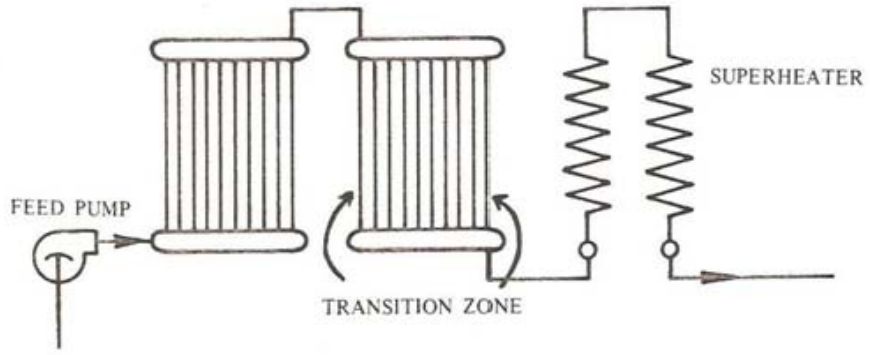


Figure 4D. Once-through Boiler Schematic

577 4-3

فإن الغلاية لا يوجد لها إسطوانة إطلاقا. تتكون من دوائر على التوازي . مضخة التغذية تدفع بالسائل خلال الغلاية من الطرف إلى الطرف الآخر و تبدأ كميات ضغط عالٍ و ينبثق منه البخار. عند مرور السائل خلال الأنابيب تتحول المياه بنعومة من ماء إلى بخار في منطقة التحول .

البخار بعدها يستمر بالمرور خلال المحمص و تزداد درجة حرارته كما يحصل في إسطوانة الغلاية

(boiler drum) النقطة الدقيقة التي يحدث عندها التحول تختلف و يعتمد على سريان السائل خلال الغلاية .

(ب) غلايات الاحتراق الأحادي (once – through boiler)

الاختلاف من هذا النوع و النوع التقليدي للغلايات الأخرى يظهر فقط في دائرة البخار و الماء, مشاكل الاحتراق،ا لمخلفات (slagging) ,التحكم في المراوح .الحوارق و خلافها متطابقة مع الغلايات التقليدية .

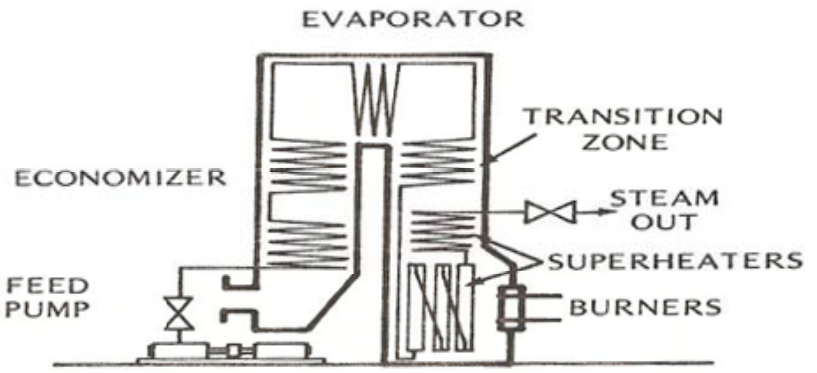


Figure 4E. Benson-type Boiler

الشكل(4E)

يوضح رسم تخطيطي لغلاية بنسون (Benson) في هذا النوع فإن مضخة المياه تمرر الماء خلال المقتصد(economizes) و المبخر (evaporator) و التي يتحول الماء عندها إلى بخار . و من المبخر يستمر في المرور خلال المحمص (super heater) . و أخيراً يمر البخار خلال المحمص الثانوي و منها إلى التوربينة . بما أن هذا النوع لا يوجد به إسطوانة (drum) فالمخلفات الصلبة لا يمكن تجميعها و نفثها خارج الغلاية . وجود المخلفات الصلبة في الماء سوف يترسب في منطقة التحول أو ربما تحمل مع البخار إلى التوربينة.

و لأن مياه التغذية يجب أن تكون نقية تماماً فإن مزيل المعادن المصقول (demineralizer) عادة يركب في أنظمة التكثيف لهذا الغرض . ومره أخرى و بما أنه لا يسمح بوجود المخلفات الصلبة في الغلاية فإنه لا يجب أبداً إضافة أي كيماويات كالفوسفات . الكيماويات التي ربما تضاف هي التي تتبخر مثل الهيدرازين أو الأمونيا .

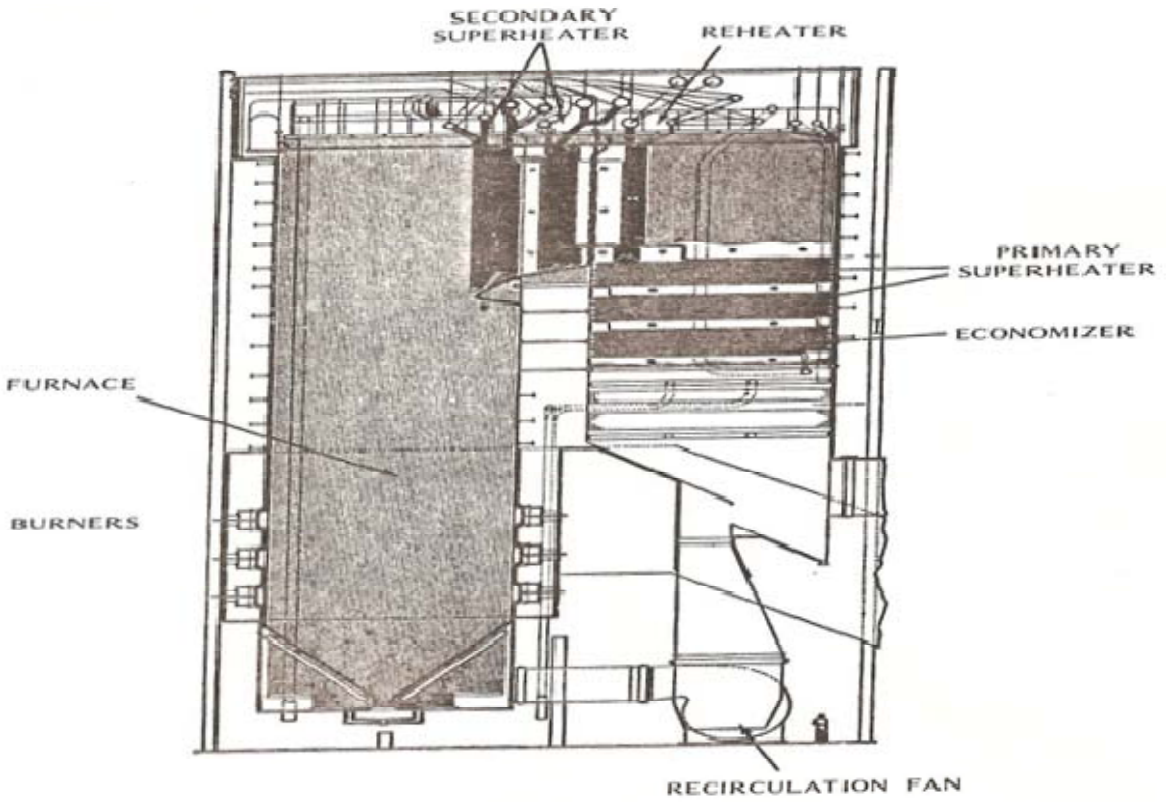


Figure 4F. 650 MW Once-through Boiler

في غلايات محطة الطاقة الكبيرة، غلايات الجدران المائية (water wall) يحبذ استخدامها كما في الشكل (4F) ، هذا النوع يحتوي على المحمصات المستوية و المتدلية و الأفقية و المسخن و المقتصد (economizer) كما في النوع الغلاية الاسطوانية. عادة في هذا النوع أقطار أنابيب المياه (بوصة واحدة)، و بالعكس أقطار أنابيب المياه في الغلايات الاسطوانية (2- 3بوصة).

الأنابيب ذات الضغط الصغير يساعد على سرعة التدفق و يضمن السريان خلال الأنابيب جميعاً. وبسبب سرعة التدفق العالية في هذا النوع فإن الضغط ينخفض بدرجة أعلى من النوع الاسطواني تقريباً في هذا النوع الانخفاض يقدر 800Psi بالمقارنة بـ150Psi للغلاية الاسطوانية.تغير الحمل في هذا النوع من الغلايات يتطلب مبادئ مختلفة تختلف عن الغلايات الاسطوانية كمثال في الغلايات الاسطوانية الشكل (4G).

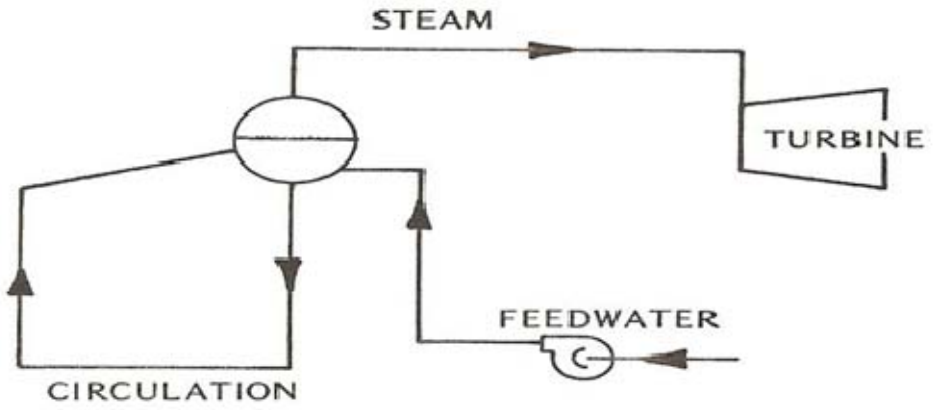


Figure 4G. Load Changes -- Drum-type Boiler

عند زيادة معدل الإشعال فإن حرارة إضافية تضاف إلى الماء و بالتالي تزداد كمية البخار المتبخر . مستوى المياه ينقص و يجب إضافة مياه تغذية و لكن في هذا النوع من غلايات الاختراق الأحادي عند زيادة معدل الإشعال فقط تزداد درجة حرارة البخار المحمص و الطريقة الوحيدة لزيادة سريان البخار هو زيادة تدفق مياه التغذية إلى الغلاية. خرج الغلاية يعتمد على ضبط تدفق المياه الداخلة و بالتالي ينظم كمية السائل المار داخل الغلاية. بدون إضافة حرارة فهذا يعتبر ماء بارد و بإضافة حرارة إضافية فإنه يتحول إلى بخار و بالتالي تزداد درجة حرارة البخار المحمص. لا يوجد تحكم في مستوى مياه الغلاية يجب أن يتم التركيز على ضغط البخار، سريان البخار، درجة حرارة البخار. ضغط البخار سوف يتجدد بواسطة خرج مضخة التغذية ودرجة الفتح لصمامات التحكم للتوربينة.

إحدى طرائق التحكم كما في الشكل (4I)

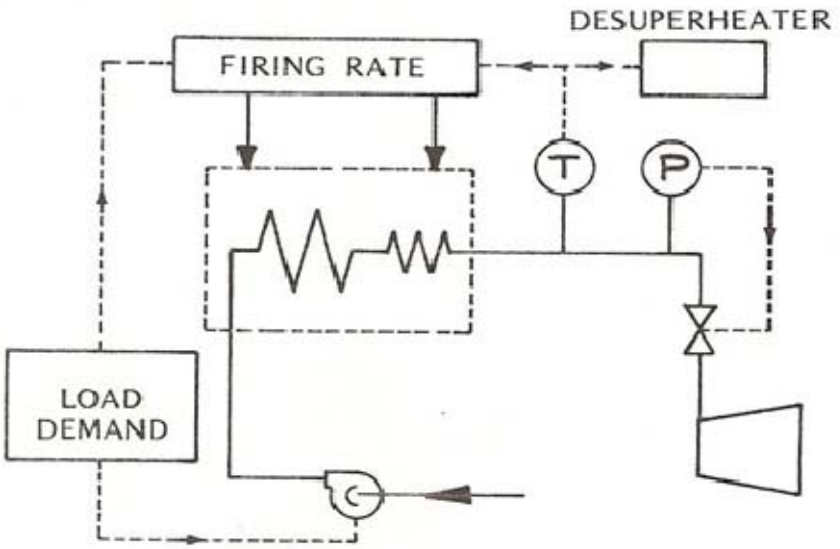


Figure 4I. Control System

التحكم في ضغط البخار بواسطة تنظيم صمامات التحكم للتوربينة . عند زيادة الطلب على الطاقة فإن معدل الإشعال ومعدل سريان مياه التغذية إلى الغلاية سوف تزداد ينتج عنها زيادة في درجة حرارة البخار وسرعة سريان البخار.

صمامات المحكم (Governor)للتوربينة سيفتح لينخفض الضغط إلى القيمة المضبوطة عليها وبالتالي يزداد الحمل على الوحدة . معدل الإشعال بالتالي يتم تعديله بهدف ضبط درجة حرارة البخار.

ج/ أنظمة بدء التشغيل (start-up systems):

في الغلايات ذات النوع الاسطواني خلال ارتفاع الضغط يحدث نوع من الدوران حتى قبل استخلاص البخار من الغلاية . خلال البدء في الغلايات ذات النوع الاختراق الأحادي السريان يتم الحصول عليه من خلال جدران المياه (water walls) باستخدام محول المحمص (super heater bypass) .

درجة الحرارة تزداد لبدء عملية البخار. سريان البخار يمر خلال المحمص بواسطة فتح محول التوربينة (Turbine bypass) وقفل محول المحمص. درجات حرارة المعدن سيتم مراقبتها خلال ارتفاع درجة حرارة البخار المتدفق إلى التوربينة . التوربينة ستلتقط الحمل بينما الفني يبدأ بفتح صمامات التحكم للتوربينة وقفل صمام محول التوربينة . في هذه الحالة فإنه يوجد سريان وتدفق خلال الغلاية، المحمص، إعادة التسخين (reheater) والتوربين. السريان أو التدفق خلال جدران الماء يساوي تماماً تدفق وسريان البخار الخارج من الغلاية.

هناك خيار آخر في هذا النوع من الغلايات لمسار تدفق البخار بواسطة التحويل عن التوربينة . كما في الشكل (J-4)

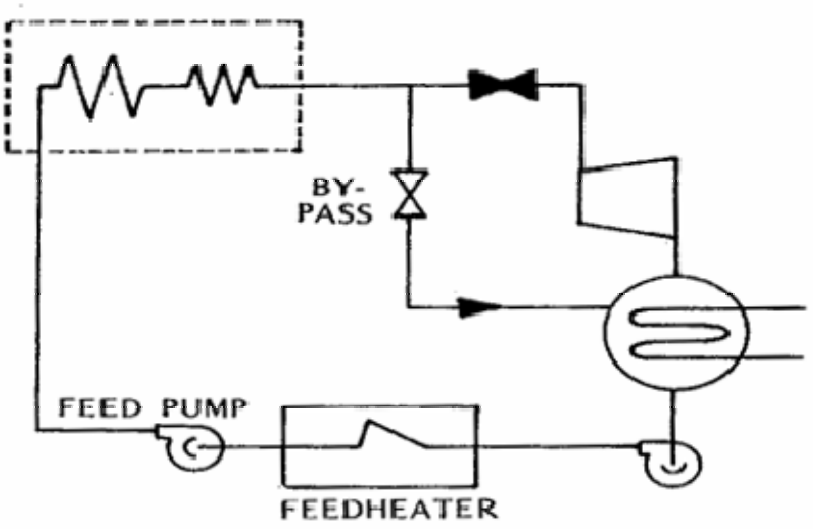


Figure 4J. Turbine Bypass

ثم التحويل عن التوربينة خلال فترة زيادة الضغط بينما تقريباً 25٪ من السريان تم تدفقه خلال النظام.

عندما نبدأ تشغيل الغلايات الحرجة أول خطوة نقوم بها هو تدوير الماء البارد خلال كامل النظام. يتم تدوير الماء تحت ضغط عالٍ، تشعل الغلاية، هذا يرفع درجة حرارة السائل.عندما يطلق الماء ذات درجة الحرارة العالية في المكثف سيتحول ومضياً إلى بخار لأن المكثف تحت التفريغ (مفرغ). درجة حرارة التشبع في المكثف تقريباF°100 .

في الشكل (4K)

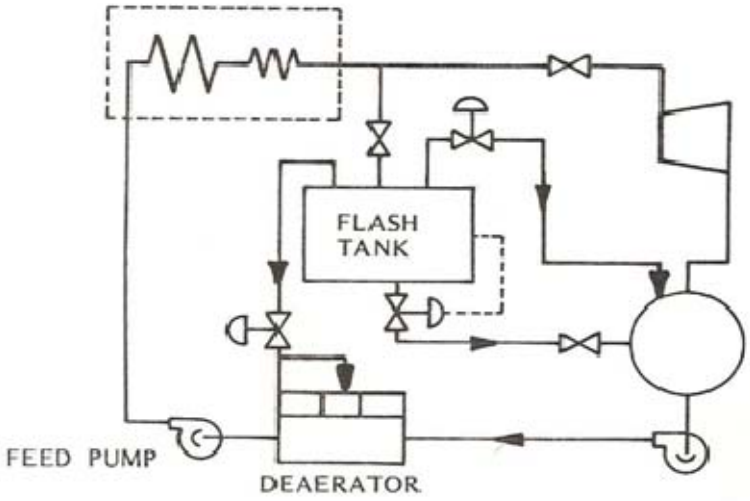


Figure 4K. Startup System (a)

نظام تحويل معدل ومطور ، هذا النظام يتكون من خزان البخار الومضي (Flash tank) لكي يعوض أو ليستعيد البخار والماء. الضغط في الخزان منتظم في حدود 200Psia. الماء الذي يغذي هذا الخزان ذو ضغط عالٍ ودرجة حرارة عالية والتي عندها ومضيا سيتحول إلى بخار. يرسل بعدها البخار إلى المكثف ويستخدم أيضاً للحفاظ على الضغط في مزيلات الأكسدة (Deareator) طبعاً نتذكر في دوران المياه عند درجة حرارة تقريباF 700 بينما درجة حرارة التشبع في الخزان الوميض يقارب381˚F عند ضغط PSIA 200 .

حالما يدخل السائل إلى الخزان في درجة حرارة أعلى من هذه يحدث الوميض ويبدأ تعويض البخار.تتجمع المياه في قاع الخزان ومن ثم يتم تسريبها خارجاً إلى المكثف.

عند بدء تشغيل وحدة الغلاية من نوع غلايات الاختراق الأحادي فإن ضغط الغلاية يرتفع إلى مستوى أعلى من الحرج وبسرعة. يضبط معدل الإشعال لرفع درجة حرارة السائل تقريباF 200 في الساعة. المسار إلى التوربينة يسخن بينما السائل لازال في حالة السائلة عند تقريباF 650 وفي النهاية ترتفع درجة الحرارة أعلى من درجة الحرارة الحرجة وهي 705,47 Fوعندها سيتحول السائل إلى بخار.

عند زيادة حرارة إضافية إلى الغلاية فإن البخار يصبح محمصاً وعندها من الممكن تشغيل التوربينة .عند تحميل التوربينة يسحب البخار .صمامات التحويل أو التحوير تقفل أوتوماتيكياً ليتم الحفاظ على سريان أدنى كلي في حدود 25٪. عند زيادة الحمل فإن صمامات التحويل أو التحوير (BYPASS) تقفل تماما.

في الشكل(4L)

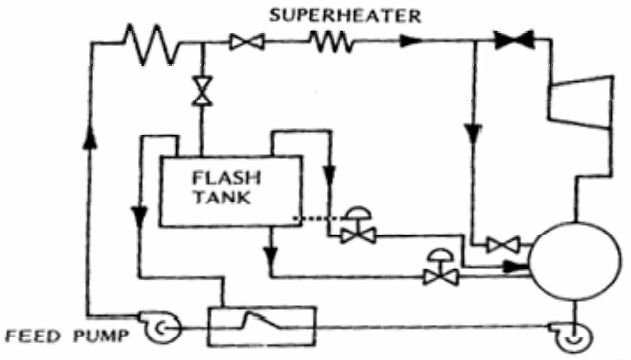


Figure 4L. Startup System (b)

السائل تم تحويله أو تحويره (BYPASS) إلى خزان الوميض قبل أن يدخل إلى المحمص ولهذا السائل ابرد خلال فترة البدء ولم يستقبل بخار محمص ذو درجة حرارة عالية .

بعض الأحيان معدن المحمص يتم تبريده بواسطة وسط وملطف غازي كما في الشكل (M-4)

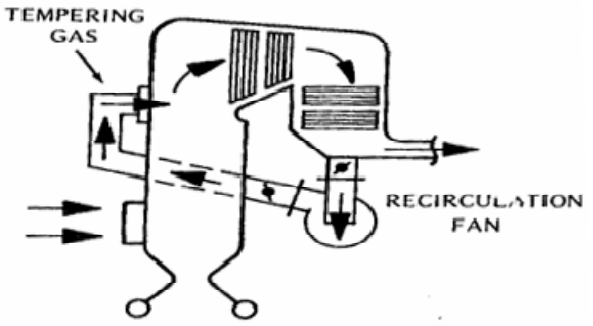


Figure 4M. Gas Tempering

الغاز يتم حقنه في أعلى الفرن ولهذا يخفض درجة حرارة غازات الاحتراق ويحافظ على درجة حرارة المعدن في الحدود الآمنة .

عادة أنظمة البدء مكلفه ومعقده.يمكن إلغاؤها أو تقليل حجمها بواسطة استخدام غلايات التدوير المشتركة (COMBINED CIRCULATION BOILER) والتي هي غلايات الاحتراق الأحادي مع دوران قسري (FORCED) كما في الشكل (N-4)

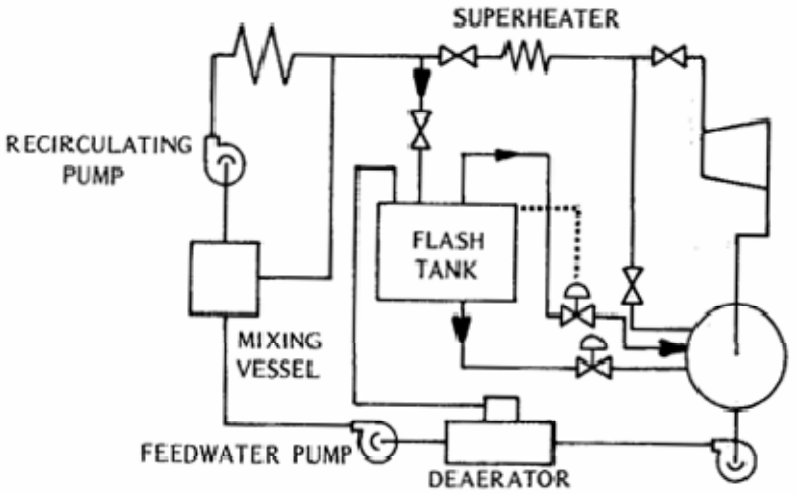


Figure 4N. Combined Circulation System

مضخة إعادة التدوير تعيد تدوير المياه وهذا يعطي تدوير إيجابي في حالة الأحمال الخفيفة وأيضا أثناء بدء التشغيل.

د- كفاءة الغلاية :

كفاءة الغلاية تؤثر على تكلفة الطاقة الكهربائية ويتأثر بواسطة الطريقة التي تعمل بها الغلاية. مثل عامة الكفاءة في أي وقت يعبر عنها بالعلاقة التالية:

الكفاءة ⟵ $Efficinecy = \dfrac{\text{energy out}}{\text{energy in}}$ ⟵ الطاقة الخارجية / الطاقة الداخلية

كمثال على ذلك نرغب إيجاد كفاءة الغلاية التالية:

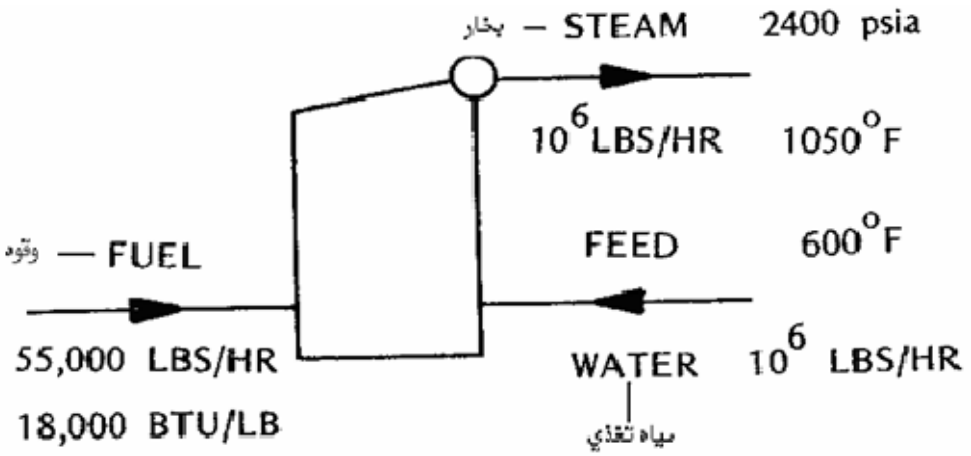


Figure 40. Boiler Efficiency

بالرجوع إلى جداول الانثالبي (Enthalpy) الخاصة بذلك للبخار والماء نجد أن:

$$h_s = 1494 \quad \frac{Btu}{lb}$$

$$h_w = 617 \quad \frac{Btu}{lb}$$

نجد الحرارة (h) المضافة لكل باوند من المياه :

$$h = h_s - h_w = 1494\frac{Btu}{lb} - 617\frac{Btu}{lb} = 877\frac{Btu}{lb}$$

الحرارة الخارجية في الساعة هي :

$$877 \times 10^6 \frac{Btu}{hr}$$

الحرارة الداخلة تساوي :

$$55{,}000 \times 18{,}000 \frac{Btu}{hr}$$

إذاً كفاءة الغلاية هي :

$$\text{الكفاءة} - Eff_B = \frac{\text{heat output}}{\text{heat input}} = \frac{877 \times 10^6}{55{,}000 \times 18{,}000} = 0.886 = 88.6\%$$

الحرارة الخارجة

الحرارة الداخلة

حساب كفاءة الغلاية معقدة بسبب عدة عوامل تؤثر على قيم الحرارة الداخلة والحرارة الخارجة وعادة كفاءة الغلايات الحديثة في حدود 92% إلى 95% ، الفواقد الناتجة إما ناتج عن احتراق غير مكتمل أو حرارة في الرماد أو إشعاع حراري من السطح الخارجي للغلاية إلى الهواء الخارجي وفواقد أخرى . ولكن النسبة العالية من الفواقد نتيجة فقد مجموعة المداخن (Stack Losses) وهي الحرارة الخارجة إلى المداخن ثم إلى الهواء الخارجي.

إذا سمح الفني بزيادة درجة حرارة الغازات الخارجة أكبر من المعدل فإن فقد مجموعة المداخن (Stack) يزداد طردياً وبالتالي تقل كفاءة الغلاية . كمية كبيرة من الهواء في الغلاية يزيد من كمية الغازات الخارجة إلى مجموعة المداخن وبالتالي يزيد من الفقد الحراري . مفاقيد الغلاية تزداد بواسطة ما يلي:

- ارتفاع درجة حرارة الغازات الخارج
- زيادة في كمية الهواء.

الفني مسئول لتشغيل الغلاية بكفاءة والتقيد بأنظمة الأمان والسلامة . ويجب عليه كذلك أن يمنع الفقد في الحرارة بملاحظة النقاط التالية:

- تأكد من أن مخارج التصريف (drains) لا تترك مفتوحة بدون ضرورة .
- تأكد من أن مصائد البخار تعمل بشكل صحيح ولا تقوم بنفث البخار خارجاً.

- لاحظ من أن البخار المساعد لا يوجد فيه فقد كذلك.
- قم بالتبليغ فوراً في حالة وجود تسربات في دوائر المياه أو دوائر البخار أو دوائر الغاز وهواء الغلاية.

آلية تحسين كفاءة الغلايات :

إن برنامج تحسين كفاءة الغلايات البخارية يجب أن يشمل اتجاهين :

1- العمل على جعل الغلاية تعمل عند أقصى كفاءة له .
2- العمل على استبقاء الكفاءة عند أقصى مستوى لها .

ولقد بينا فيما تقدم كيف يمكن تحقيق أعلى كفاءة للغلاية وفيما يلي سوف نوضح كيف يمكن استبقاء كفاءة الغلاية عند أقصى قيمة لها وسوف نحتاج في هذا الخصوص إلى استخدام كل من التحليل والتنقية وخطوات الاختبار اللازمة لتحقيق أقصى كفاءة وهناك الكثير من العمليات التي يمكن إجراؤها لاستبقاء كفاءة الغلاية عند أقصى مستوى لها ، وهذه تبدأ بأن تكون لدينا المعلومات التشغيلية لكل جزء مرتبط بالغلاية مع تسجيل البيانات وهي تنتهي بتنظيف سطوح التبادل الحراري وضبط وتدقيق نسبة الهواء إلى الوقود ... الخ وهذه المتطلبات يمكن تقسيمها إلى ما يلي :

1- متطلبات عامة .
2- متطلبات يومية .
3- متطلبات أسبوعية .
4- متطلبات شهرية .
5- متطلبات سنوية .

وفيما يلي شرح لكل نوعية من المتطلبات :

1- المتطلبات العامة :

المتطلبات العامة هي تلك المتطلبات التي ترتبط عادة بأي مجموعة وهذه المتطلبات تقلص إلى حد كبير الاحتياج إلى مشورة الآخرين حول الأنظمة المأخوذة تحت الاعتبار ونجد هذه المتطلبات مجدولة بالجدول رقم (11- 1)

مثال (1) : من المشاكل التي تواجه الغلايات هي عملية تشغيل الغلاية في يوم بارد بعد إيقافه لعدة أيام فمن أين يستمد المشغل المساعدة .

الإجابة :

قد لا تكون الإجابة عن هذا السؤال موجودة في خطوات تشغيل الغلاية ومن ثم فإن على المشغل أن يبحث عن الإجابة في الكتيب الملحق بالغلاية (The Boiler manual) وقد لا تتواجد الإجابة في هذا الكتيب إذا كان المصنع للغلاية لم يواجه بهذه المشكلة وفي هذه الحالة يجب على المشغل أن يسأل ذوي الخبرة السابقة في هذا الحقل .

1

جدول (11- 1) المتطلبات العامة

البند	المحتويات	التوصيات
1	معلومات عن الغلاية وملحقاتها	هذه المعلومات يمكن الحصول عليها من الكتيب الخاص بالغلاية والمزود من مصنعه وعادة يكون هذا الكتيب محتوياً المعلومات على كل من : (أ) الغلاية . (ب) الأجهزة المساعدة الملحقة بها .
2	خطوات تشغيل الغلاية	يجب أن تجمع خطوات التشغيل من الكتيب الخاص بالغلاية بطريقة واحدة ومفصلة وبالذات عن : (أ) التشغيل الابتدائي له . (ب) التشغيل العادي . (ج) الإيقاف .
3	قائمة الأجزاء	وهذه تشمل الأجزاء الرئيسية فيما عدا تلك المتوقع استبدالها : (أ) اسم القطعة . (ب) عدد كل قطعة .
4	سجل الصيانات	سجل الصيانات يشمل : (أ) بيانات عن الصيانة . (ب) وصف للصيانة التي أجريت . (ج) اسم الشخص الذي قام بعملية الصيانة . (د) الأجزاء التي تم استبدالها أو تنظيفها .
5	التزليق أو التشحيم	اتبع توصيات المصنع في تشحيم جميع المكونات .

2

المتطلبات اليومية : (Daily Requirements)

ونجد المتطلبات اليومية مجدولة بالجدول رقم (11- 2) .

مثال : لوحظ زيادة مقدارها 40˚ ف في درجة حرارة غازات العادم ما هو الإجراء الذي يوجب عمله لتحديد سبب هذه الزيادة ؟

الإجابة :

تغير درجة حرارة غازات العادم لا يعني شيئاً محدداً إذا لم يرافقه معلومات إضافية عن وضع عملية الاحتراق وتركيب غازات العادم ودرجة حرارة الهواء الداخل إلى غرفة الاحتراق فإذا لم تكن الزيادة في درجة حرارة غازات العادم لأي سبب من الأسباب السابقة فإن هناك ترسبات قد حدثت على السطوح المخصصة للتبادل الحراري وهذه الترسبات يجب أن تؤخذ في الاعتبار .

المتطلبات الأسبوعية : (Weekly Requirements)

المتطلبات الأسبوعية يجب إجراؤها في وقت محدد من كل أسبوع وهذه المتطلبات نجدها مجدولة بالجدول (11- 3)

مثال : إذا لاحظ المشغل عندما يقوم بحر ق الوقود الزيتي رقم (2) أن محتوى غازات العادم من الأكسجين يساوي 6٪ فكيف يمكن تصحيح ذلك ؟

الإجابة :

يمكن خفض محتوى غازات العادم من الأكسجين إلى 2٪ وذلك عن طريق زيادة معدل سريان الوقود .

1

جدول (11-2) المتطلبات اليومية

البند	المحتويات	التوصيات
1	تأكد من درجة حرارة غازات العادم عند معدلين مختلفين للحريق	قارن درجات الحرارة التي نحصل عليها مع درجات الحرارة التي تحصل عليها بعد التنظيف السنوي للسطوح .
2	تأكد من ضغط بخار الماء	هل التغير في ضغط البخار يحدث كما هو متوقع له مع تغير الأحمال هل يحدث إنتاج لبخار رطب عندما يحدث انخفاض في الضغط بسرعة (والذي يمكن أن يحدث بالزيادة المفرطة من الأحمال مع الغلاية) .
3	تأكد من أن المستوى الخاص بالبخار ثابت .	الأسباب العامة لعدم ثبوت مستوى المياه في الغلاية هي : (أ) التداخلات التي تحدث في الغلاية مثل تواجد الزيوت ، والمعالجة المفرطة لمياه التغذية . (ب) الإفراط في الحمل على الغلاية . (ج) القصور في الأداء لبعض الوحدات مثل مياه التغذية ومضخات التغذية بالمياه ، عدم السيطرة على مستوى المياه في الغلاية .
4	التأكد من أداء الموقد .	(أ) هل تقوم بعملها على الوجه الأكمل . (ب) هل المواقد نظيفة وقد يحتاج الموقد إلى تنظيف عدة مرات في اليوم الواحد إذا كان الوقود من الزيوت الثقيلة .
5	تأكد من المحرك والأجهزة المساعدة الأخرى .	تأكد من أن المحرك والأجهزة المساعدة تعمل بطريقة جيدة .
6	تأكد من درجة حرارة الهواء في غرفة الغلاية .	يجب أن ألا تزداد درجة حرارة غرفة الغلاية عن حدود معينة كما لا يجب أن تقل عن حدود معينة وهذه الحدود يمكن تحديدها بمعرفة تركيب غازات العادم
7	تأكد من التصريف السفلي .	(أ) عند التصريف اليدوي : تكرار عملية التصريف السفلي سوف تعتمد على كمية مياه التغذية وظروفها . تأكد من أن الصمام السفلي لا يحدث منه تسرب . (ب) عند التصريف الآلي : تأكد من أن النظام يعمل بطريقة جيدة وتأكد من أنه لا إفراط في التصريف السفلي
8	تسجيل البيانات .	سجل البيانات اليومية عن : (أ) نوع وكمية الوقود . (ب) درجة حرارة غازات العادم وكيفية حدوث الحريق . (جـ) درجة حرارة غرفة الاحتراق يجب قياسها وتسجيلها .

1

جدول (11- 3) المتطلبات الأسبوعية :

البند	المحتويات	التوصيات
1	تأكد من تركيب درجة حرارة غازات العادم .	(أ) حدد تركيب العادم عند معدل حريق معين . (ب) النسبة المئوية لثاني أكسيد الكربون والأكسجين في غازات العادم هي : الوقود ٪ O_2 ٪ CO_2 الغاز الطبيعي 1 – 1/2 10 سولار 2 11 – 1/2 وقود زيتي متوسط 2 – 1/2 12 – 1/2 وقود زيتي ثقيل 3 – 1/2 13 – 1/2 وهذه النسب يمكن أن تتغير حسب التغير في تركيب الوقود .
2	تأكد من صمام التنفيس .	(أ) افتح الصمام يدوياً بينما الغلاية في حالة تشغيل ولاحظ ضغط البخار والقوة اللازمة لفتحه . (ب) لاحظ هل هناك تسريب من صمام التنفيس .
3	تأكد من مستوى المياه والسيطرة على مستوى المياه	وقف مضخة مياه التغذية ووقف سريان الوقود إلى المواقد . لا تسمح لمستوى المياه إلى النزول عن المستوى الموصي به .
4	تأكد من المواقد وملاحقاتها.	(أ) تنظيف المواقد وملحقاتها باستخدام الطريقة الموصى بها . (ب) تأكد من الملحقات : • فتحة الشرارة . • حالة القطب • حالة الوقود .
5	تأكد من سمات تشغيل الغلاية .	(أ) وقف سريان الوقود إلى المواقد ولاحظ كيفية خمود اللهب (السمات والزمن) . (ب) شغل الغلاية ولاحظ سمات اللهب .

2

3

المتطلبات الشهرية (Monthly Requirements) :

نجد المتطلبات الشهرية مجدولة بجدول (11 – 4) .

مثال : ما هي الطريقة العامة التي تستخدم للتخلص من الأكسجين الذائب في مياه التغذية للغلاية ؟

الإجابة :التسخين واستخدام البخار .

المتطلبات السنوية (Annual Requirements) :

وهذه نجدها مجدولة بالجدول رقم (11- 5) .

مثال : هل يجب أن ترتفع درجة غازات العادم أو تنخفض بعد إجراء المتطلبات السنوية ؟

الإجابة :يجب أن تنخفض درجة حرارة غازات العادم لأن سطوح التبادل الحراري أصبحت نظيفة .

أسئلة :

1- هل تكون السمات المرئية للهب مغزى ؟ الإجابة : نعم .

2- كيف يمكن تحديد الكميات الصحيحة للتصريف السفلي من الغلايات ؟

الإجابة : عن طريق تحديد كميات المواد الصلبة في تيار التصريف السفلي .

1

جدول (11- 4) المتطلبات الشهرية

البند	المحتويات	التوصيات
1	تأكد من التصريف السفلي وطريقة معالجة مياه التغذية .	(أ) حدد ما إذا كان التصريف السفلي كاف لمنع تسرب المواد الصلبة في الغلاية . (ب) حدد إذا كانت معالجة مياه التغذية كافية لتلافي التأثيرات غير المرغوب فيها .
2	غازات العادم .	(أ) قس تركيب غازات العادم (O_2 , CO_2) ودرجة حرارة غازات العادم عبر مدى الاحتراق الكامل (ب) قارن التركيب ودرجة الحرارة لغازات العادم مع تلك القيم التي يتم الحصول عليها في الشهور السابقة .
3	تأكد من نظام الوقود .	تأكد من قراءة مقياس الضغط له – المرشحات المضخات – الخطوط الناقلة له . نظف المرشحات إذا لزم الأمر .
4	تأكد من الأحزمة والحشو .	(أ) تأكد من أن الأحزمة سليمة وخالية من التلف والشد الزائد . (ب) تأكد من أن الضغط على الحشو مناسب وأنه لا يوجد تسرب .
5	تأكد من تسرب الهواء .	(أ) حول منافذ الوصلات . حول تجمع ماسك اللهب . Flame Scanner Assembly

2

3

3- كيف يمكن تحسس حدوث انهيار في كراسي التحميل في الغلايات قبل حدوثها؟

الإجابة : عن طريق ملاحظة الزيادة في درجة الحرارة .

4- تغيير درجة الحرارة في غرفة الغلاية من 65˚ إلى 100˚ ف خلال يوم .

5 كيف يؤثر هذا التغيير في درجة الحرارة على نسبة تواجد الأكسجين في غازات العادم ؟

الإجابة : ارتفاع درجة حرارة الهواء تؤدي إلى نقص نسبة الأكسجين في غازات العادم .

6- عدد العوامل التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار للحد من تكون الدخان في غازات العادم للغلايات المستخدمة للفحم .

الإجابة : المواقد ، هواء غير جاف .

7- متى يجب تصحيح أي مشكلة تتعلق بمجموعة السيطرة على مستوى الماء في الغلاية ؟

الإجابة : بالسرعة الممكنة .

8- هل تتسبب الترسبات في مدخل الهواء اللازم لعملية الاحتراق في تقليل الأكسجين في غازات العادم .

الإجابة : نعم .

9- هل يجب الاهتمام بالتآكل الحادث بسطوح التبادل الحراري بعد عمليات التنظيف ؟

الإجابة : نعم .

1

جدول (11- 5) المتطلبات السنوية

البند	المحتويات	التوصيات
1	نظف الجانب الملامس للمياه .	اتبع توجيهات المصنع في عمليات تنظيف وتجهيز الجانب الملامس للمياه .
2	نظف الجانب الملامس للغاز .	اتبع توجيهات المصنع في تنظيف وإعداد السطوح الملامسة للغاز (أو للهب) .
3	صمام التنفيس	فكه وافحص حالته أو غيره .
4	مجموعة مياه التغذية .	(أ) نظف مستقبل المياه المتكثفة ومجموعة التخلص من الهواء المذاب . (ب) نظف مضخة التغذية بالمياه .
5	مجموعة الوقود .	نظف وهيئ مجموعة الوقود من مضخات ومرشحات ومواقد ومسخنات مسبقة للزيت وخزانات تخزين الزيت .
6	المجموعات الكهربائية .	(أ) نظف كل الأطراف الكهربائية . (ب) تأكد من نظام التحكم الآلي وغير أي أجزاء فيها عيوب .
7	الصمامات الهيدروليكية والهوائية .	تأكد من التشغيل الجيد وغيرها إذا تواجد بها تسربات .
8	التشغيل الابتدائي	اتبع توصيات التشغيل الابتدائي .
9	غازات العادم	(أ) اضبط حتى تحصل على التركيب المطلوب لغازات العادم . (ب) سجل التركيب – مع شكل الحريق ودرجة الحرارة .

2

3

1

2

الوحدة الثانية

الترتيبات (الغازية- البخارية- الديزل)

الجدارة: معرفة انواع التربينات وطرق تشغيلها المختلفه.

الاهداف:

عند اتمام دراسة هذه الوحده يتمكن المتدرب من :

- فهم الانواع المختلفه للتربينات وخصائصها .
- الالمام بطرق تشغيلها الاعتياديه.
- الالمام بطرق اطفاءها وبالتالي ايقافها .
- الالمام بتشغيل كافة التربينات في حالة الطوارئ.
- التعرف على توزيع الاحمال على المولدات والتربينات.
- الالمام بالمخططات الاحاديه والرموز المختلفه لوحدات المحطات.

مستوى الاداء المطلوب: أن يكون المتدرب قد الم باساسيات التربينات وطرق تشغيلها واطفاءها بنسبة لا تقل عن 85٪.

الوقت المتوقع للتدريب: عشرون ساعه او عشر اسابيع (ساعتان /اسبوع).

الوسائل المساعدة: زيارات ميدانيه لبعض محطات القوى الكهربائيه ومحطات تحلية المياه.

متطلبات الجداره: لا يوجد.

الجزء الأول - التوربينات الغازية

Gas Turbines

1- 2 مقدمة:

تعتبر التوربينات الغازية من محركات الاحتراق الداخلي حيث يتم بواسطتها تحويل الطاقة الحرارية الناتجة عن احتراق الوقود والهواء إلى طاقة ميكانيكية حيث يتم استعمال هذه الطاقة في مجالات متعددة سوف يذكر فيما يلي أهم هذه الاستخدامات:

- **محطات توليد الطاقة الكهربائية:**

حيث يتم فيها تحويل الطاقة الميكانيكية الناتجة من احتراق الوقود والهواء إلى طاقة كهربائية، وتمتاز هذه المحطات بطاقتها العالية وبثبات السرعة وكذلك سرعة الوصول إلى القيمة العظمى للحمل مقارنة بمحركات الاحتراق الداخلي (سيتم التعرف عليها بإيجاز) كما تمتاز أيضاً بقلة تأثيرها على البيئة أيضاً.

- **محركات الطائرات:**

كان أول استعمال للتوربينات الغازية في محركات الطائرات، حيث يقوم التوربين بإدارة مراوح لإعطاء قوة الدفع اللازمة للطائرة.

- **ضخ السوائل والغازات:**

وتستخدم أيضاً التوربينات الغازية بتشغيل المضخات الكبيرة لضخ البترول أو الغاز أو الماء عبر مسافات بعيدة.

- **محركات السيارات:**

حيث تستعمل في محركات الشحن الضخمة أو في سيارات السابق، لكن يعيبها الضوضاء العالي للمحرك عند التشغيل.

- **استعمالات أخرى:**

مثل السكك الحديدية وفي المجالات البحرية وضاغطات الهواء الضخمة.

2- 2 دورات الاحتراق الداخلي:

توجد عدة أنواع من دورات الاحتراق المستعملة في الآلات ذات الاحتراق الداخلي التي يتم فيها تحويل الطاقة الحرارية الناتجة عن حرق الوقود إلى طاقة ميكانيكية حيث تتكون دورة الاحتراق من عدد من المراحل الرئيسية تشمل:

1- **مرحلة سحب الهواء** (Sections).

2- **مرحلة الانضغاط** (Compression):

يتم فيها سحب الهواء الخارجي وضغطه.

3- **مرحلة الاحتراق** (Power).

ويتم فيها حرق الوقود داخل غرف احتراق خاصة تحت ظروف معينة.

4- **مرحلة التمدد** (Expansion):

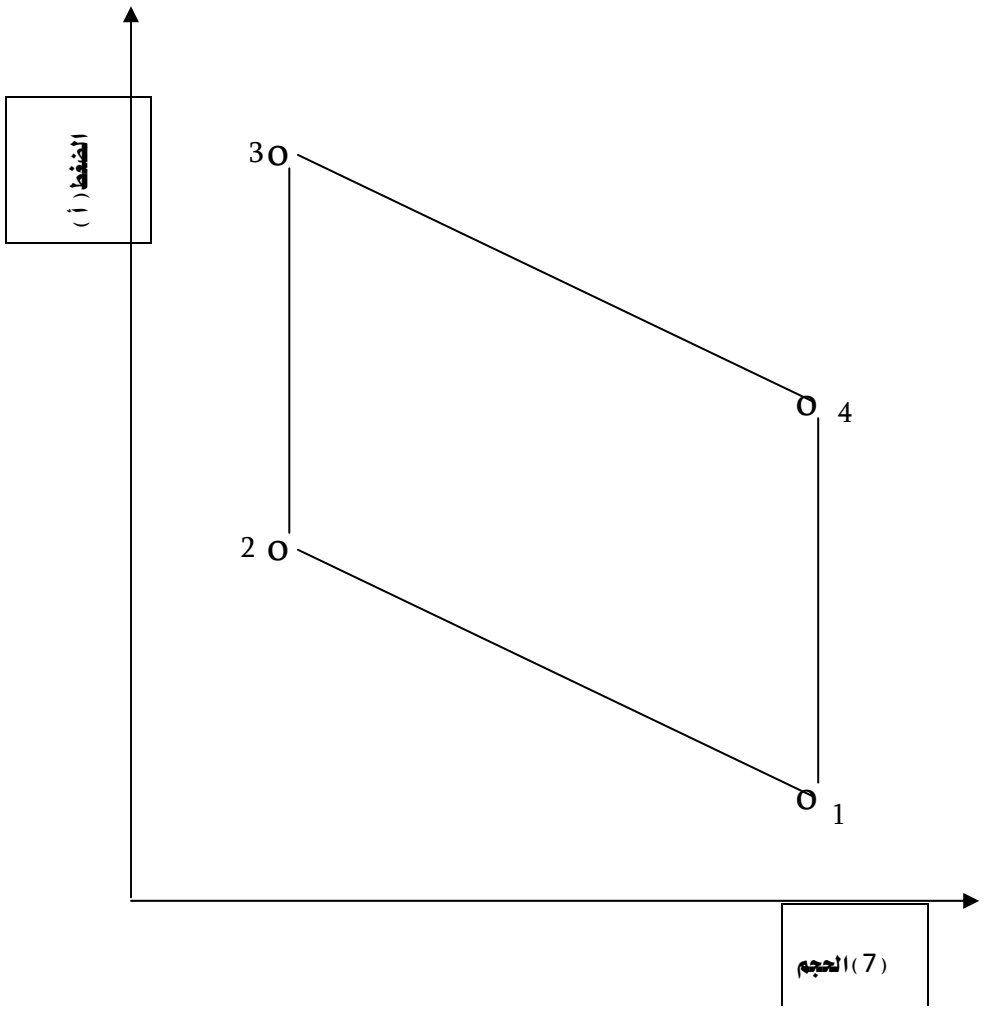
حيث يتم فيها تحويل الطاقة الحرارية الناتجة عن الاحتراق إلى طاقة ميكانيكية.

5- **مرحلة العادم** (Exhaust):

وتشمل عملية خروج الهواء ونواتج الاحتراق إلى الغلاف الجوي.

سوف نتعرف فيها على أهم دورات الاحتراق بعد أن تعرفنا على المراحل التي تشمل عليها دورة الاحتراق.

أولاً: دورة أتو (Otto cycle):



من الشكل السابق نستطيع تحديد مراحل الاحتراق المختلفة كما يلي:

1 إلى 2 تمثل مرحلة ضغط معزول حيث يقل حجم الهواء.

2 إلى 3 تمثل مرحلة إضافة حرارة ناتجة عن الاحتراق تحت حجم ثابت مما يؤدي إلى زيادة الضغط.

3إلى 4 تمثل مرحلة التمدد وتحول الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية.

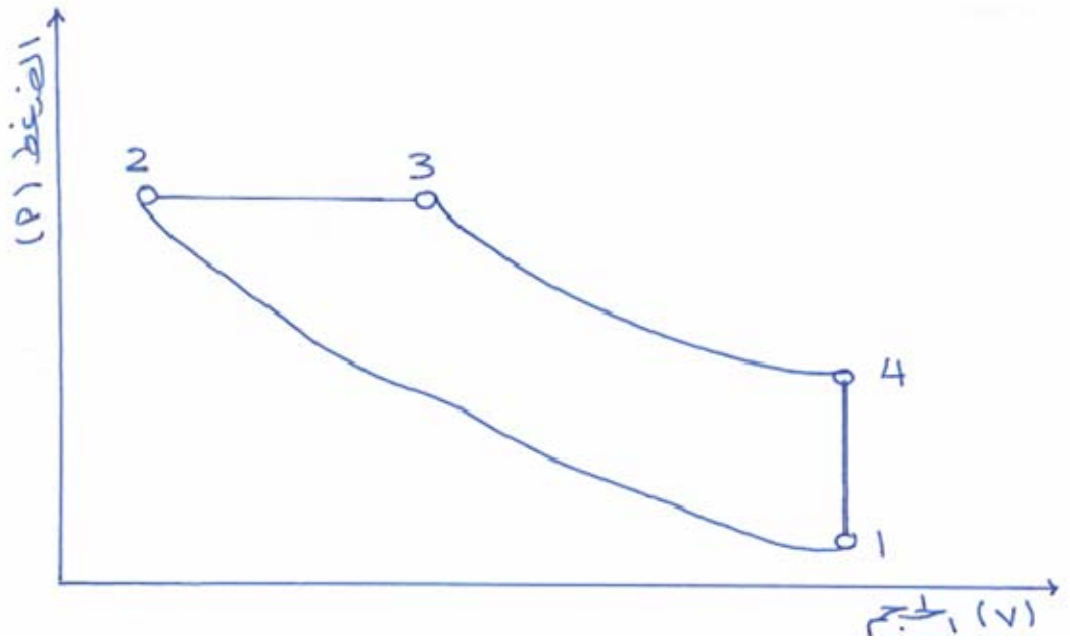
4 إلى 1 تمثل مرحلة خروج العادم.

ملاحظة:

لاحظ في هذه الدورة أن الاحتراق يتم عند حجم ثابت لذلك تعرف بدورة الحجم الثابت.

2- 2- 2 ثانياً: دورة الديزل (Diesel cycle):

الشكل التالي يبين العلاقة بين الحجم والضغط في دورة الديزل والتي سندرسها فيما بعد



من المنحنى السابق نلاحظ أن هذه الأمور مشابهة للدورة السابقة إلا أن الاحتراق يتم في هذه الحالة عند ضغط ثابت لذلك تعرف هذه الدورة بدورة الضغط الثابت.

يمكن تحديد المراحل المختلفة في هذه الدورة كما يلي:

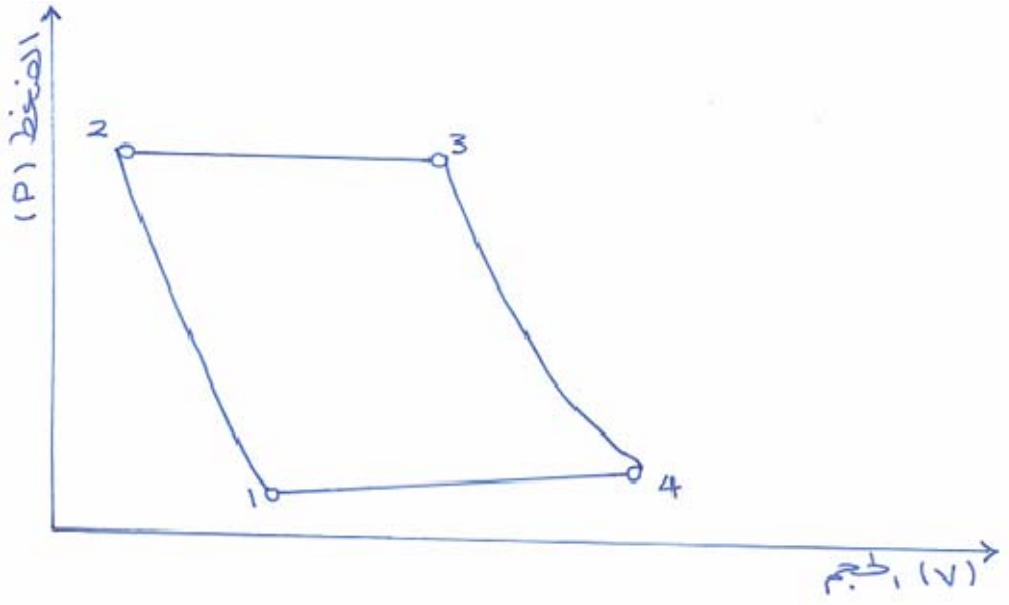
1 إلى 2 تمثل مرحلة ضغط (Compression) معزول حيث يقل حجم الهواء.

2 إلى 3 تمثل مرحلة إضافة حرارة إلى الغاز المضغوط ناتجة عن الاحتراق (Combustion) تحت ضغط ثابت مما يؤدي إلى زيادة الحجم من 3 إلى 4 تمثل مرحلة التمدد (Expansion) وتحول الطاقة الحرارية الناتجة عن الاحتراق إلى طاقة ميكانيكية.

4 إلى 1 تمثل مرحلة خروج العادم (Exhaust).

2- 2- 3 ثالثاً: دورة برايتون (Bryton cycle):

الشكل التالي يبين العلاقة بين الضغط والحجم في دورة برايتون حيث يعتمد مبدأ عمل التوربينات الغازية.



من الشكل السابق نستطيع تمييز المراحل المختلفة في هذه الدورة كما يلي:

1 إلى 2 تمثل مرحلة ضغط (Compression) معزول حيث يقل حجم الهواء.

2 إلى 3 تمثل مرحلة إضافة حرارة الغاز المضغوط ناتجة عن الاحتراق (Combustion) تحت ضغط ثابت مما يؤدي إلى زيادة الحجم.

3 إلى 4 تمثل مرحلة التمدد (Expansion) وتحول الطاقة الحرارية الناتجة عن الاحتراق إلى طاقة ميكانيكية.

4 إلى 1 تمثل مرحلة خروج العادم (Exhaust).

عند مقارنة دورة برايتون بالدورات السابقة نلاحظ أوجه الاختلاف التالية:

1- أن عمليات الضغط (Comperssion) والاحتراق (Combustion) والتمدد للغازات (Expansion) وخروج العادم مستمرة دائماً وذلك يعني أن هناك قدرة مستمرة دائماً متولدة أي أن التربين الغازي يولد قدرة مستمرة بينما في الدورات الأخرى يتم إنتاج القدرة في شوط القدرة فقط.

2- إن عمليات الاحتراق وخروج العادم تتم عند ضغط ثابت لذلك تسمى هذه الدورة بدورة الضغط الثابت (Constant pressure cycle).

مبدأ عمل دورة برايتون:

بعد بدء دوران الدورة بإحدى طرق بدء الحركة يقوم الضاغط بسحب الهواء من المحيط الخارجي من خلال مرشحات لتقنية الهواء من الشوائب ويعمل الضاغط إلى ضغطه إلى قيم مرتفعة ثم يدخل الهواء المضغوط غرفة الاحتراق ثم يتم خلطه بالوقود ويتم الاحتراق وتكون نواتج الاحتراق عبارة عن غازات عالية الضغط والحرارة حيث تخرج هذه النواتج وتدخل إلى التوربين والتي تقوم بدورها بتدوير المولد الكهربائي والضاغط.

تخرج الغازات من التوربين إلى الهواء الخارجي عن طريق فتحة خروج العادم (المدخنة).

طرق بدء الحركة:

1- استعمال محرك خرجي يقوم بعملية بدء الحركة حتى يحدث الاحتراق يفصل بعد سرعة دوران معينة.

2- استعمال المولد المتزامن نفسه: حيث يشغل المولد كمحرك يقوم بتدوير التوربين حتى يحدث الاحتراق وبعد فترة وجيزة يتم فصل المولد.

مزايا التوربينات الغازية:

وتستعمل محطات التوربينات الغازية بشكل واسع لأغراض توليد الطاقة الكهربائية لتغذية الأحمال في أوقات الذروة وخارجها حيث تمتاز هذه المحطات بعدة مميزات نذكر منها ما يلي:

- سهولة التركيب والصيانة.
- عدم إمكانية الحاجات إلى كميات كبيرة من الماء للتبريد.
- إمكانية استعمال العديد من أنواع الوقود المتوفرة.
- سرعة التشغيل والتحميل حيث يستغرق ذلك 10- 20 دقيقة.
- سرعة الإيقاف.
- عدم الحاجة إلى مساحات واسعة من الأرض.
- من جهة أخرى هناك بعض السلبيات لهذه المحطات نذكر منها:
- كفاءة قليلة تصل إلى 20- 30 ٪.
- استهلاك كمية كبيرة من الوقود لإنتاج وحدة الطاقة.

محطات التوربينات الغازية (Gas Turbine Power Stations):

في هذا النوع من المحطات يتم حرق الوقود المتوفر واستعمال الغازات الناتجة عن الاحتراق في تدوير ريش التربين التي تعمل على تدوير المولد الكهربائي كما سنرى في بعد.

2- 3 مكونات المحطة الغازية:

- الضاغط (Compressor).
- غرف الاحتراق (Combustion Chambers).
- التربين الغازي (Gas turbine).
- المولد الكهربائي (Generator).
- المساعدات (Auxiliaries).

وسنتناول بالشرح كل مكون على حده.

2- 1 الضاغط (Compressor):

الضاغط: يقوم بسحب الهواء من خلال المرشحات وضغطه إلى قيم مرتفعة.

الوظائف الأساسية للضاغط هي:

أ- تأمين ضخمة من الهواء المضغوط إلى غرف الاحتراق لإتمام عملية الوقود.

ب- تأمين الهواء المضغوط اللازم لخفض حرارة الغازات الناتجة عن الاحتراق قبل دخولها إلى التربين حتى لا تسبب تلف ريش التربين.

ج- تأمين الهواء المضغوط اللازم لتبريد فتحات نفث الغازات في التربين (Nozzles) وكذلك تبريد الأجزاء الأخرى من مسار الغازات الساخنة داخل التربين (Hot gas paths) .

تركيب الضاغط (Construction):

الضاغط المستخدم في التوربينات الغازية هو من النوع المحوري (Axial flow compressor) ويسمى بهذا الاسم لأن سريان الغازات يكون في اتجاه موازيا للمحور ويتكون هذا الضاغط من عدة مراحل (17 مرحلة) كل مرحلة تتكون من جزئين هما:

أ- مجموعة من الريش المتحركة (Rotating blades) ذات الشكل الايروديناميكي الخاص حيث تعمل على زيادة سرعة الهواء أي تزيد من الطاقة الحركية للهواء (Kinetic energy).

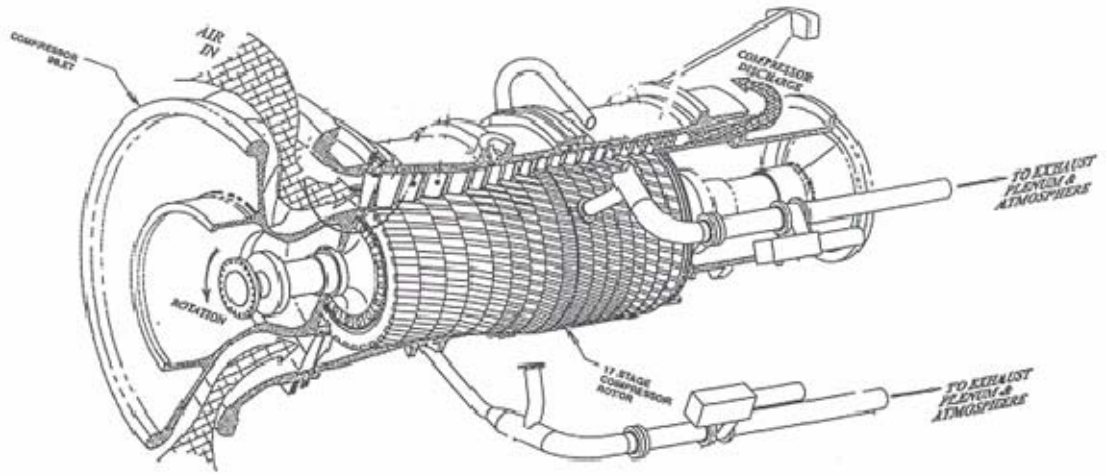
ب- مجموعة من الريش الثابتة (Stationary blades) ذات شكل ايروديناميكي خاص أيضاً وتعمل على تحويل الطاقة الحركية إلى زيادة في ضغط الهواء (Pressure increase).

نظام دخول الهواء (Inlet air system):

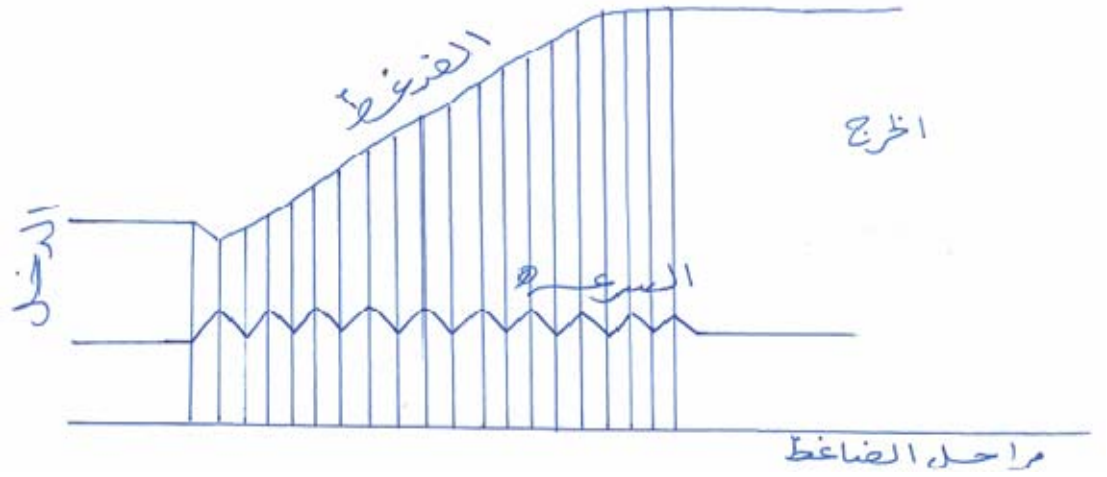
يتم دخول الهواء الجوي إلى الضاغط من خلال مرشحات الهواء (Air filters) حيث تقوم هذه المرشحات بتقنية الهواء من الشوائب قبل دخوله إلى التربين.

وهناك أيضاً وظيفة أخرى لنظام دخول الهواء هو التحكم في سرعة واتجاه الهواء المتدفق إلى الضاغط من خلال مجموعة من الفتحات القابلة للضبط التي تعرف اختصاراً بـ (VIGV).

الأشكال التالية تبين الجزء الدائر والجزء الثابت من ضاغط الهواء المحوري.



الشكل التالي يبين تغيير سرعة وضغط الهواء خلال المراحل المختلفة من الضاغط:



كفاءة الضاغط (Compressor efficiency):

يستهلك الضاغط قدرة كبيرة أثناء عملية ضغط الهواء وتشكل نسبة كبيرة من القدرة الميكانيكية المتولدة وبسبب وجود الاحتكاك فإن القدرة المستهلكة تكون في العادة أكبر من القدرة المفروض أن يستهلكها في حال عدم وجود الاحتكاك لذلك تعرف كفاءة الضاغط كما يلي:

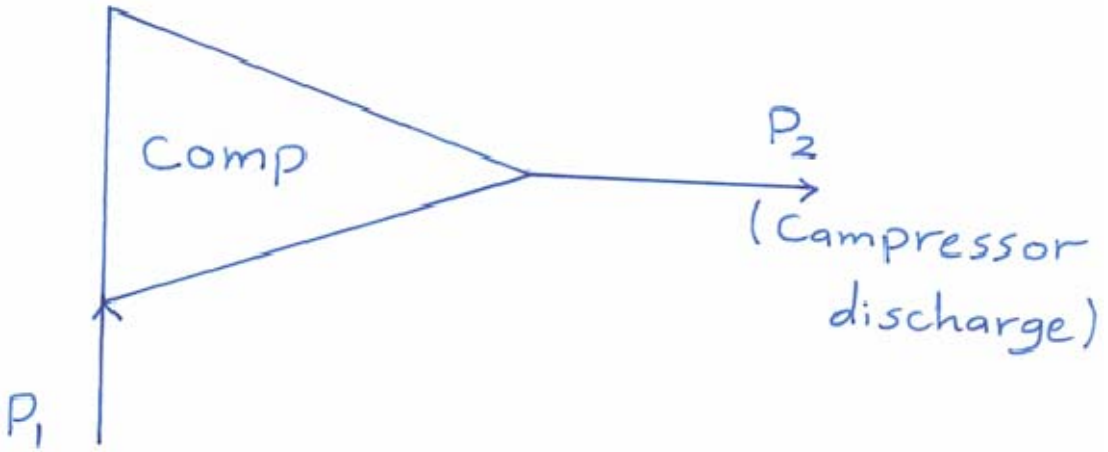
كفاءة الضاغط = القدرة المثالية اللازمة لضغط الهواء بدون احتكاك / القدرة الحقيقية المستهلكة في ضغط الهواء

هذا وتصل كفاية الضاغط المحوري المستعمل في التوربينات الغازية حوالي 90٪.

نسبة الانضغاط (Pressure ratio):

تعرف نسبة الانضغاط بأنها نسبة ضغط الهواء (P2) الخارج من الضاغط (Compressor discharge) إلى ضغط الهواء (p1) الداخل إلى الضاغط (Inlet air).

الشكل التالي يوضح هذا التعريف:



لنسبة الانضغاط تأثير مهم على أداء التوربينات الغازية كما سنلاحظ فيما بعد وتستخدم للمقارنة بين التوربينات الغازية؛ حيث تزداد قدرة التربين كلما زادت نسبة الانضغاط عن حد معين يتطلب زيادة عدد مراحل الضاغط مما يؤدي إلى حالات عدم اتزان ميكانيكي وقد تصل القيمة إلى 12:1

عند زيادة نسبة الانضغاط عن هذا الحد يجب استعمال ضاغطين حيث تكون نسبة الانضغاط الكلية لهما:

نسبة الانضغاط الكلية = نسبة الانضغاط للأول × نسبة الانضغاط للثاني.

ظاهرة انهيار الضاغط (Compressor failure):

ظاهرة انهيار الضاغط من الظواهر الخطيرة التي تؤثر على الضاغط وجميع الأجزاء التي تليه

(غرفة الاحتراق، التربين) إذ لم يتم اتخاذ الإجراء المناسب لإيقاف التربين مباشرة في حال اكتشاف حدوث هذه الظاهرة.

الأمور الدالة على حدوث انصهار الضاغط:

أ- زيادة غير عادية في درجة الحرارة القصوى عند مدخل التربين (Firing temperature) تعمل على تلف الريش إذا استمرت لفترة طويلة.

ب- نقص مفاجئ وشديد في ضغط الهواء يؤدي إلى سريان عكسي للغازات.

ج- زيادة الاهتزازات المتولدة في التربين نتيجة لعدم انتظار سريان الهواء داخل الضاغط قد تؤدي إلى تلف الضاغط.

د- خروج لهب ودخان غير عادي.

ه- تغيير الصوت المنبعث من التربين ناتجة عن الاهتزازات المتولدة وعدم انتظار سريان الهواء.

الأسباب التي تؤدي إلى ظاهرة انهيار الضاغط:

1- زيادة مفاجئة غير عادية في الحمل الذي يغذيه التربين.

2- نقص في معدل سريان الهواء خلال الضاغط بسبب انسداد فتحات المرشحات أو بسبب وجود أجسام غريبة عند مدخل الهواء.

3- نقصان في ضغط الهواء أمام الضاغط بسبب زيادة كمية الوقود المحقونة ناتج عن خلل في منظم الوقود أو تلف في مخرج العادم أو غرفة الاحتراق أو التربين.

4- زيادة الضغط خلف الضاغط بسبب زيادة كمية الوقود المحقونة ناتج عن خلل في منظم الوقود أو تلف في مخرج العادم أو غرفة الاحتراق أو التربين.

5- زيادة غير عادية في سرعة الضاغط ناتج عن خلل في منظم الوقود.

6- ترسب الشوائب على ريش الضاغط لذلك يجب أن يتم تنظيف الضاغط بين كل فترة وأخرى حسب تعليمات الصيانة.

ملاحظة :

ظاهرة انهيار الضاغط نادرة الحدوث في التوربينات الغازية المستعملة في توليد الطاقة الكهربائية وأكثر المراحل الممكن أن يتعرض فيها الضاغط لظاهرة الانهيار هي مرحلة بدء الدوران.

ولتجنب حدوث هذه الظاهرة عند بداية التشغيل يتم نزف نسبة من هواء الضاغط بواسطة صمامات خاصة ويتم هذا النزف من المراحل المتوسطة أو الأخيرة للضاغط حيث تغلق صمامات النزف عندما تزداد سرعة التربين إلى 75٪ من السرعة القصوى للتربين.

الأمور الواجب توفرها في الضاغط :

يجب أن تتوفر في الضاغط المتطلبات التالية لكي يؤدي وظيفته على أكمل وجه :

1- كفاءة عالية عند التحميل حيث تعرف كفاءة الضاغط بأنها النسبة بين القدرة المستعملة في عملية الانضغاط إلى النسبة المنقولة إليه من التربين.
2- أن ألا يعمل الضاغط قريباً من الانهيار حيث إن قابلية الضاغط للانهيار تزداد مع كثرة التشغيل وتراكم الأوساخ.
3- أن يحقق الضاغط نسبة الانضغاط المطلوبة حيث إن نقصان الضغط الخارج من التربين.
3- أن يكون الضاغط مقاوماً لظاهرة الانهيار فلا يحدث تلف كامل له بمجرد بدء هذه الظاهرة وتلف الأجزاء التي تليه.

تنظيف الضاغط (Compressor cleaning) :

أثناء عمل الضاغط تحدث بعض الترسبات على ريش الضاغط حيث تؤدي هذه الترسبات إلى ما يلي:

- تقليل كمية الهواء المتدفقة (Air flow).
- تقليل كفاءة الضاغط (Efficiency).
- تقليل نسبة الانضغاط (Pressure ratio).
- زيادة التآكل في ريش الضاغط.

لذلك فإن عملية غسيل الضاغط تهدف إلى إزالة هذه الأوساخ والترسبات من على ريش الضاغط مما يعمل على تحسين الأداء وإطالة العمر التشغيلي للضاغط وتقليل عمليات الصيانة اللازمة.

ويمكن ملاحظة مدى تراكم الأوساخ وحاجة الضاغط لأعمال الغسيل بطريقتين هما:

أ- بالنظر إلى أجزاء الضاغط بعد توقف الوحدة حيث تتم الريش وملاحظة مدى ترسب الأوساخ ونوعها لتحديد نوع الغسيل اللازم.

ب- ملاحظة أداء التربين عند تشغيله بالحمل الأساس ومقارنة ذلك بأداء الوحدة عندما يكون الضاغط نظيفاً وأهم البيانات التي يتم تسجيلها هي قدرة الخرج، ودرجة حرارة العادم، ودرجة حرارة الهواء الداخل،والضغط الجوي،ونسبة الانضغاط الخ.

المواد المستعملة في غسيل الضاغط:

1- **المواد السائلة** (Liquid compound):

يستعمل الماء لسائل تنظيف (Detergent) ويجب أن يتصف الماء المستعمل في عملية الغسيل بمواصفات خاصة من حيث نسبة الحموضة (PH) حيث يجب ألا تتعدى هذه النسبة (6.5 – 7.5) كما يجب ملاحظة محتوى ماء الغسيل من أيونات المعادن التي قد تسبب تآكل في ريش الضاغط.

2- **استعمال المواد الصلبة** (Solid compound):

وتستعمل المواد الصلبة العضوية (Organic) أو المواد الصلبة الخاملة (Inert) ذات مواصفات خاصة من حيث حجم الحبيبات وصلابتها حتى لا تسبب الخدوش في ريش التربين.

طرق غسيل الضاغط:

تستعمل الطرق التالية لغسيل الضاغط:

1- الغسيل أثناء التوقف (Off –line wash).

2- الغسيل أثناء التشغيل (On - line wash).

2- 4 نظام الاحتراق (Combustion system):

مقدمة :

الهدف الأساسي لنظام الاحتراق هو تزويد دورة الهواء بالطاقة الحرارية اللازمة حيث يتم ذلك بواسطة حرق الوقود بعد خلطة الهواء القادم من الضاغط، ينتج عن عملية الاحتراق غازات ذات درجة حرارة مرتفعة جداً تصل إلى (200oC) حيث يتم تبريدها باستعمال الهواء المضغوط القادم من الضاغط للحصول على درجة الاشتعال المناسبة والتي تصل إلى (1200°C).

حيث إن عملية الاحتراق هي عملية كيميائية يتم التفاعل بين الوقود والأكسجين الموجود بالهواء ينتج عن هذا التفاعل طاقة حرارية ونواتج احتراق أخرى لذلك يشترط للحصول على نظام الاحتراق الجيد ما يلي:

1- توفير نسبة محددة من الوقود والهواء (والأكسجين) وهذه النسبة عامل مهم جداً في عملية الاحتراق حيث يوجد هناك قيم حدية لأعلى وأقل نسبة لتحقيق عملية احتراق مستمر ويتم تحقيق هذا الشرط في التوربينات الغازية كما يلي:

أ- يؤخذ من الهواء المضغوط القادم من الضاغط ويخلط بالوقود.

ب- يعمل منظم الوقود على تحديد الكمية المناسبة من الوقود كي تكون نسبة الوقود إلى الهواء ضمن القيم الحدية السابقة الذكر.

2- توفير وسيلة خلط جيدة بين الهواء والوقود ويمكن تحقيق هذا الشرط في التوربينات الغازية كما يلي:

أ- تذرية الوقود إلى ذرات صغيرة ودقيقة وذلك بضغط الوقود من خلال فتحات ذات فونية

(Nozzles) / دقيقة.

ب- تهدئة سرعة الهواء الداخل إلى غرف الاحتراق وخلق دوامات في هذا الهواء لتحقيق امتزاج كامل بين الهواء والوقود.

3- توفير وسيلة بدء الإشعال ويتحقق ذلك بواسطة شرارة قوية عند بداية التشغيل بواسطة المشعل.

أنواع غرف الاحتراق:

يسمى المكان الذي تتم فيه عملية حرق الوقود وخلطه بالهواء بغرفة الاحتراق (Combustion chamber) **ويوجد نوعان من غرف الاحتراق**:

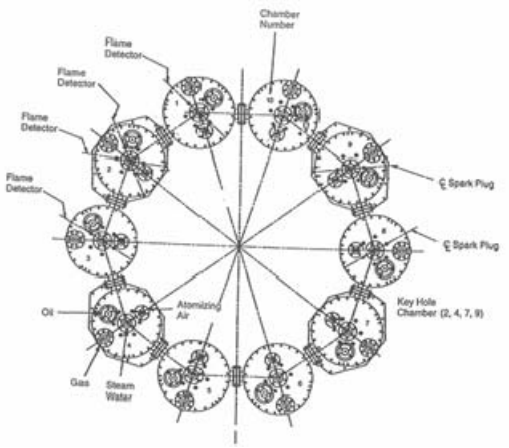
1- النوع المتعدد:

حيث يتم الاحتراق في غرف احتراق متعددة ومتشابهة تنتشر على زوايا متساوية حول التربين ويتم توزيع الهواء القادم من الضاغط بالتساوي بينهما كما يوجد لكل غرفة فوهة وقود (Nozzle) خاصة بها.

يمتاز هذا النوع من غرف الاحتراق بسهولة الصيانة حيث يمكن فحص كل غرفة على حدة ويمتاز أيضاً بانتظام توزيع حرارة الغازات الخارجة منه إلا أن عيب هذا النوع من غرف الاحتراق يكمن في زيادة الفقد في الضغط.

هذا النوع من غرف الاحتراق مستعمل في التوربينات نوع GE حيث يوجد عشر غرف احتراق موزعة حول التربين.

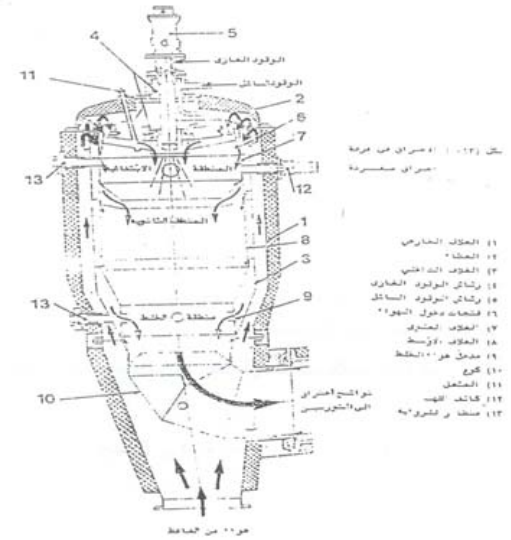
الشكل التالي يبين نظام غرف احتراق متعددة:



2- النوع المنفرد:

حيث يتم الاحتراق داخل غرفة احتراق كبيرة مفردة حيث يمتاز هذا النوع بقلة الفقد في الضغط مقارنة مع النوع السابق إلا أنه يعيبه كبر الحجم مما يؤدي إلى صعوبة عمليات التفتيش والصيانة.

يستعمل هذا النوع من غرف الاحتراق في توربينات ABB



الشكل التالي يبين غرفة احتراق مفردة:

كيفية حدوث عملية الاحتراق:

يقوم المنظم بتحديد كمية الوقود المحقونة إلى غرفة الاحتراق حسب الحمل حيث تزداد كمية الوقود بزيادة الحمل ويؤخذ جزء من هواء الضاغط يقدر بحوالي 30٪ ويخلط بالوقود لتحقيق النسبة المطلوبة بين الهواء

والوقود ويتم تذرية الوقود وخلق دوامات للحصول على المزج الجيد بين الهواء والوقود كما سبق وعرفنا.

عند بدء التشغيل يتم إشعال الخليط بواسطة المشعل الكهربائي الذي يتوقف عمله بعد ذلك. عند حدوث الإشعال يدخل الهواء من فتحات خاصة لضمان استقرار واستمرار اللهب.

الجزء المتبقي من الهواء المضغوط القادم من الضاغط يستعمل لأغراض تبريد نواتج الاحتراق إلى قيم مقبولة قبل دخولها إلى التربين.

كفاءة الاحتراق:

تعرف كفاءة الاحتراق بأنها النسبة بين الطاقة الفعلية الناتجة عن عملية الاحتراق إلى الطاقة النظرية المفروض الحصول عليها عند حرق الوقود كاملاً.

الشروط الواجب توافرها في نظم الاحتراق:

يجب أن تتوفر في غرف الاحتراق المتطلبات الأساسية التالية:

1- تحقيق احتراق كامل للوقود وبكفاءة عالية عند بداية التشغيل وعند التحميل بالحمل الكامل.
2- أقل فقد ممكن في الضغط أي أن يكون الفرق في الضغط بين الغازات الخارجة وضغط الهواء الداخل أقل ما يمكن.
3- ضمان خليط جيد للهواء والوقود وذلك لتلافي تكون النقط الساخنة التي تقلل من عمر التربين.
4- عدم تكوين مركبات كربونية تترسب على ريش التربين.
5- عدم تكوين غازات ضارة مثل ثاني أكسيد الكربون في نواتج الاحتراق.
6- أن يعمل المشعل بكفاءة عالية في بداية الاحتراق.

2-5 التوربين (The turbine):

في هذا الجزء من وحدة التوليد الغازية تتحول الطاقة الحرارية لنواتج الاحتراق ذات الضغط العالي والحرارة العالية تتحول إلى طاقة ميكانيكية تستعمل لإدارة المولد والضاغط وجميع الملحقات الأخرى.

طريقة عمل التوربين:

كما هو معروف فإن الغازات الخارجة من غرف الاحتراق تمتلك طاقة حرارية عالية ويتم الاستفادة من هذه الطاقة بجعل هذه الغازات تتسارع أي تزداد سرعتها خلال ريش التوربين حيث تدفعها إلى الدوران وبذلك تتحول الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية مولدة القدرة المطلوبة للمولد والضاغط والتوابع الأخرى.

نتيجة لعملية التمدد للغازات داخل التوربين تنخفض الطاقة الموجود فيها وتقل درجة حرارتها وضغطها عند خروجها من التوربين **وتعتمد قدرة التوربين على عاملين رئيسين هما:**

1- معدل سريان الغازات (Mass flow rate) خلال التوربين حيث تزداد قدرة التوربين بزيادة معدل سريان الغازات.

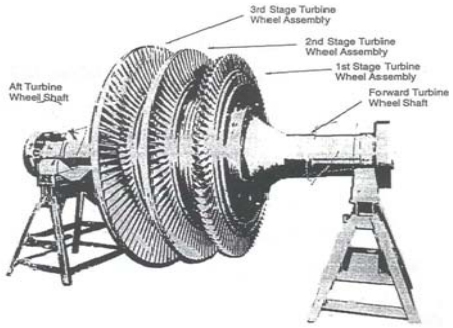
2- الفرق في درجة حرارة الغازات الداخلة (قبل التمدد) للتوربين والخارجة (بعد التمدد).

تركيب التربين Turbine construction:

يتكون التربين الغازي من ثلاث مراحل كل مرحلة عبارة تتكون من جزء ثابت وهو عبارة عن عدد من الريش (Nozzles) تعمل على توجيه الغازات الخارجة من غرف الاحتراق إلى الجزء الدائر والذي يكون عبارة عن مجموعة من الريش ذات الشكل الايروديناميكي المناسب وبذلك تتحول الطاقة الحرارية للغازات إلى طاقة ميكانيكية على عمود الدوران حيث يقوم بتدوير المولد والضاغط وجميع التوابع الأخرى.

أ- **الجزء الدوار** (Turbine rotor):

الشكل التالي يبين الجزء الدائر من ا التربين:



نلاحظ من الشكل السابق أن الجزء الدائر يتكون من ثلاث مراحل من الريش (Blades) مصنوعة من سبائك خاصة تتحمل درجات الحرارة، وللحصول على التمدد المطلوب للغازات الخارجة من غرفة الاحتراق فإن طول الريش يزداد تدريجياً كلما انتقلنا من المرحلة الأولى إلى المرحلة الثانية ثم الثالثة، ويحمل هذا الريش محور الدوران (Turbine whell shaft) والذي يصل بين التربين والضاغط من جهة وبين التربين والمولد (الحمل) من الجهة الأخرى.

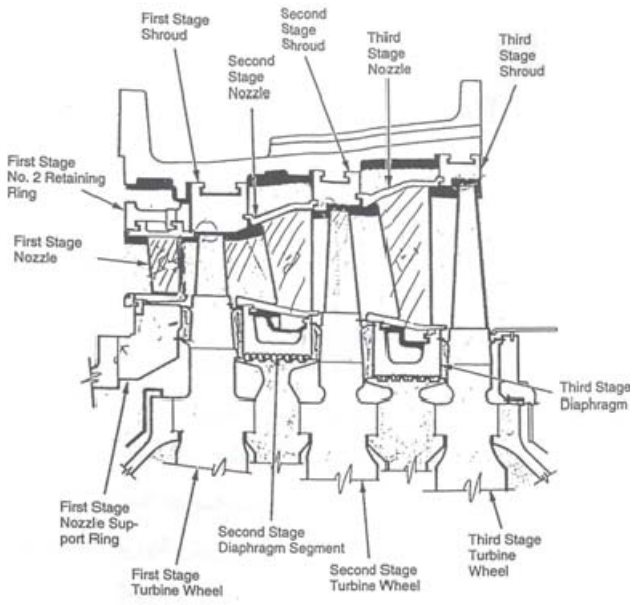
نظراً لتعرض العضو الدائر للغازات الساخنة يتم تبريد الأجزاء المختلفة منه بواسطة جزء من الغازات القادمة من الضاغط وذلك للمحافظة على درجات الحرارة للأجزاء المختلفة ضمن الحدود المسموح بها مما يعطي عمر تشغيل أطول للتربين.

ب- الجزء الثابت (Turbine stator):

يتكون الجزء الثابت للتربين من ثلاث مراحل من الريش الثابتة (stationary blades) تعمل على توجيه الغازات الناتجة عن الاحتراق ذات الضغط العالي والحرارة المرتفعة باتجاه ريش العضو الدائر مما يعمل على دوران العضو الدائر.

لاحظ أن الريش الثابتة (النفاثات) تكون معرضة لدرجات الحرارة المرتفعة والضغط العالي.

الشكل التالي يبين جزءاً من العضو الثابت للتربين.



توجد مسافة حرجة بين الريش للتربين حيث إن نقصان هذه المسافة أقل من اللازم تسبب ارتفاع ضغط الهواء الخارج من التربين وتسبب نقص معدل سريان الهواء خلال الضاغط كذلك فإن صغر هذه المسافة يؤدي إلى بطء وصول التربين إلى السرعة القصوى ويكون ذلك على حساب نقص القدرة المتولدة من التربين.

درجة حرارة الاشتعال (Firing temperature):

تعرف درجة حرارة الغازات الداخلة إلى التبريد بدرجة الإشعال (Firing temperature) ولهذه الدرجة أهمية كبيرة في تحديد أداء التربين الغازي ونوعية السبائك التي تصنع منها ريش التربين.

تبريد التربين (Turbine cooling):

كما لاحظنا فإن التربين بأجزائه المختلفة يتعرض لكثير من الاجتهادات الميكانيكية والحرارية حيث يتعرض الجزء الثابت إلى درجات الحرارة المرتفعة أما الجزء الدائر فإنه بالإضافة إلى الحرارة العالية يتعرض إلى اجتهادات ميكانيكية بسبب السرعة العالية.

يستخدم جزء من الهواء المضغوط لتبريد ريش التوربين حيث تكون هذه الريش مجوفة لتمرير هواء التبريد بداخلها، هذا ويعتبر هواء التبريد من المفاقيد المحسوبة في التربين الغازي لذلك لابد من حساب ذلك بدقة.

كفاءة التربين (Turbine efficiency):

نتيجة لاحتكاك وتسرب الغازات من خلوصات التربين فإنه يوجد هناك قدرة مفقودة في التربين الغازي وتعرف كفاءة التربين كما يلي:

نسبة القدرة الحقيقية التي يعطيها التربين إلى القدرة المفروض أن يعطيها التربين بدون المفاقيد السابقة الذكر، وتصل كفاءة التربين الغازي إلى حوالي 90٪.

المتطلبات الواجب توافرها في التربين:

1- توليد القدرة الكافية لتدوير المولد والضاغط والأجزاء المساعدة الأخرى.
2- كفاءة عالية عند الأحمال المختلفة وتكون أعلى كفاءة للتربين عادة عند أقصى حمل.
3- أن تصنع ريش التربين من سبائك من مواد مقاومة للاجتهادات الميكانيكية والحرارية العالية.
4- أن تكون ريش التربين مقاومة للتآكل الذي تتعرض له بسبب تراكم بعض نواتج الاحتراق.
5- أن يكون برنامج العمرات والصيانة مناسباً.
6- أن يكون نظام التبريد المستخدم مناسب ولا يسبب فقد كبير في قدرة التربين.

مخرج العادم (Exhust system) :

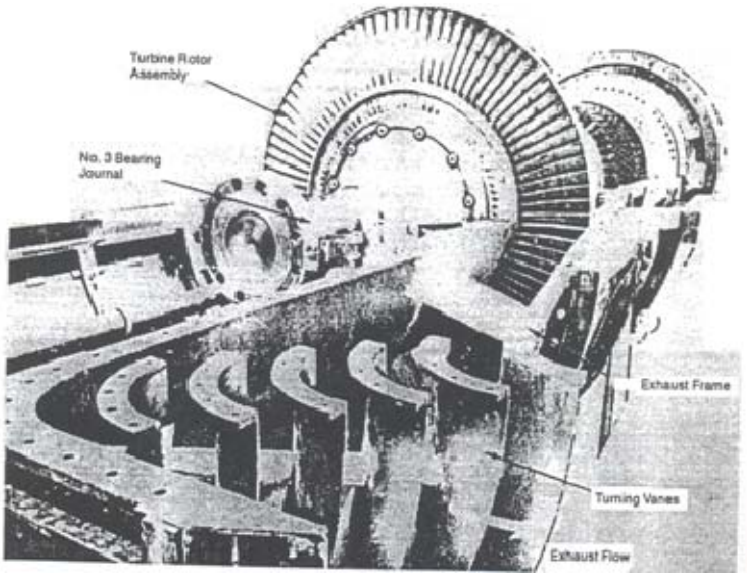
مخرج العادم في التوربين الغازي عبارة عن جميع الأجزاء المستعملة لتوجيه الغازات إلى الهواء الخارجي أو إلى مبدل حراري للاستفادة من حرارة الغازات لتسخين الماء وتشغيل وحدة توليد بخارية ومن مهام مخرج العادم أيضاً كتم الأصوات الناتجة عن اندفاع الغازات لتسخين الماء وتشغيل وحدة توليد بخارية. ومن مخرج مهام العادم أيضاً كتم الأصوات الناتجة عن اندفاع الغازات بواسطة كاتمات الصوت (شكمانات).

كيفية عمل نظام العادم :

عندما تخرج الغازات من التوربين تكوّن بضغط منخفض أكبر قليلاً من الضغط الجوي ودرجة حرارة عالية وسرعة مرتفعة، لذا فإن من مهام نظام العادم هو العمل على تقليل سرعة هذه الغازات وذلك بعمل انتشار لها خلف التوربين بواسطة مخروط العادم ويعمل هذا المخروط أيضاً على منع انتشار الغازات على السطح الخلفي لقرص المرحلة الأخيرة من التوربين.

يلاحظ أن الغازات تكون دوامات أثناء خروجها من مخرج العادم لذلك فإن من مهام نظام العادم هو التخلص من هذه الدوامات أيضاً، إن الهدف من تقليل سرعة الغازات والتخلص من الدوامات هو تقليل الضوضاء التي تحدث بسبب اندفاع الغازات وخفض الفقد في الضغط حيث إن زيادة الفقد في الضغط يؤدي إلى نقصان قدرة التوربين كما هو معروف أن مساحة مقطع مخرج العادم يؤثر بشكل كبير على أداء التربين الغازي ويتم حساب مساحة مقطع مخرج العادم بحيث تعمل على التوازن بين درجة الحرارة والضغط والقدرة، حيث أن مساحة المقطع الصغيرة تسبب ارتفاع في الضغط ودرجة الحرارة خلف التربين مما يزيد من إمكانية انهيار الضاغط، ومن جهة أخرى إذا كانت مساحة مقطع مخرج العادم كبيرة فإنها تؤدي إلى نقصان في الضغط ودرجة الحرارة خلف التربين ولكن على حساب النقصان في قدرة التربين.

الشكل التالي يبين نظام مخرج العادم للتربين الغازي.



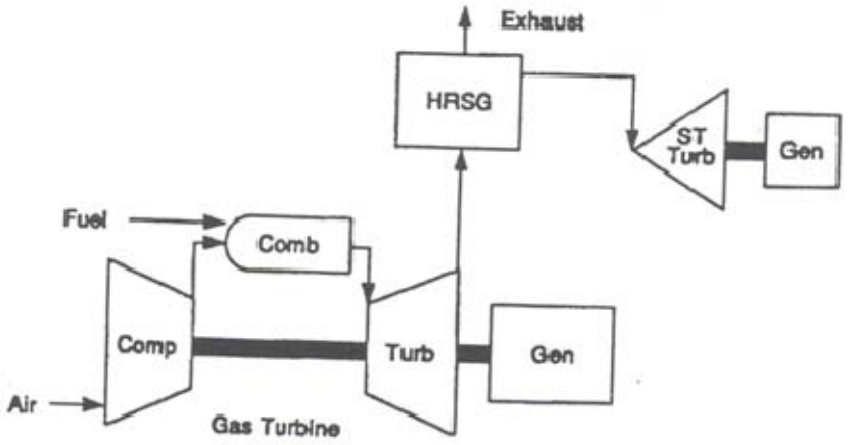
استعمال المبدل الحراري:

يمكن الاستفادة من درجة الحرارة العالية للغازات الخارجة من التربين والتي تصل إلى 600Co وذلك بإحدى الطرق التالية:

1- تسخين الهواء المضغوط بعد خروجه من الضاغط وقبل دخوله إلى غرفة الاحتراق مما يؤدي إلى رفع الكفاءة الحرارية للتربين.

2- تسخين الماء وتحويله إلى بخار ومن ثم تشغيل وحدة توليدية بخارية وهو ما يعرف بالدورة المركبة (Combined cycle) . في هذا النظام تقوم عدد من وحدات التوليد الغازية بتشغيل وحدة توليد بخارية.

المخطط التالي يبين الأجزاء الرئيسية لدورة التوليد المركبة:



Combined cycle

المتطلبات الواجب توافرها في مخرج العادم:

يجب أن تتوفر في مخرج العادم الشروط التالية وذلك طبقاً لطبيعة غازات العادم والوظيفة المطلوبة من هذا المخرج.

1- أن ينتج عنه أقل فقد ممكن في ضغط غازات العادم حيث يؤدي هذا الفقد إلى نقص في القدرة كما هو معروف.
2- أن يبطن مخرج العادم من الداخل بعازل حراري لضمان عدم إصابة العاملين.
3- أن يصنع مخرج العادم من سبائك مقاومة لدرجات الحرارة العالية.
4- أن يصنع من سبائك مقاومة للتآكل الكيميائي بسبب تراكم نواتج الاحتراق.
5- أن يعمل على تقليل سرعة الغازات والتخلص من الدوامات الموجودة بكفاءة عالية.
6- أن يزود بكاتم للصوت لتقليل الضوضاء الناتجة عن خروج الغازات.

2- 6 أداء التوربينات الغازية (Gas turbine performance):

يمكن الحكم على أداء التوربينات الغازية من خلال عدة كميات خصائصية حيث نستطيع من خلال هذه الكميات أيضاً مقارنة التوربينات الغازية مع بعضها وأهم الكميات ما يلي:

1- الاستهلاك النوعي للوقود (Specific fuel consumption):

ويعرف الاستهلاك النوعي للوقود بأنه كمية الوقود المستهلكة لتوليد وحدة الطاقة، ويقاس بوحدة لتر / كيلو واط ساعة، فمثلاً إذا كان الاستهلاك النوعي للوقود لتربين معين 0.5 L/K WH فهذا يعني أن التوربين يستهلك نصف لتر من الوقود في الساعة لإنتاج كيلو واط واحد من الطاقة الكهربائية.

وللاستهلاك النوعي للوقود أهمية في مقارنة التوربينات الغازية حيث أن التوربين ذا الاستهلاك النوعي الأقل يكون الأفضل بسبب تقليل تكاليف إنتاج الطاقة.

2- الكفاية الحرارية (Thermal efficiency):

وتعرف الكفاية الحرارية بأنها النسبة بين القدرة الحرارية المستفادة إلى القدرة الحرارية الداخلة إلى التوربين والتي هي عبارة عن كمية الوقود المستهلكة مضروبة في القيمة الحرارية للوقود، وتصل الكفاية الحرارية في التوربينات الغازية (الدورة البسيطة) إلى 30٪ بينما تصل في الدورة المركبة (Combined cycle) إلى 50٪، ويعتبر أداء التربين أفضل كلما ارتفعت قيمة الكفاية الحرارية له.

3- القدرة النوعية (Specific power):

وتعرف القدرة النوعية للتربين بأنها النسبة بين القدرة الكهربائية المتولدة إلى حجم الهواء الداخل إلى التربين وهي مقياس لحجم التربين فكلما كانت القدرة النوعية أكبر فذلك يعني أن معدل استهلاك الهواء لإنتاج وحدة الطاقة يكون أقل أي أن حجم التربين يكون أقل ويكون التربين أفضل أي أن:

القدرة النوعية = القدرة المنتجة بوحدة Kw

معدل استهلاك الهواء بوحدة M3 /hr

بعد أن تعرفنا على الكميات الخصائصية للتوربينات الغازية سوف نتعرف فيما يلي على أهم العوامل التي تؤثر على أداء هذه التوربينات.

العوامل التي تؤثر على أداء التوربينات الغازية إلى قسمين رئيسين هما :

يمكن تقسيم العوامل التي تؤثر على أداء التوربينات الغازية إلى قسمين رئيسين هما :

أولاً- العوامل الجوية المحيطة :

بما أن التربين الغازي يستعمل الهواء الجوي المحيط أثناء التشغيل لذلك فإن أداء هذا التربين يعتمد بصورة كبيرة على العوامل الجوية المحيطة وهذه العوامل هي:

- درجة حرارة الهواء (Air temperature).
- الارتفاع عن سطح البحر (Site elevation).
- نسبة الرطوبة (Humidity).

ونظراً لاختلاف هذه الظروف من موقع لآخر ومن وقت لآخر فإن أداء التوربينات الغازية وبهدف المقارنة بينها عادة ما يعطي عند ظروف جوية معيارية تسمى (International Standard Operation) وتعرف باختصار ب (ISO) وهي كما يلي:

- ❖ درجة الحرارة (59F) 15C.
- ❖ الضغط الجوي 1.013bar.
- ❖ نسبة الرطوبة 60%.

تأثير نوع الوقود على أداء التربين الغازي :

إن نوع الوقود يؤثر على قدرة التربين حيث أن الحرارة النوعية تختلف من نوع لآخر وقد لوحظ أن استعمال الغاز الطبيعي (natural gas) كوقود يزيد من قدرة التربين بمقدار 2٪ عن استعمال الديزل كوقود وذلك بسبب زيادة المحتوى الحراري للغاز الطبيعي عنه للديزل.

ويلاحظ عند استعمال الغازات الأخرى كوقود أن قدرة التربين تزداد بنقصان المحتوى الحراري للوقود وذلك بسبب زيادة كمية الغازات المتدفقة خلال التربين مما يؤدي إلى رفع القدرة.

من ناحية أخرى فإن استعمال الوقود الغازي ذا المحتوى الحراري المنخفض له بعض الآثار الجانبية السلبية نذكر منها ما يلي:

- استعمال حجم كبير من الغازات يتطلب استعمال أنابيب كبيرة مما يزيد في التكاليف.
- كلما انخفضت القيمة الحرارية للوقود كلما زادت كمية الهواء اللازم للاحتراق.
- زيادة القدرة المتولدة مما يتطلب مولد أكبر ومساعدات أكبر.
- زيادة كمية الغاز المتدفق يرفع من نسبة الانضغاط للضاغط مما يؤثر على القيم الحدية (Surge limit).

تحسين أداء التوربينات الغازية:

بعد أن تعرفنا على العوامل التي تؤثر على أداء التوربينات الغازية وكما لاحظنا فإن عمليات التحكم في هذه العوامل غير ممكن حيث أن معظم هذه العوامل يتحدد بناء على موقع المحطة (Site location) ونوع الدورة الغازية فيما إذا كانت بسيطة أو مركبة وفي بعض الحالات يتطلب الأمر زيادة قدرة التربين ويمكن تحقيق هذه الزيادة بطرق سوف نذكر منها ما يلي:

1- تبريد الهواء الداخل إلى التوربين:

كما لاحظنا فيما سبق فإن انخفاض درجة حرارة الهواء المحيط يعمل على زيادة قدرة التوربين، لذلك وبهدف زيادة القدرة المتولدة يتم تركيب وحدات تبريد لتبريد الداخل إلى مرشحات الهواء ولكن يجب أن يتم تخليص الهواء من الرطوبة قبل دخوله إلى الضاغط.

2- التنظيف الدوري للأجزاء المختلفة للتربين من الداخل:

تحتاج ريش الضاغط إلى التنظيف المستمر لتحسين أداء الضاغط كما تحتاج ريش التربين أيضاً للتنظيف المستمر بسبب تراكم مخلفات الاحتراق على هذه الريش مما يؤثر على معدل تدفق الغازات وبالتالي تقليل قدرة التربين.

وقد لوحظ الزيادة الملموسة لقدرة وحدة التوليد بعد عمليات التنظيف.

2- 7 بدء تشغيل وحدة التوليد الغازية :

يجب اتباع الخطوات التالية عندما يراد بدء تشغيل وحدة التوليد الغازي:

أولاً- إجراءات الفحص قبل التشغيل (Pre start check) وتشمل ما يلي :

أ- التأكد من أن صمامات الوقود والزيت في الوضع الصحيح.

ب- التأكد من أن صمامات الهواء وسائل التبريد في الوضع الصحيح.

ج- التأكد من عدم وجود تهريبات.

د- ملاحظة الأصوات غير العادية الصادرة من المضخات أو من ضواغط الهواء.

ه- التأكد من عدم وجود فرق كبير في الضغط بين جانبي فلاتر الزيت.

و- التأكد من وجود كل ضاغط الهواء والزيت وسائل التبريد والوقود ضمن المدى المسموح به.

ز- التأكد من عدم وجود أعطال في لوحات الإنذار الخاصة بالوحدة توابعها.

ثانياً : وضع الاختيارات المناسبة لتشغيل الوحدة وتشمل ما يلي :

أ- تحديد نوع الوقود الذي ستعمل به الوحدة مع ملاحظة أن الوحدة تبدأ التشغيل بالديزل كوقود ثم يتم التحويل بعدها آلياً إلى الكرود (crude) .

ب- إذا تم اختيار الديزل كوقود فإنه فلن يحدث التحول إلى الكرود ويستمر التشغيل بالديزل.

ج- اختيار نظام التوافق ونوع التحكم في الجهد (آلياً ، يدوي).

د- اختيار نظام التحكم عن طريق السرعة أو عن طريق درجة الحرارة.

ه- اختيار نظام التحكم محلياً أم عن بعد (remote).

و- اختيار نوع التحكم المطلوب للوحدة (حمل القاعدة، الحمل الأقصى ، حمل اختياري).

ثالثاً : بدء تشغيل الوحدة ومتابعة مراحل التشغيل إلى أن يتم التحميل بالحمل المقرر .

رابعاً : الاستمرار في مراقبة الوحدة وأخذ بيانات التشغيل بالنظر أو من الحاسب الآلي باستمرار وملاحظة أي تغير عن القيم القياسية.

2- 7- 1 مراحل بدء تشغيل وحدة التوليد الغازية :

تختلف مراحل بدء التشغيل لوحدات التوليد الغازية حيث تعتمد هذه المراحل على تصميم الوحدة ونوعها وعلى أنظمة الحماية المتبعة وسوف نتناول فيما يلي مراحل بدء التشغيل لوحدة التوليد الغازية نوع EA 7001 وهذا المراحل كما يلي:

1- بدء تشغيل المساعدات (مضخات الزيت، مضخات الهيدروليك) وتسخين الديزل وتستغرق هذه المرحلة 15 ثانية.

2- تشغيل موتور بدء التشغيل والتسارع إلى 20 ٪ من السرعة الكاملة وتستغرق هذه المرحلة دقيقة واحدة.

3- مرحلة التشغيل بسرعة ثابتة عند 20 ٪ من السرعة الكاملة وتسمى مرحلة الكسح (Purge) وتستغرق دقيقتين.

4- مرحلة تخفيض السرعة (Coast down) من 20 ٪ إلى 10 ٪ من السرعة الكاملة وتستغرق هذه المرحلة 4 دقائق.

5- بدء الإشعال وانتقال اللهب ويتم ذلك عند 10٪ من السرعة الكاملة

6- التدفئة والتسارع البطيء حتى 20٪ من السرعة الكاملة بواسطة موتور بدء التشغيل ويبلغ زمن المرحلتين الخامسة والسادسة دقيقة واحدة.

7- التسارع بمعدل عالي (high rate acceleration) بواسطة الاحتراق وموتور بدء التشغيل حتى 60٪من السرعة الكاملة عندها يفصل موتور البدء آلياً ويستمر في الدوران بدون حمل ليبرد نفسه حتى السرعة الكاملة. عند 50 ٪ من السرعة الكاملة يوصل التيار للأقطاب (excitation) تستغرق هذه المرحلة 7 دقائق.

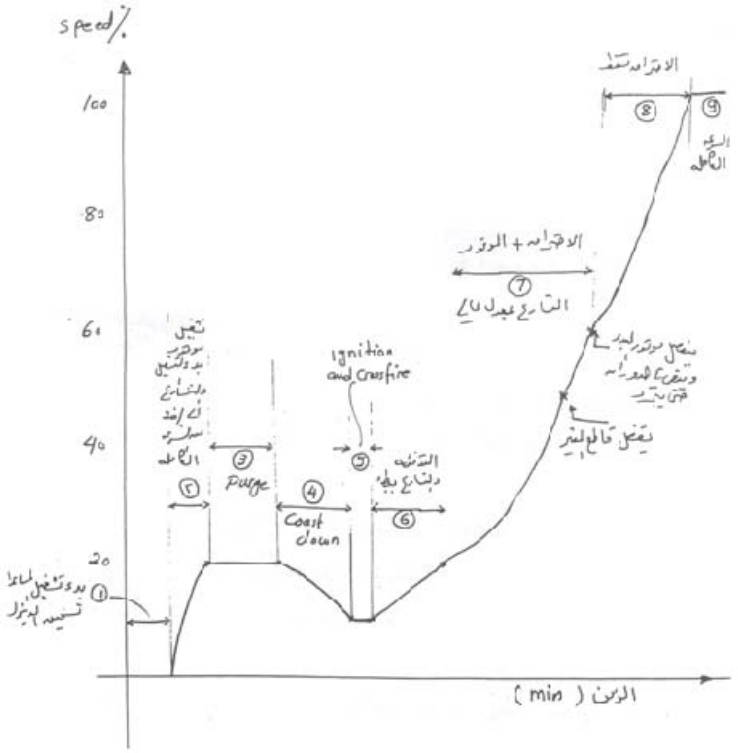
8- التسارع بواسطة الاحتراق فقط حتى تصل الوحدة إلى السرعة الكاملة ومدة هذه المرحلة 5 دقائق.

عندما تصل سرعة الوحدة إلى السرعة الكاملة (3600 r.p.m) يحدث ما يلي:

- ❖ يتوقف موتور بدء التشغيل عن الدوران.
- ❖ يبدأ نظام التحكم في السرعة / الوقود.
- ❖ تتوقف المساعدات.
- ❖ غلق صمامات النزف.
- ❖ فتح ريش الدخول بالكامل.
- ❖ تحمل الوحدة حسب الحمل المختار سابقاً.

مما سبق نلاحظ أن الزمن الكلي لبدء تشغيل الوحدة يبلغ 20 دقيقة و10 ثواني. هذا ويختلف هذا الزمن حسب نوع الوحدة وتصميمها. الشكل التالي يبين المراحل المختلفة في عملية بدء تشغيل وحدة التوليد الغازية السابقة الذكر ويسمى هذا المنحنى

Curve mark v start – up



2-7-2 التحكم في التوربينات الغازية :

تكون التوربينات الغازية مزودة بنظام للتحكم والمراقبة ويتكون من الحساسات ومغيرات الإشارة وعناصر للتحكم تهدف إلى مراقبة أداء الوحدة وإعطاء الإنذار بالخلل في حالة حدوثه وتركيب عناصر نظام التحكم والمراقبة على جميع أجزاء التوربينة الغازية بدءاً من نقطة دخول الهواء أمام الضاغط إلى منطقة خروج العادم.

وظائف نظام التحكم:

1- قياس درجات الحرارة.
2- كشف الاهتزازات.
3- كشف اللهب.
4- إنشاء الإشعال لبدء الحرق في غرف الاحتراق.
5- قياس السرعة.

أنواع الحساسات واللاقطات المستعملة في نظام التحكم :

1- حساسات الحرارة:

وهي عبارة عن مزدوجات حرارية تقوم بقياس ومراقبة دراجات الحرارة في الأجزاء المختلفة للتوربينة حيث تركب هذه المزدوجات لقياس درجة حرارة الهواء الداخل إلى الضاغط (Inlet air) كما تركب عند مخرج العادم لقياس درجة حرارة الغازات العادمة كما تركب أيضاً لقياس درجة الحرارة لغرف الاحتراق، وتستعمل هذه المزدوجات الحرارية أيضاً لتغذية أجهزة التحكم الخاصة في درجة الحرارة للغازات العادمة.

2- لاقطات الاهتزازات (Vibration sensors):

وتركب هذه الكاشفات على محامل العمود الدائر (Bearings) وتهدف إلى مراقبة الاهتزازات في كرسي المحامل وحماية الوحدة من الاهتزازات الزائدة.

3- لاقطات سرعة الدوران (Speed detection):

وتركب على محور الدوران للضاغط الرئيسي وتقوم هذه اللاقطات بقياس سرعة الدوران وتغذيتها لأجهزة التحكم في جميع أوضاع التشغيل للوحدة (بدء التشغيل، التحميل، الإيقاف).

4- كاشفات الإشعال في غرف الاحتراق:

وتعمل هذه الكاشفات على مبدأ كشف الأشعة فوق البنفسجية التي تنتج عن الاحتراق وتركب في بعض غرف الاحتراق وتهدف هذه الكاشفات إلى تغذية جهاز التحكم بما يفيد بتمام الإشعال في كل الغرف لحماية التوربينة من الانفجار بسبب تراكم الوقود وتأخر إشعاله أثناء بدء التشغيل العادي للوحدة لأي سبب.

5- نظام بدء الإشعال (Ignition):

ويستعمل هذا النظام لبدء الإشعال في غرف الاحتراق وهو عبارة عن محول رفع للجهد (7500 V) يغذي شمعة الإشعال (Speed spark plugs) والوظيفة الرئيسية لهذا النظام هي إنشاء الشرارة الكهربائية اللازم لبدء الإشعال ي التوربينة في مرحلة البدء وتبقى الشرارة مدة نصف دقيقة إلى دقيقة واحدة.

6- لاقطات الضغط (pressure detection):

حيث تقوم بمراقبة وقياس الضغط بين جانبي تركيبة الدخول أمام الضاغط وضغط الهواء الخارج منه والضغط الجوي وضغط الغازات الخارجة من فتحة العادم.

لوحات وشاشات التحكم في التوربينة:

يتبع وحدة التوليد الغازية لوحة تحكم رئيسة (Control panel) تحتوي على كل ما يلزم لتشغيل ومتابعة التربين أثناء التشغيل كما يحتوي على مفتاح إيقاف الطوارئ (Emergency stop).

يتم إعطاء أوامر التشغيل والإيقاف للوحدة ومراقبة أدائها عن طريق الكمبيوتر حيث يتم بواسطته اختيار نمط التشغيل للوحدة والتحكم بالأحمال واختيار نوع الوقود وطريقة التحكم بالوحدة الخ.

2- 7- 3 أوضاع التشغيل للتوربينة الغازية :

1- وضع الإطفاء (O ff mode) :

يتم اختيار هذا الوضع بعد توقف الوحدة وعندما لا يكون هناك حاجة إلى تشغيل الوحدة حيث يمنع هذا الوضع من التشغيل المفاجئ ويجب عدم اختيار هذا الوضع في حالة بدء التشغيل أو عندما تدور الوحدة بالسرعة الكاملة.

عندما يتم اختيار هذا الوضع سوف تظهر الرسالة إحدى الرسائل التالية:

(ONCOOLDOWN) OR (OFF COOL DOWN)

2- وضع الدوران بدون احتراق (Crank mode) :

يتم اختيار هذا الوضع عندما تدور الوحدة بواسطة وسائل بدء الحركة بدون حقن الوقود إلى غرف الاحتراق كما هو الحال عند تنظيف الضاغط أو عند التبريد القسري للوحدة.

تدخل الوحدة في الوضع (Crank) عندما تكون في وضع جاهزة للتشغيل (Ready to start) وعندما يتم إعطاء الأمر (Start) حيث تتحول الرسالة إلى (Cranking) بعدها تتسارع إلى السرعة الكاملة حسب مراحل التشغيل التي ذكرناها.

ولا يمكن اختيار هذا النمط من التشغيل عندما يبدأ حقن الوقود والاحتراق في غرف الاحتراق.

3- وضع الاحتراق (Fire mode) :

يتم اختيار هذا الوضع من التشغيل عندما نرغب في حقن وإشعال الوقود عند سرعات أقل من السرعة الكاملة ويستعمل هذا الوضع لتجفيف الوحدة بعد عملية الغسل إذا أريد عدم تشغيل الوحدة لمدة أكثر من 12 ساعة أو في عمليات اختبار بدء التشغيل أو في عمليات اختبار بدء التشغيل أو في عمليات تصحيح عدم الاستقامة (bowing) للعضو الدائر.

عند بدء تشغيل الوحدة وعند اختيار وضع الاحتراق سوف تظهر الرسالة التالية (Firing) وعند بدء الإشعال تتغير الرسالة إلى (Warming up) بعد ذلك تتسارع الوحدة إلى السرعة الكاملة بدون الحمل FSNL

4- وضع التشغيل الأوتوماتيكي (Auto):

وهذا هو وضع التشغيل الطبيعي الذي يتم اختياره لبدء تشغيل الوحدة حتى السرعة الكاملة. بعد اختيار هذا الوضع سوف تظهر الرسالة التالية (Ready to start) يعني أن الوحدة جاهزة للتشغيل بعد استيفاء جميع الشروط اللازمة وبعد بدء التشغيل (Start) سوف تظهر الرسائل التالية:

Starting

Firing
Warming up
Accelerating
Full speed no laod

عندما يتم اختيار هذا الوضع وعندما يكون المولد في وضع التزامن الأوتوماتيكي مع الشبكة فإن الوحدة تمر بأوضاع التشغيل المختلفة حتى تتزامن بصورة آلية مع الشبكة ويتم تحميل الوحدة 6mw مثلاً إذ لم يتم اختيار أمر تحميل أخر.

ملاحظة:

عندما تدور الوحدة بالسرعة الكاملة لا يمكن الانتقال إلى أي وضع تشغيل آخر من الأوضاع السابقة إلا إذا تم إيقاف الوحدة (Stop).

5- وضع التحكم عن بعد (cable remote):

اختيار هذا الوضع يسمح بعمليات التحكم في الوحدة عن بعد من مركز التحكم في محطة التوليد أو من مركز التحكم الرئيسي لنظام الطاقة وإذا لم يتم اختيار هذا الوضع فإنه يكون بالإمكان مراقبة أداء الوحدة عن طريق مركز التحكم بدون المقدرة على إعطاء أوامر تشغيل.

ملاحظة:

يمكن الانتقال من هذا الوضع إلى الوضع الأوتوماتيكي (Auto) وبالعكس في أي لحظة يمكن الانتقال أثناء التشغيل.

أوامر التحكم أثناء دورة التبريد :

تستعمل هذه الأوامر التالية أثناء عمليات تبريد الوحدة بعد إيقافها :

1- **الأمر** (Cool down on) :

يستعمل هذا الأمر أثناء تبريد الوحدة بعد إيقافها وذلك لمنع حدوث تقوس في العضو الدائر (Rotor bowing) في حالة بقائه ساكناً بعد توقف الوحدة، حيث ذلك يؤدي إلى زيادة تسخين الجزء العلوي من العضو الدائر أكثر من الجزء السفلي مما يعمل على تقوس العضو الدائر وهذا التقوس يسبب حدوث اهتزازات أثناء عملية بدء التشغيل أو ربما يمنع الوحدة من بدء التشغيل إذا كان التقوس كبيراً.

وعند استعمال أمر (Cool down) فإنه يتم تدوير العضو الدائر بمقدار 560 كل ثلاث دقائق حتى يتم التسخين المتساوي لجميع أجزاء العضو الدائر وبذلك نمنع حدوث التقوس به.

يجب بقاء الوحدة في هذا الوضع بعد الإطفاء لمدة لا تقل عن 12 ساعة ويفضل بقاء الوحدة في هذا الوضع بصورة مستمرة ما لم تكن مدة فصل الوحدة طويلة، كما يفضل وضع الوحدة في هذا الوضع قبل عملية التشغيل بعد توقف الوحدة لمدة زمنية طويلة أو بعد عمليات الصيانة.

2- **الأمر** (Cool down off) :

يستعمل هذا الأمر لإلغاء أمر التبريد السابق (Cool down on) وهناك بعض الموديلات لا تقبل هذا الأمر إلا بعد 12- 14 ساعة من التوقف (Shut down).

- **أوضاع بدء تشغيل التوربينة الغازية :**

هناك عدة أنماط لبدء تشغيل التوربينة الغازية وهي:

1- **الأمر ابدأ** (Start) :

يستعمل هذا الأمر لبدء تشغيل الوحدة في أي وضع من أوضاع التشغيل سابقة الذكر. وعند استعمال هذا الأمر وعندما تكون الوحدة في وضع (Auto) وعند اختيار التزامن

الآلي فإن الوحدة تبدأ بالتسارع من الصفر حتى يتم تحميل الوحدة 6mw مثلاً بصورة أوتوماتيكية دون الحاجة إلى أوامر بدء تشغيل أخرى.

إذا كان قاطع المولد مفصول لأي سبب من الأسباب فإنه يمكن إعادة إجراء عملية التزامن مع الشبكة باستعمال الأمر (Start) أيضاً.

2- **أمر البدء بالتحميل السريع** (Fast load start):

عند اختيار هذا الوضع فإن عملية بدء التشغيل تتم بصورة طبيعية كما في الحالة السابقة لكن عندما يقفل قاطع المولد فإن معدل زيادة الحمل يكون أعلى من الحالة السابقة بحوالي ثماني مرات.

لهذا الأمر تأثير سلبي على وضع التربين حيث تتعرض الوحدة خلال التحميل السريع إلى عمليات تسخين إضافية مما يتطلب تقليل الفترة الزمنية بين عمليات الصيانة.

ملاحظة:

إذا تم اختيار هذا الأمر أثناء بدء التشغيل بصورة خاطئة يمكن إلغاؤه باستعمال الأمر (Start).

3 **أمر البدء السريع والتحميل السريع (Fast start fast load)**:

عند اختيار هذا الأمر وعندما تكون الوحدة في الوضع (Auto) واختيار التزامن الآلي فإن الوحدة تبدأ التسارع من الصفر إلى السرعة الكاملة بفترة زمنية قصيرة وعندما يقفل القاطع فإن معدل زيادة الحمل تكون أعلى من الحالة الطبيعية بمقدار 8 مرات.

لهذا الأمر أيضاً تأثير سلبي على التربين حيث تتعرض الوحدة إلى تسخين زائد بسبب الحرارة الناتجة مما يزيد من حاجة الوحدة إلى أعمال صيانة وتقليل الفترة بينهما.

ملاحظة:

إذا تم اختيار هذا الوضع بصورة خاطئة عند بدء التشغيل فإنه يتم إلغاؤه باستعمال الأمر(Start).

- **أوامر التحميل لوحدة التوليد الغازية :**

إذا تم تشغيل الوحدة وهي في وضع (Auto) وبعدم وجود أوامر تحميل معينة فإنه يتم تحميل الوحدة إلى حمل مقداره 6mw وهو ما يعرف (Spinning reserve) ويبقى الحمل عند هذا المقدار حتى يتم زيادة التحميل باستعمال الأمر (Raise) أو استعمال الأمر (Lower) لتقليل الحمل.

1- **أمر الحمل الاختياري** (Reselected load) :

عند اختيار هذا الحمل فإن الوحدة تحمل آلياً إلى الحمل الذي تم اختياره، بعدها يتم التحكم في كمية الوقود عند هذا الحد.

ملاحظة :

يتم تغيير الحمل الذي تم اختياره بالزيادة أو النقصان باستعمال الأمر (Rasie) أو الأمر (Lower).

2- **أمر حمل القاعدة** (Base Load) :

عند اختيار هذا الأمر فإن التحميل يزداد بصورة آلية بالمعدل الطبيعي ويتحدد مقدار حمل القاعدة بناء على الظروف الجوية المحيطة بالوحدة حيث يتم تنظيم كمية الوقود المحقونة للحصول على أعلى قدرة ممكنة من دون رفع حرارة الوحدة (Overheating).

ملاحظة :

يمكن زيادة حمل القاعدة باستعمال الأمر (Raise) أو تقليله باستعمال الأمر (Lower).

3- **أمر الحمل الأقصى** (Peak Load) :

عند اختيار هذا الأمر فإن الحمل يزداد بالمعدل الطبيعي حتى تصل الوحدة إلى أقصى حرارة ممكنة للعادم (Exhaust temperature) ويعتمد هذا الخيار على الظروف المحيطة بالوحدة وخاصة درجة حرارة الهواء الداخل إلى الضاغط.

عندما تعمل الوحدة في حالة الحمل الأقصى فإن درجة حرارة الإشعال للتربين (Firing temperature) تكون أعلى من الحد الطبيعي وبذلك تزداد الحاجة إلى تقليل الفترة بين عمليات الصيانة. تبقى الوحدات تعمل تحت الحمل الأقصى ما لم يتم استعمال الأمر (Lower) لتقليل الحمل.

ملاحظة:

هناك قاعدة مفادها أن عمل الوحدة ساعة واحدة عند الحمل الأقصى يعادل عملها لمدة ست ساعات عند حمل القاعدة.

- **أوامر التحكم في السرعة / الحمل:**

1- **الأمر** Raise speed / load:

يتم التحكم بالقدرة الخارجة من المولد عن طريق ضبط كمية الوقود المحقونة إلى غرف الاحتراق حيث أن استعمال الأمر (Raise) يزيد من القيمة المرجعية للسرعة TNR ومن ثم ترفع السرعة أو الحمل بطريقة يدوية (Manual) كما يلي:

- عندما يكون المولد مفصول عن الشبكة فإن استعمال هذا الأمر يؤدي إلى زيادة السرعة.
- أما عندما يكون المولد مفصول عن الشبكة فإن استعمال هذا الأمر يؤدي إلى زيادة السرعة.
- أما عندما يكون المولد متصل مع الشبكة ويكون الحاكم في وضع (Droop) فإن استعمال هذا الأمر يؤدي إلى زيادة القدرة المتولدة.

2- **الأمر** (Lower Speed / load):

عند استعمال هذا الأمر فإن ذلك يؤدي إلى تخفيض القيمة المرجعية للسرعة TNR وبالتالي تخفض السرعة أو الحمل بطريقة يدوية كما يلي:

- عندما يكون المولد مفصول عن الشبكة فإن استعمال هذا الأمر يؤدي إلى نقصان السرعة.

- عندما يكون المولد متصل مع الشبكة ويكون الحاكم في وضع (Droop) فإن استعمال هذا الأمر يؤدي إلى تقليل القدرة المتولدة.

- **أوامر حاكم التربين** (Governor):

كما لاحظنا فإن وظيفة الحاكم هي التحكم في سرعة التربين أو الحمل اعتماداً على كون المولد متصل بالشبكة أو مفصول عنها:

1- **الأمر** (Droop):

باستعمال هذا الأمر يمكن تغيير الحمل على وحدة التوليد وبالتالي تغيير مشاركة المولدات بالحمل بناء على الفرق بين سرعة التربين والقيمة المرجعية للسرعة حيث أن زيادة الحمل على الشبكة تؤدي إلى انخفاض التردد (السرعة) وإذا كان لجميع الوحدات منحنى انخفاض في السرعة متماثل (Speed droop characteritistic) فإنها تشارك زيادة الحمل بشكل متساوي وذلك بزيادة كمية الوقود المحقونة إلى غرف الاحتراق.

2- **الأمر** (Isochronous):

اختيار هذا الأمر يجعل الوحدة تحافظ على السرعة / التردد ثابت عند القيم المقننة وفي نفس الوقت تعطي أكبر قدرة ممكنة بشرط عدم تجاوز درجة حرارة الإشعال القيمة المقننة للتربين (Firing temperature).

- **أوامر الوقود** (Fuel commands):

كما هو واضح فإن الوحدات التي تعمل على نوع واحد من الوقود لا يوجد هناك اختيارات أو أوامر تخص نوع الوقود المستعمل. لكن معظم وحدات التوليد الغازية تكون مجهزة للعمل بنوعين من الوقود حيث يتم بدء تشغيل الوحدة بأحد الأنواع (الديزل) تتحول فيما بعد إلى النوع الآخر (الكرود) بعد أن تصل سرعة دوران الوحدة السرعة الكاملة.

الجزء الثاني

محطات توربينات البخار

2- 8 طريقة عمل المحطة:

تسمى بمحطات توربينات البخار لاعتمادها على ضغط البخار لتحريك التوربينات وتحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية، يتم تولد البخار داخل مولد البخارboiler أو ما يعرف بالفرن (Furnace)، الذي يستخدم أنواع مختلفة من الوقود كالفحم الحجري والزيت الثقيل والديزل لتسخين الماء وإنتاج البخار تحت ضغط عالٍ.

ينقل الوقود عبر وسائل مختلفة كالناقلات البحرية أو القطارات أو خطوات أنابيب مخصصة من مواقع الإنتاج إلى جوار المحطة أو عربات كبيرة لنقل الوقود، ويوضع داخل خزانات عملاقة حسب مواصفات معينة. يتم ضخ احتياجات المحطة من الوقود مباشرة من هذه الخزانات عبر مضخات مخصصة لذلك وتتم معالجته وتجهيزه للاستخدام قبل أن ينقل إلى داخل الفرن. تتمثل معالجة الوقود وتجهيزه في تصفيته وتسخينه لتسهيل عملية الإشعال داخل الفرن نظراً لرداءة هذا النوع من الوقود الذي يستخدم لرخص ثمنه وقلة تكلفته.

كما هو معلوم، تحول الطاقة الحرارية داخل غلاية الماء إلى كميات كبيرة من البخار تحت ضغط عالٍ. ينقل هذا البخار إلى التوربينات عبر أنابيب مخصصة لذلك فيدفعها في حركة دائرية لينتقل بعدها إلى المكثفات، حيث يتم خفض درجة حرارته ليصبح ماء ويعاد ضخه من جديد إلى داخل الغلاية. يتم التحكم في سرعة وقدرة هذه التوربينات بتنظيم كمية البخار المتدفق عبر صمامات مثبتة في مداخل البخار. غالباً ما تكون توربينة البخار ذات محور أفقي ويوصل عبره المولد الكهربائي التزامني الذي يدور بنفس السرعة ونفس العزم، يحول المولد بدوره هذه القدرة الميكانيكية إلى قدرة كهربائية بنسبة كفاءة متوسطة، حيث تضيع كمية كبيرة من الطاقة على شكل مفاقيد لتضاف إلى المفاقيد الحرارية والميكانيكية على مستوى الفرن والتوربين. لا تتجاوز كفاءة محطات البخار 30٪ ، وذلك نتيجة لمفاقيد الطاقة المتعددة في المراحل المختلفة من دورة البخار والنظم الميكانيكية والدوائر الكهربائية، أي أن أقل من ثلث المحروقات فقط تحول إلى طاقة كهربائية.

مواصفات عامة للمحطات البخارية:

إن حرارة الاحتراق الناتجة من طاقة الوقود في المحطات البخارية يتم استغلالها لتحويل الماء إلى بخار تحت ضغط وحرارة مرتفعين في الغلاية (Boiler). ويستخدم هذا البخار في تدوير التربينات التي تكون متصلة مع المولد لتوليد الطاقة الكهربية. والوقود المستخدم في الغلايات الحرارية إما يكون فحم أو زيت ثقيل (سولار مازوت) أو غازات.

ويمكن تعريف الكفاءة البخارية للمحطات على أنها النسبة ما بين كمية الحرارة المكافئة للطاقة الميكانيكية المنقولة إلى عمود التوربينة وبين كمية الحرارة المستخدمة في الغلاية، وهذه الكفاءة الحرارية تكون في حدود 30٪. أما الكفاءة الكلية للمحطات فيتم تعريفها على أساس النسبة ما بين كمية الحرارة المكافئة للخرج الكهربي وبين كمية الحرارة المستخدمة في الغلاية وهي في حدود 29٪.

وأنواع المفاقيد الموجودة في المحطات البخارية يمكن تلخيصها فيما يلي:

أ- مفاقيد الغلاية:

1-	لتلخيص الغازات من الرطوبة	5٪
2-	لتحميص الغازات	5٪
3-	الأتربة والوقود الغير محترق	1٪
4-	الإشعاع الحراري والتسرب	2.5٪
5-	مفقودات أخرى	2.5٪
	المجموع	**16٪**

ب- مفاقيد التوربينة:

1-	الحرارة المسترجعة للمكثف	54٪
2-	مفاقيد المولد	1٪
	المجموع	**55٪**

وبالتالي يكون الخرج هو 29٪ من الدخل الحراري، وعلى ذلك يتضح أن أكثر من نصف كمية الحرارة المستخدمة في الغلاية فقدت كحرارة مسترجعة للمكثف، وهذا الفقد

الحراري من الصعب تجنبه لأن تلك الطاقة الحرارية لا يمكن تحويلها إلى طاقة ميكانيكية إلا بحدوث انخفاض في درجة الحرارة في حين أن درجة حرارة المكثف الحراري تكون أقل ما يمكن.

ترتفع الكفاءة الحرارية للمحطة بزيادة ضغط ودرجة حرارة البخار الداخل إلى التربين مع أن تأثير الضغط أعلى من تأثير درجة الحرارة على الكفاءة الحرارية. وتعتمد كذلك على ضغط المكثف والذي يجب أن يكون أقل ما يمكن.

ويمكن تحسين الكفاءة الحرارية للمحطة بإعادة تسخين البخار بين مراحل التربين المختلفة. ويتكلف إنشاء المحطة البخارية حوالي 600$ دولار لكل KW من القدرة الكلية وتكلفة التشغيل في حدود 0.016$ لكل KWH .

مميزات وعيوب المحطات البخارية :

أولاً : المميزات:

1- تحتاج إلى مساحة صغيرة من الأرض نوعاً ما بالمقارنة بالمحطات الهيدروليكية مثلا.
2- تكلفة إنشاء رخيصة بالمقارنة بالمحطات الأخرى بنفس القدرة.
3- تنتج طاقة كهربية رخيصة بالمقارنة بمحطات الديزل.
4- يمكن إنشاؤها في أي مكان بعكس المحطات الهيدروليكية مثلاً والتي يجب أن تكون بقرب مصادر المياه.
5- تبنى هذه المحطات بقرب مراكز الأحمال على حين أن المحطات الهيدروليكية مثلاً تكون بقرب مصادر المياه وبالتالي بعيدة عن مراكز الأحمال.

ثانياً- العيوب:

1- تكلفة التشغيل عالية بالمقارنة بالمحطات الهيدروليكية مثلاً.
2- تؤثر تأثير شيء على البيئة المحيطة نظراً للدخان وفضلات احتراق الوقود.

ويمكن تقسيم أجزاء هذه المحطة إلى 4 دوائر أساسية:

1- دائرة الوقود والعادم.
2- دائرة الهواء وغازات الاحتراق.
3- دائرة مياه التغذية والبخار.
4- دائرة مياه التبريد.

وفيما يلي شرح تفصيلي لهذه الدوائر:

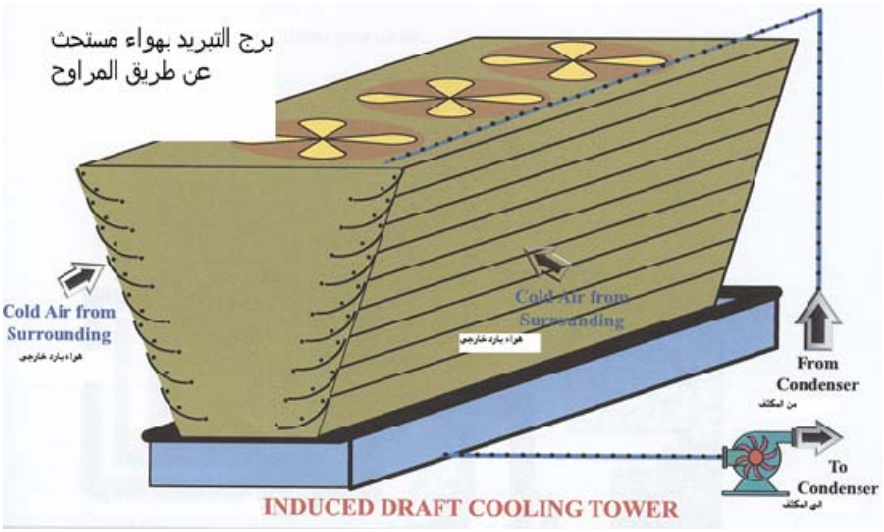
1- **دائرة الوقود والعادم** ، في حالة المحطات الصغيرة تستخدم الشاحنات لنقل الوقود إلى المخازن نظراً لقلة الوقود المستهلك كما يمكن نقله أيضاً بواسطة خطوط السكك الحديدية. وفي حالة المحطات المجاورة للأنهار أو البحار يمكن نقل الوقود عن طريق السفن أما في حالة المحطات الكبيرة، يفضل نقل الوقود عن طريق أنابيب وخلال مسافات طويلة باستخدام محطات للضخ. وبعد ذلك يتم تخزين الوقود السائل في خزانات ضخمة لضمان وجود فائض للاستخدام لفترة معقولة، ثم يتم ضخ الوقود خلال مواسير إلى داخل الغلاية وباستعمال شمعات الاحتراق يتم إشعال الوقود في فوهات الاحتراق عن طريق عمل شرارة إشعال.

2- **دائرة الهواء وغازات الاحتراق**: يتم سحب الهواء بواسطة مراوح ضخمة من الهواء الجوي ثم يدخل إلى سخان لتدفئته قبل إدخاله إلى الغلاية وتسخين هذا الهواء يتم بتبادل الحرارة مع الغازات الناتجة من احتراق الوقود السائل في الغلاية وذلك بسحب الحرارة منها قبل خروجها عن طريق المدخنة.

3- **دائرة مياه التغذية والبخار**: يتم سحب الماء بعد تكثيفه من المكثف عن طريق مضخة ثم يضخ إلى سخان عند ضغط مرتفع نسبياً لتسخينه ثم يضخ إلى سخان عند ضغط مرتفع وعنده يأخذ حرارته من البخار المستنزف من التربين. بعد ذلك يضخ الماء إلى الغلاية عن طريق المبادل الحراري والذي ترتفع فيه درجة حرارة الماء أكثر نتيجة اختلاطه بنواتج غازات الاحتراق. وفي الغلاية يتحول الماء إلى بخار ذي ضغط عالٍ ولكن به نسبة رطوبة. يتم مرور هذا البخار في المحمص لتقليل نسبة الرطوبة به وتسخينه ثم يمر من خلال

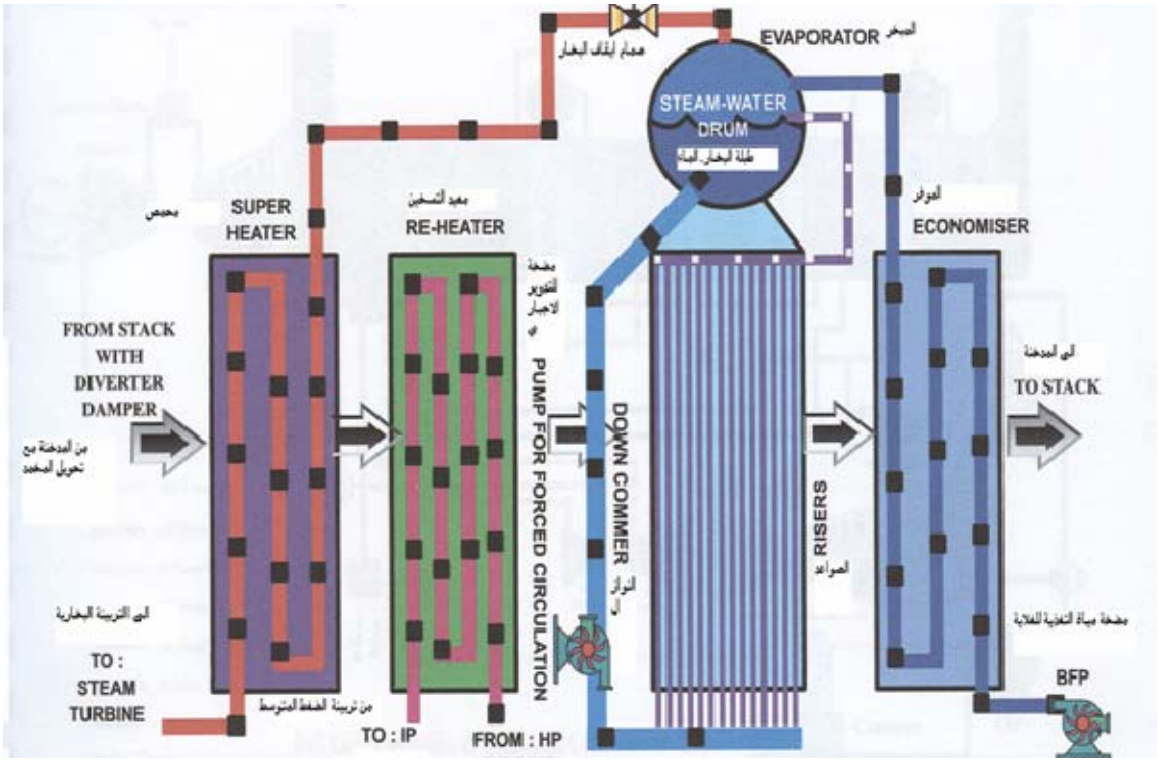
صمام البخار. وبعد دخول البخار إلى التربين وإدارته يتم سحبه من التربية إلى المكثف حيث يفقد حرارته الكامنة ويتحول إلى ماء.

4- **دائرة مياه التبريد**: يتم سحب مياه التبريد من مصدر مائي طبيعي مثل البحر أو النهر أو بحيرة أو أبراج التبريد بعد ترشيحها لإزالة أي مواد يمكن أن تؤثر على أنابيب المكثف. ويتم إدخال هذه المياه إلى المكثف لتكثيف البخار وبالتالي ترتفع درجة حرارة ذلك الماء ثم يمرر إلى أبراج التبريد(هنا شكلان لأبراج التبريد) لخفض درجة حرارته ودخوله المكثف مرة أخرى.



2- 9 مكونات المحطة البخارية :

تتكون المحطة البخارية من الأجزاء الهامة التالية:



1- معدات توليد البخار:

أ- الغلاية boiler :

وهي نوعان الأول كما ذكرناه في الفصل الأول ذو أنابيب الاحتراق والثاني ذو أنابيب المياه. وفي حالة الغلايات ذات أنابيب الاحتراق تكون الأنابيب المحتوية على غازات الاحتراق الساخنة محاطة بالماء ولكن في حالة الغلايات ذات أنابيب المياه تكون الأنابيب المحتوية على ماء محاطة بالغازات الساخنة من الاحتراق وهذا النوع هو الأكثر شيوعاً في الاستخدام وبالذات في القدرات العالية.

يعتمد تصميم الغلاية على بعض العوامل مثل الوزن والارتفاع والأمان وكمية ونوعية العمالة التي تعمل عليه والعمر الافتراض والكفاءة والتكلفة.

ويتراوح قطر الأنابيب في الغلاية من 2.5 cm إلى 10 cm ووضع الأنابيب يمكن أن يكون رأسي أو أفقي أو مائل.

ب- أفران الغلاية:

وهي نوعان إما ذات الحوائط المستوية العاكسة أو الحوائط المبردة بالمياه وهذا يعتمد على نوع الوقود المستخدم والعوادم الناتجة وطريقة الإشعال والحمل ومساحة الاحتراق وكمية الهواء ودرجة الحرارة وتكلفة الإنشاء والتشغيل. ويتم إشعال الوقود الذي يضخ داخل الغلاية عن طريق بخاخات (رشاشات) وقود تشكل بواسطة شمعات احتراق عند إحداث شرارة لبدء الحريق.

ج- المحمص superheater والمسخن الابتدائي pre-heater:

وهي عبارة عن مجموعة أنابيب مصنوعة من صلب خاص لتحمل درجة الحرارة العالية لها قطر خارجي يتراوح بين 25 Cm إلى 6.5 Cm . ويتم تسخين أنابيب المحمص والمسخن الابتدائي عن طريق غازات الاحتراق الساخنة أثناء مرورها من الغلاية إلى المدخنة، **ويتم تمحيص البخار للأسباب التالية:**

- عند تحميص البخار لدرجة حرارة عالية تقل كميته لنفس قدرة المحطة وبالتالي يقل حجم التوربينة أيضاً.
- البخار المحمص لا يسبب تآكل لريش blades التربين، وهذا التآكل يزيد من مقاومة الحركة.
- البخار المبلل يسبب مقاومة ميكانيكية في الانسياب وتكون المقاومة صغيرة في حالة تحميصه.

د- المبادل الحراري heat exchanger ومسخن الهواء الأولي:

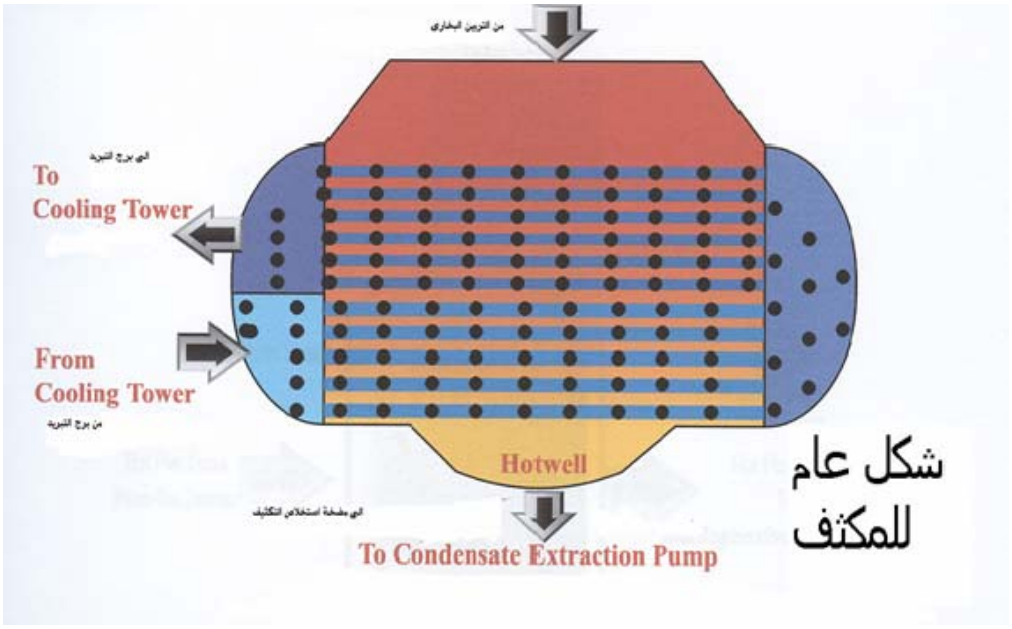
يستخدم كل من المبادل الحراري ومسخن الهواء الأولي لاسترجاع جزء من الحرارة الموجودة في غازات الاحتراق قبل طردها إلى الهواء الجوي.

وهذا يؤدي إلى استهلاك أقل في الوقود وزيادة كفاءة الغلاية ولكن يزيد من تكلفة استخدام هذه المعدات وتكلفة صيانتها. وبعد استرجاع الحرارة من غازات الاحتراق يمد بها الماء قبل دخوله إلى الغلاية.

أما مسخن الهواء الأولي فهو يسترجع جزءاً من الحرارة الموجودة في غازات الاحتراق ويقدمها إلى الهواء الداخل إلى الغلاية مما يزيد في درجة حرارته.

2- المكثفات:

تستخدم المكثفات لخلق امتصاص عند خرج التربينات عند ضغط منخفض لزيادة الكفاءة، وكذلك يتم فيها تحويل البخار بعد استنفاذ طاقته الحركية ـ إلى ماء.



3- بادئ حركة (التربين).

وهو نوعان حسب شكل تدفق البخار إما تربين محوري أو مركزي وسندرسه بالتفصيل لاحقاً.

4- غرفة معالجة المياهwater treatment plant:

حيث أن المياه الداخلة إلى الغلاية يجب أن تكون نظيفة جداً حتى لا تؤثر على تشغيله وعمره الافتراضي، فيجب أن نضمن نظافة تلك المياه. وتؤخذ المياه إما من مصادرها الطبيعية أو من أماكن تخزينها ويتم تنقيتها ومعالجتها كيميائياً حتى نضمن خلوها من الأملاح.

5- غرفة التحكم:

وفيها يمكن التحكم في تشغيل أي معدة أو جزء من المحطة عن بعد وكذلك التحكم في معدات الوقاية وتنظيم الجهد الكهربي والاتصالات ويجب أيضاً تواجد غرفة للتيار المستمر والذي تظهر أهميته في تشغيل معدات الوقاية الكهربية.

2- 10 أجزاء التوربينة البخارية:

تتكون التوربينة ذات الإسطوانة الأحادية من هيكل خارجي لها والذي يسمى غلاف أو إطار التوربينة (casing).

و الأجزاء الرئيسية داخل غلاف التوربينة والقريبة من الغلاف وهي الشفرات (blades) سواء الثابتة أو المتحركة هي التي تقوم بتوجيه البخار خلال التوربينة.

الجزء الرئيسي في التوربين وهو العضو الدوار (Rotor) والذي يتكون من المحور (shaft) والشفرات وهذه الشفرات تسمى الشفرات المتحركة (rotating blades). عند مرور البخار داخل التوربينة فإنه يتسبب بدوران الشفرات المتحركة وأيضاً المحور كذلك وبهذه الطريقة فإن الطاقة الكامنة في البخار تتحول إلى طاقة ميكانيكية.

محامل التوربينة (turbine blades):

أثناء عمل التوربينة فإنها تنشئ دوافع أو مساند (Thrust) على شكل إشعاعي متماثل Radial وأيضاً دوافع محورية مركزية axial والتي تسبب تحرك العضو الدوار عند مكانه.

محامل التوربينة (bearing) تملك الوسيلة لمنع الدوافع أو الدفاعات (thrust) الخاص بالبخار من دفع العضو الدوار عن مكانة والحفاظ عليه في مكانة داخل الهيكل.

خلال عمل التوربينة ،فإن البخار يمر خلال الريش الثابتة والمتحركة ويسري البخار خلال الريش المتحركة مما يسبب دوران العضو الدوار باتجاه مركزي axial باتجاه سريان البخار هذه الحركة تسمى الدفع (thrust)، وبهدف امتصاص عدم توازن العضو الدوار

الناتج من ذلك وإبقاء العضو الدوار بحالته المحورية أو المركزية فإن محامل الدفع (Thrust bearing) تستخدم لهذا الغرض.

التوربينات لها صمامات إيقاف (stop valves) وصمامات تحكم (control valves) وهي في مدخل التوربينة، صمامات التحكم تسمى عادة صمامات الحاكم (governor valves) والتي تنظم عملية دخول البخار إلى التوربينة وبالتالي الطاقة التي تستلمها التوربينة صمامات الإيقاف تدعى عادة الصمامات الخانقة (throttle) والتي تقبل دخول البخار إلى صمامات التحكم وأيضاً تعتبر كحماية ثانوية للإيقاف أو الغلق في حال فشل صمامات التحكم عن العمل أو في حال إطفاء التوربينة في حالة الطوارئ (Emergency).

ريش التوربينة Turbine blades :

عملية تحويل الطاقة تتم خلال ريش التوربينة، التوربينة تتكون من صفوف من ريش ثابتة وأخرى متحركة، الريش الثابتة والمتحركة تعمل معاً بهدف تحويل الطاقة الحرارية للبخار إلى طاقة ميكانيكية دوارة، الطاقة الحرارية للبخار تقاس بواسطة الإنثالبي (enthalpy) وهو ناتج من ضغط ودرجة حرارة البخار.

صمامات التوربينة Turbine Valves :

الهدف الأساسي للصمامات هو:

أ- تنظيم دخول وسريان البخار إلى التوربينة وبهذه الطريقة يتم التحكم بالسرعة والحمل للتوربينة.

ب- الإغلاق السريع لسريان البخار للتوربينة في حالة الطوارئ لمنع دوران العضو الدوار للتوربينة ـ المولد بسرعة غير متحكم بها.

الشكل أدناه يوضح الصمامات الرئيسية والهامة للأجزاء الرئيسية للتوربينة البخارية، أساساً سريان البخار كما يلي:

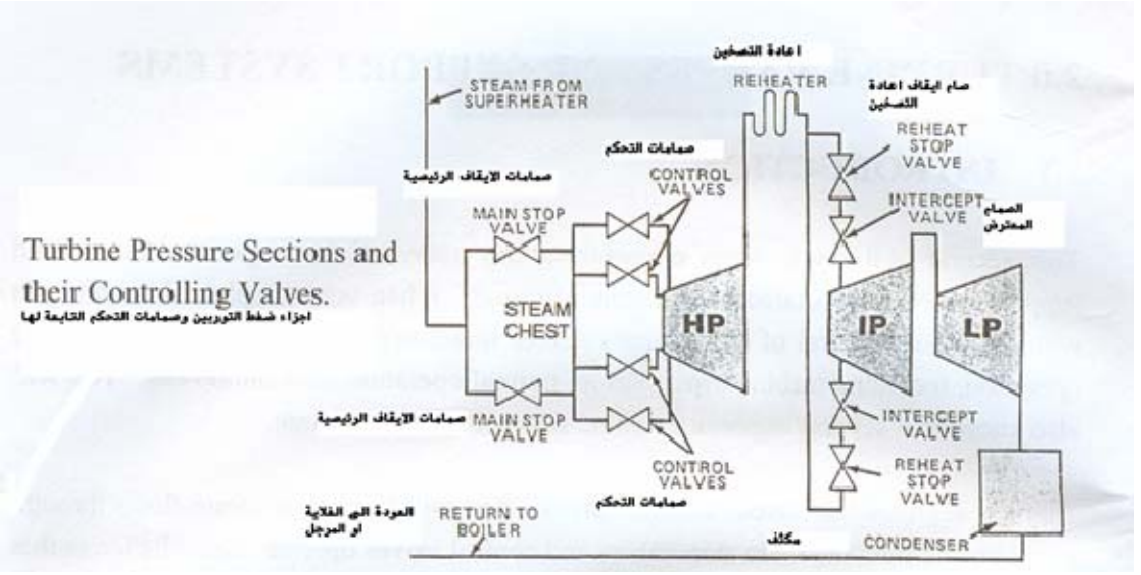
1- البخار من المحمص (superheater) والخاص بالغلاية متجه إلى جزء أو قسم الضغط العالي للتوربينة HP .

2- من توربينة الضغط العالي البخار يسري خلال معيد التسخين (Reheater) للتسخين الإضافي.

3- البخار المعاد لتسخينه من الغلاية يسري إلى توربينة الضغط المتوسط IP ومن ثم إلى توربينة الضغط المنخفض LP .

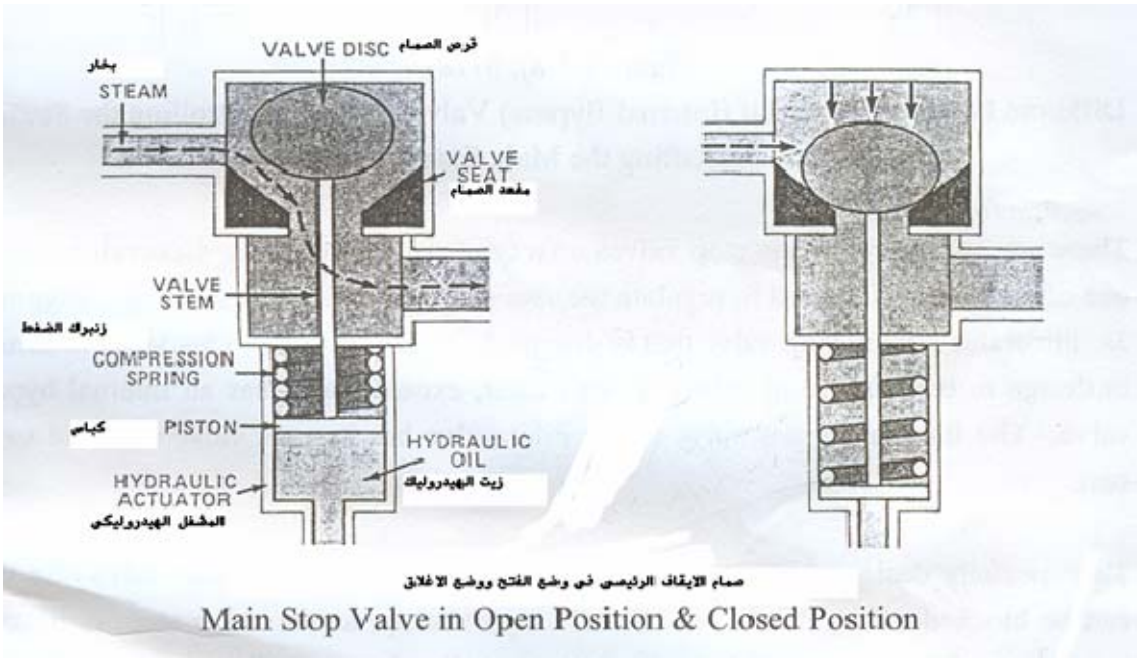
4- البخار من توربينة الضغط المتخصص يخرج إلى المكثف (condenser) والذي بدوره يتكثف إلى ماء.

5- وأخيراً المياه المتكثفة ترجع إلى الغلاية مرة أخرى.

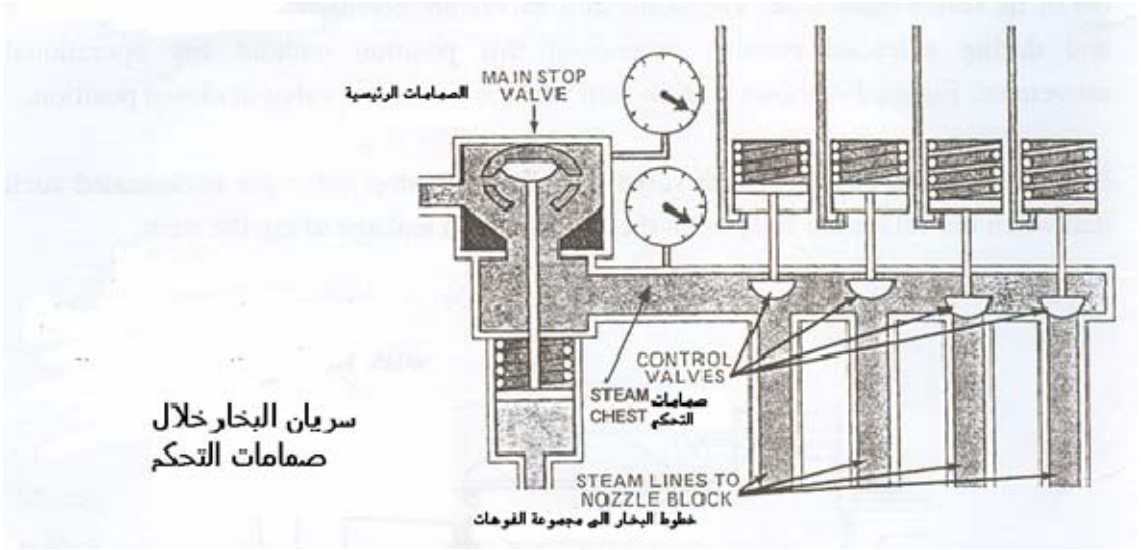


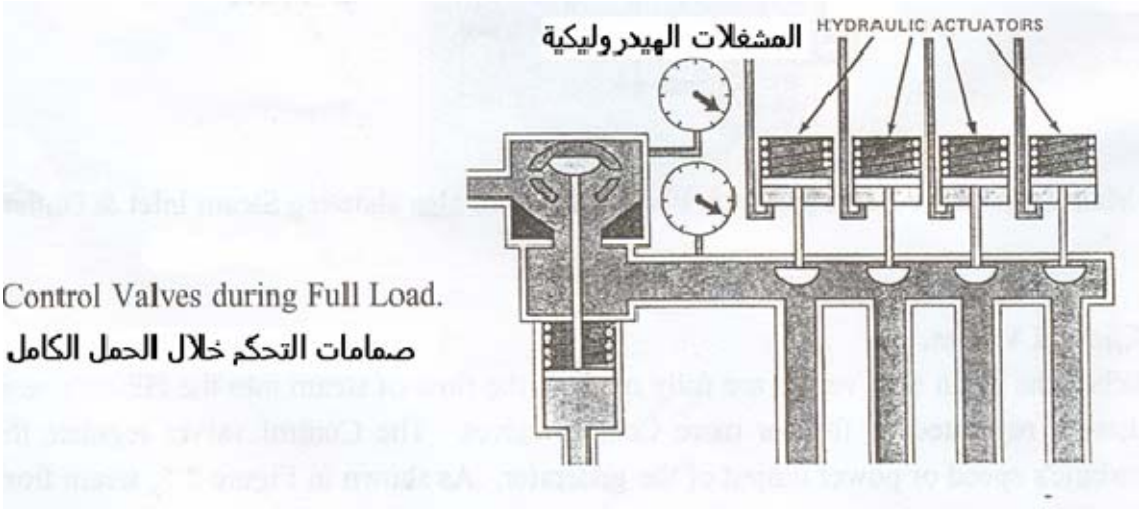
سريان البخار هذا يتم التحكم به بمجموعة صمامات هي :

1- صمامات الإيقاف الرئيسية Main stop valves .



2- صمامات التحكم (الحاكمات) Control (governor) valves .

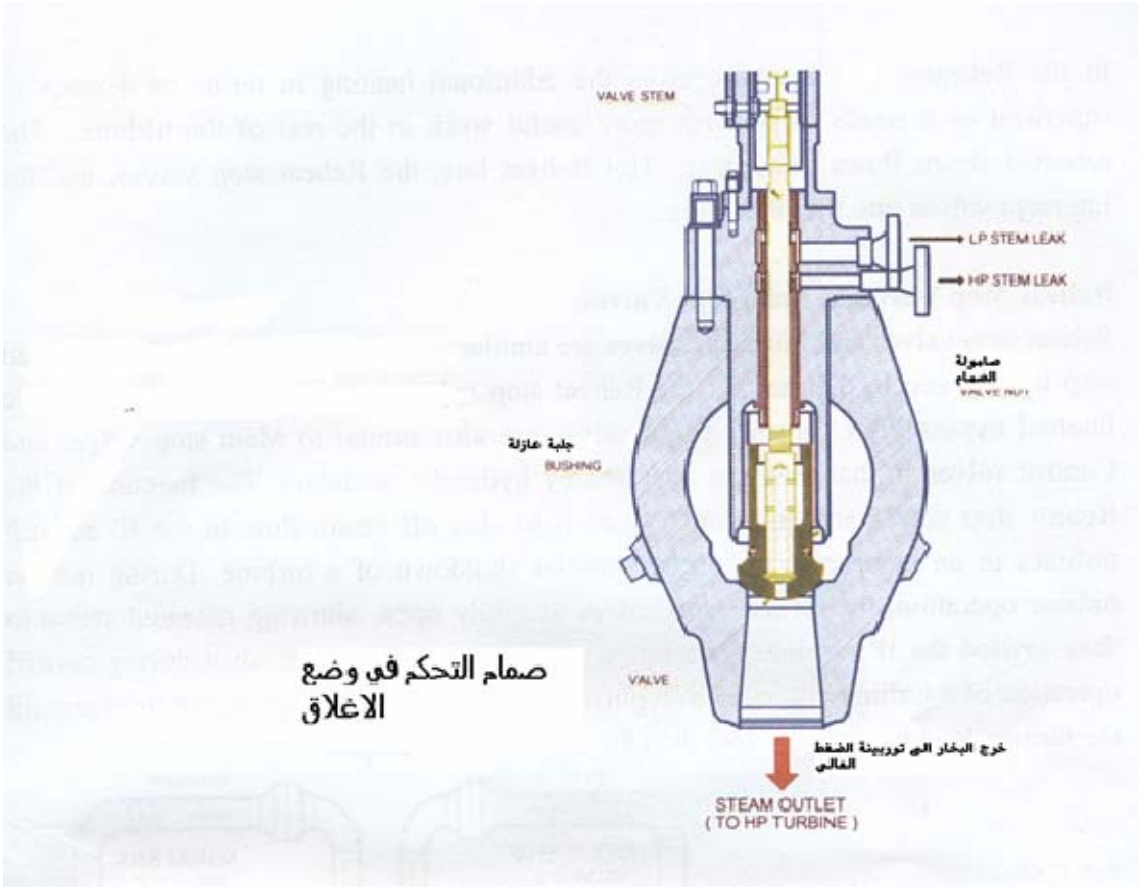




Control Valves during Full Load.

صمامات التحكم خلال الحمل الكامل

1

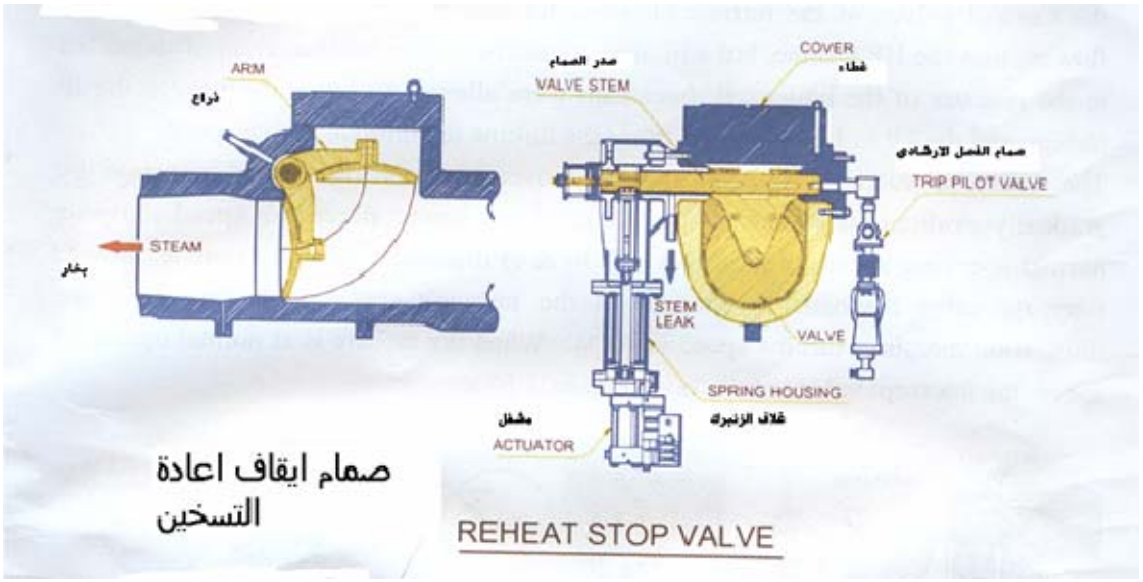


صمام التحكم في وضع الاغلاق

2

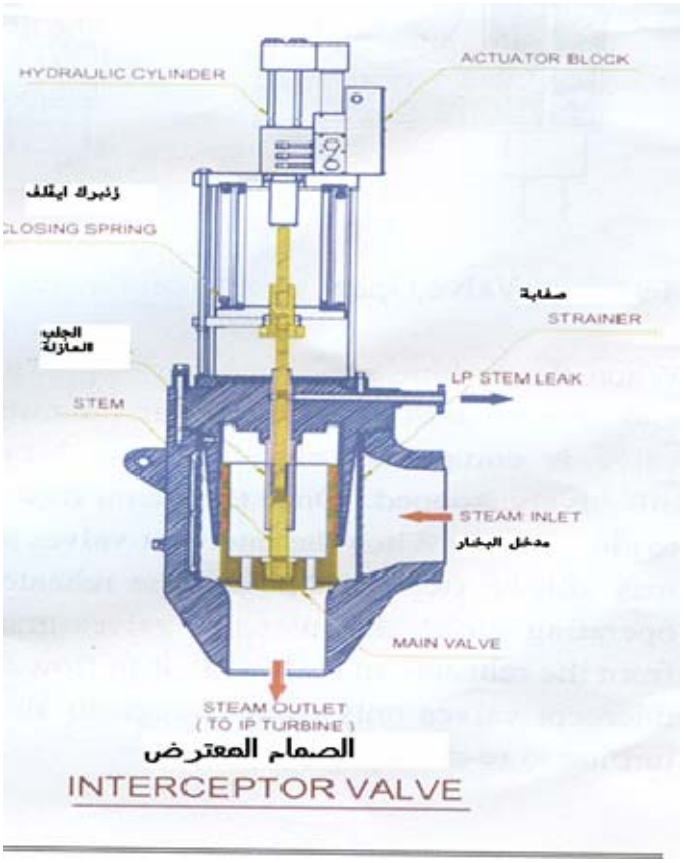
3

1 3- صمامات إيقاف إعادة التسخين Reheat stop valves .



2

3 4- الصمامات الاعتراضية Intercept Valves .



4

5 **عمل كل مجموعة من الصمامات يعتمد على آلية تشغيل التوربينة:**

نظام زيت التشحيم للتوربينة (Lubrication Oilsystem):

إذا لم يكن للتوربينة نظام التشحيم أو تزييت جيد فإن الأجزاء المتحركة سوف تبلى نتيجة الاحتكاك، وبهذا فإن هذا النظام هام جداً وهو المسؤول عن تزييت وتشحيم التوربينة سواء المحامل (حوامل) (Bearing) أو الأجزاء الثابتة مع المتحركة.

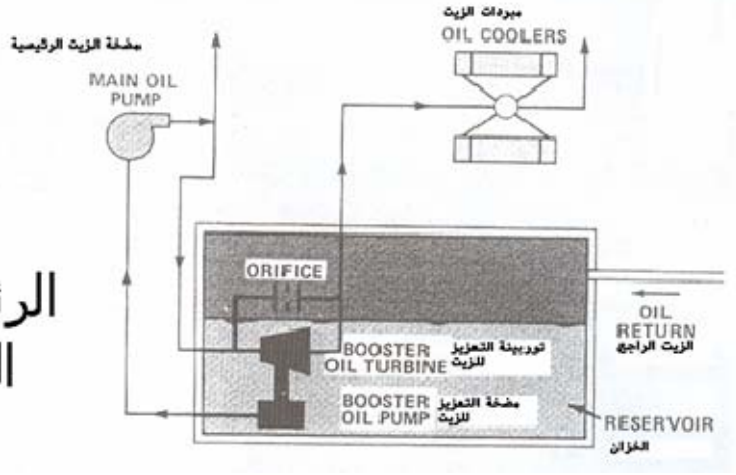
المهام الرئيسية لهذا النظام هي:

- تزويد محامل التوربينة والمولد بزيت تشحيم بارد (ضغط منخفض) وبدرجة حرارة وضغط وسريان مناسب.
- تزويد أجهزة حماية التوربينة بزيت ضغط عالي.
- تروس التحويل أو التعشيق (Turning gear) للعضو الدوار للمولد ـ التوربينة تزود من خلال هذا النظام بزيت تشحيم نفاث (spray).
- من أهم استخدامات هذا النظام هو تزييت وتشحيم المحامل وأيضاً تزويد أنظمة الحماية بزيت ضغط عالي.

نظام التزييت خلال عمل التوربينة في الحالة العادية:

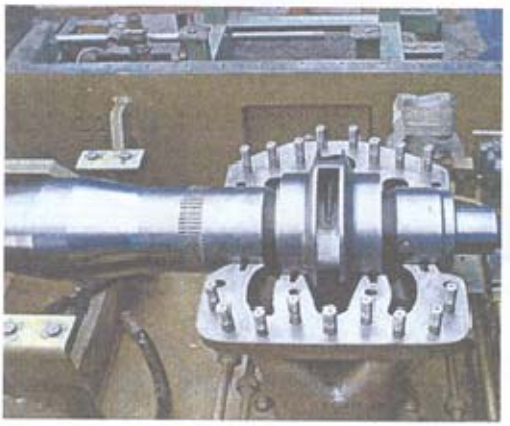
كما هو واضح أدناه يتكون هذا النظام من خزان التشحيم أو التزييت، مضخة زيت رئيسية، مضخة زيت تعزيز (Booster)، وزوج من مبردات الزيت (واحد رئيسي والآخر احتياطي) وأيضاً الفوهة (orifice) والمركبة في مخرج مضخة الزيت الرئيسية بهدف تقليل الضغط العالي للزيت إلى منخفض والذي يحقن نهائياً لتشحيم المحامل يعد مرورها في المبردات.

الاجزاء الرئيسيةلنظام زيت التشحيم للتوربين



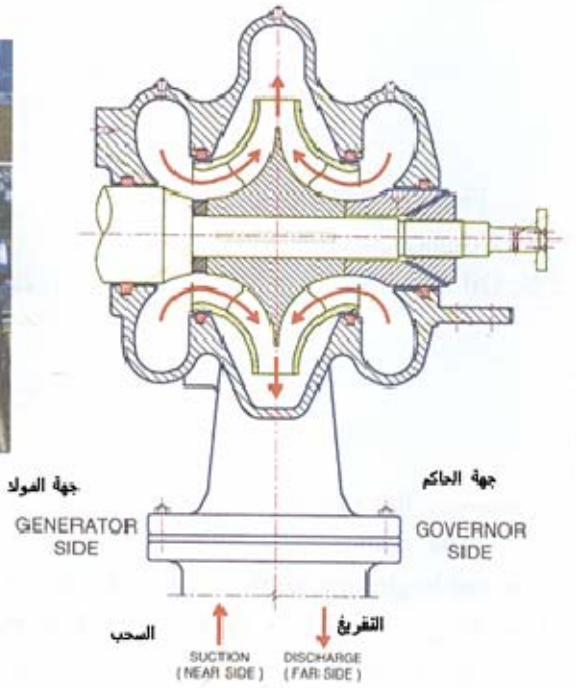
1

2



مضخة الزيت الرئيسية لنظام زيت التشحيم

Main Oil Pump of Lube Oil System



3

4

5

هذا النظام يعمل بصفة متكررة أثناء عمل التوربينة بصورة طبيعية، زيت التشحيم يسحب من الخزان وفي النهاية يعود إليه تكمل دورة ثم تعود لدورة أخرى وهكذا.

نظام التزييت خلال البدء والإطفاء للتوربينة:

كما هو واضح أدناه يوجد عادةً ثلاث مضخات تزود التوربينة بزيت التشحيم في حالات البدء (start-up) والإطفاء (shut down) والطوارئ (Emergency) هذه المضخات هي:

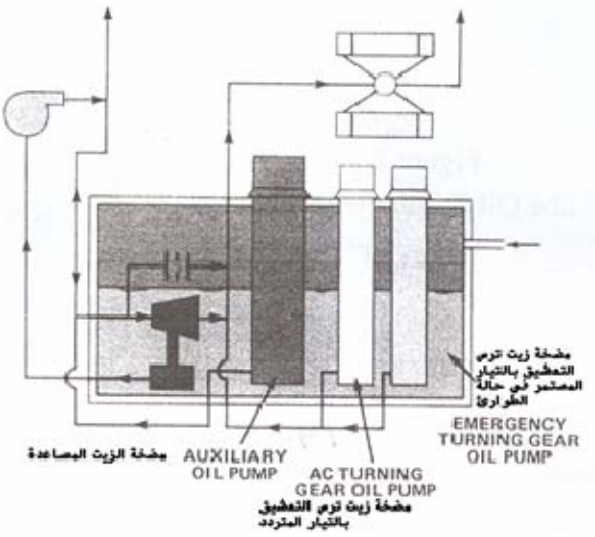
- مضخة الزيت المساعد (Aux) تعمل بتيار متردد.
- مضخة تزييت تروس التعشيق (Turning Gear) تعمل بتيار متردد.
- مضخة تزييت تروس التعشيق تعمل بتيار مستمر.

جميع المضخات السابقة تعمل بمحركات كهربائية وجميعها مصممة على أن تعمل إذا انخفض ضغط الزيت عن مستوى أقل من ما حدد له.

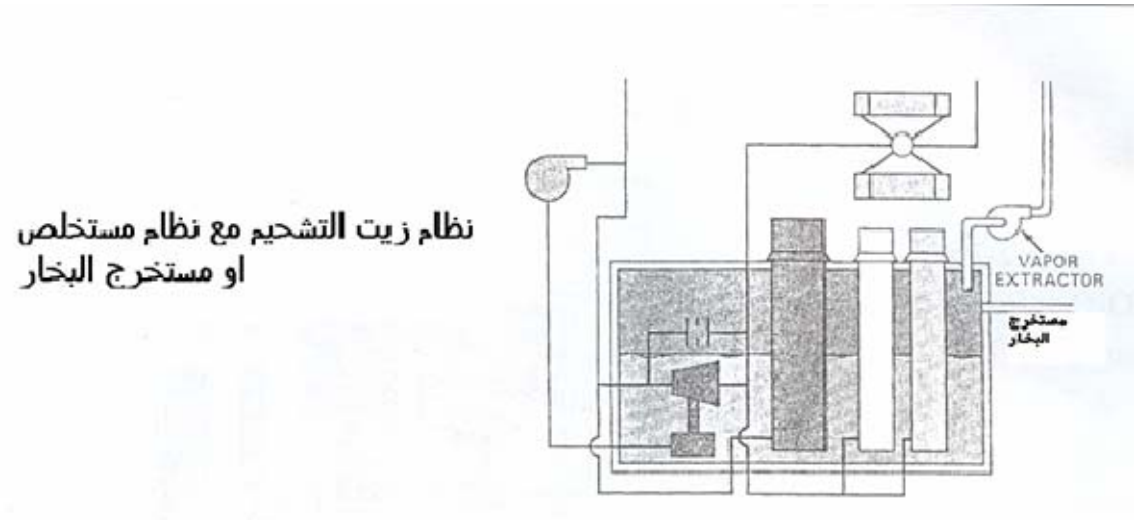
الهدف الأساسي لمضخة الزيت المساعد هو تزويد زيت التشحيم خلال البدء والإطفاء.

مخطط نظام زيت التشحيم

Lube Oil System



إحدى المهام الرئيسية لأنظمة تشحيم والتزييت بجانب مهمتها الرئيسية وهو دوران زيت التزييت داخل المنظومة، وهناك مهمة هامة لها أخرى هو إزالة البخار أو البخار المكثف من خزان زيت التوربينة، مكونات هذا النظام الذي يقوم بتلك المهمة هو مزيل البخار (Vapor extractor) كما في الشكل أدناه.

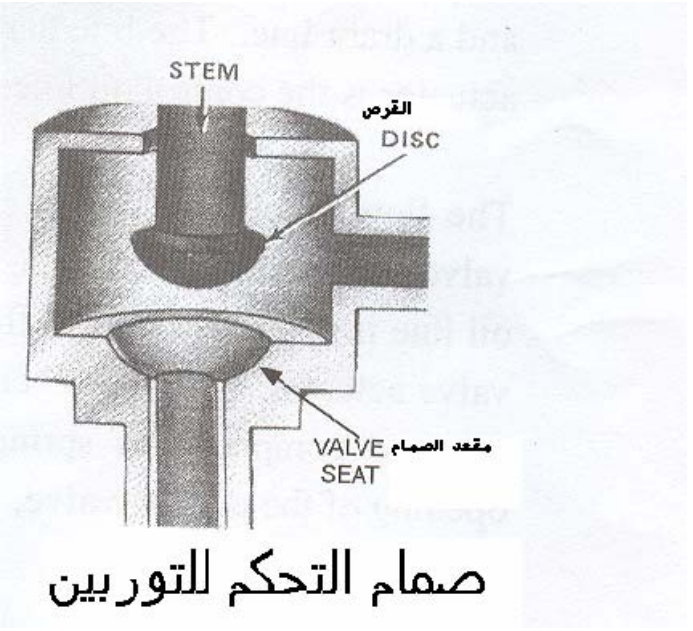


نظام زيت التشحيم مع نظام مستخلص
او مستخرج البخار

2- 11 أنظمة التحكم في التوربينة:

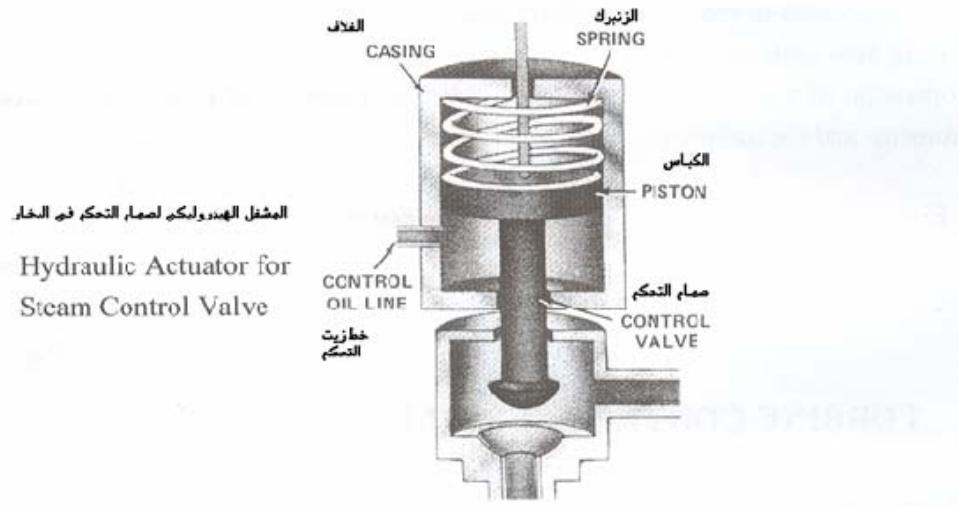
صمامات التحكم في التوربينة:

- من الأهمية القصوى التحكم بسرعة التوربينة للقيم المضبوطة عليها في جميع الأوقات خلال تشغيل التوربينة.
- سرعة التوربينة تتحدد بواسطة كمية البخار المار بها والذي يتحدد بواسطة الدرجة المفتوحة عليها صمامات التحكم للتوربينة.

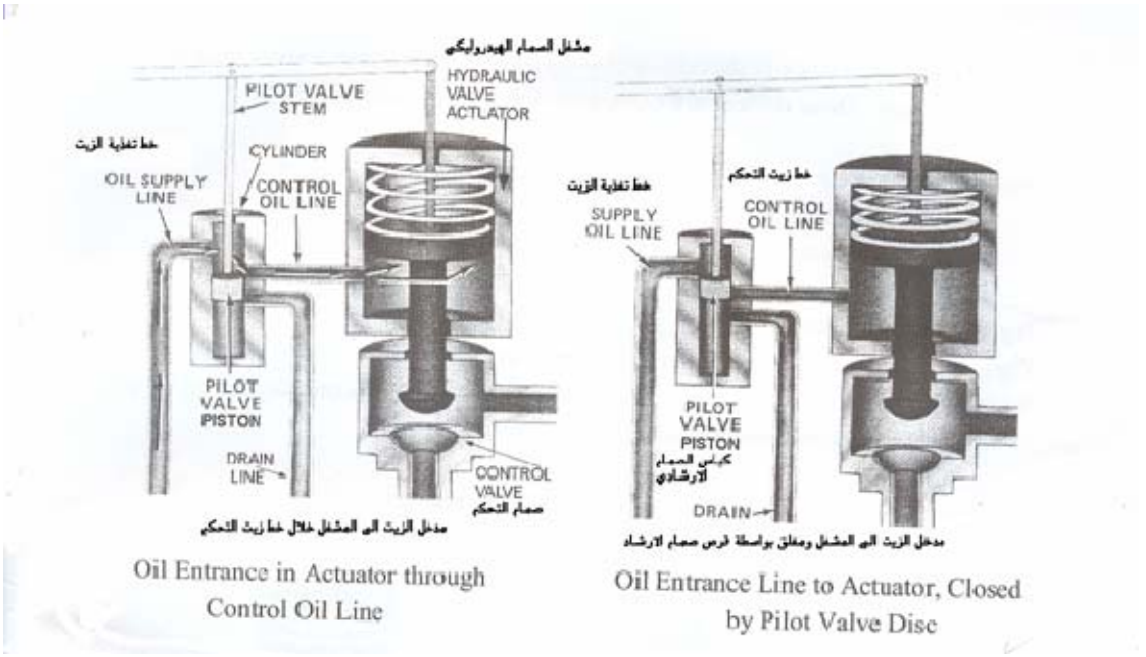


الصمامات المرشدة (pilot) **والمشغلات الهيدروليكية** (Hydraulic actuator) :

تعتبر المشغلات الهيدروليكية (الشكل أدناه) أكثر الأجهزة شيوعاً والتي تستخدم لضبط مكان صمامات التحكم للتوربينة.

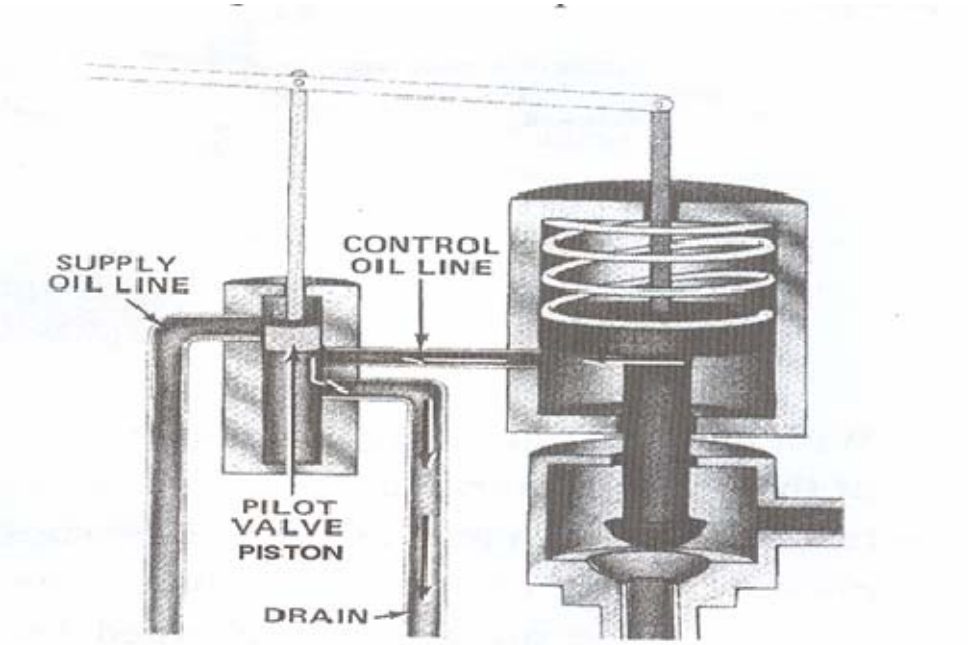


أما الصمامات المرشدة (pilot V.) فهدفها الأساسي هو تنظيم سريان الزيت دخولاً أو خروجاً من مشغلات صمامات التحكم (control valves actuator) كما في الشكل أدناه.



سريان الزيت دخولاً أو خروجاً من المشغلات يتم التحكم به بواسطة مكان عنق الصمام المرشد (stem) والكباس (piston) والشكل أدناه يوضح مكان كباس الصمام الإرشادي عند الفتح للتحكم بخط الزيت. يسمح للزيت أن يتصرف من مشغل الصمام (valve actuator) خلال خط التحكم في الزيت وخلال الصمام الإرشادي ومن ثم إلى خط الخروج أو التصريف (drain line).

ونتيجة الفقد في ضغط الزيت تحت كباس المشغل الهيدروليكي فإنه يسمح للزنبرك بالتمدد وبالتالي يدفع بالكباس إلى أسفل. انخفاض كباس المشغل الهيدروليكي يقلل فتح صمامات التحكم وبالتالي يقلل سريان البخار إلى التوربينة.



تصريف الزيت من المشغل بهدف تقليل سريان البخار

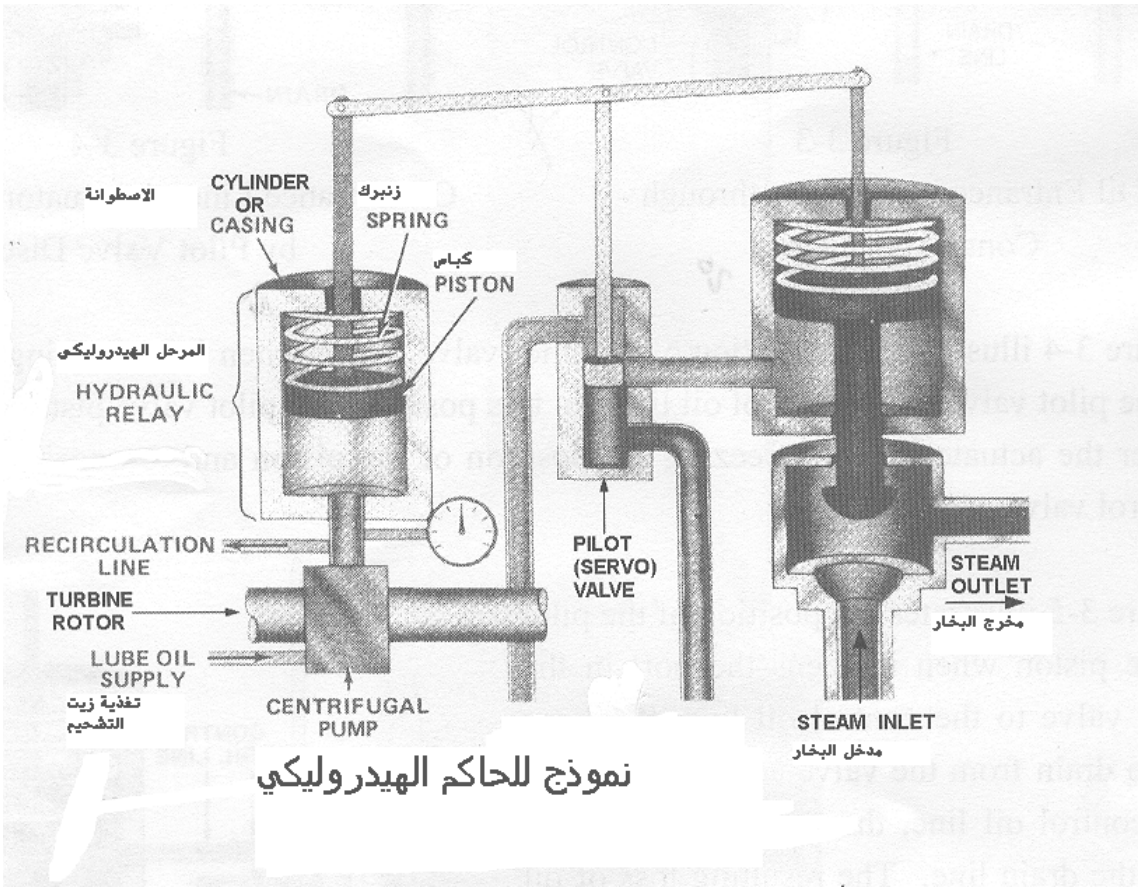
هناك جهازان يستخدمان لتشغيل الصمام الإرشادي الصمام المؤازر (servo valve) في أنظمة التحكم للتوربينة هذان الجهازان هما الحاكمات (governor's) ومغيرات السرعات (speed changer's) .

هناك نوعان أساسيان من الحاكمات والتي تستخدم في الأنظمة الحديثة :

1- الحاكمات الهيدروليكي (hydraulic gov).
2- الحاكمات الإلكترونية (electronic gov) .

1 الحاكم الهيدروليكي :

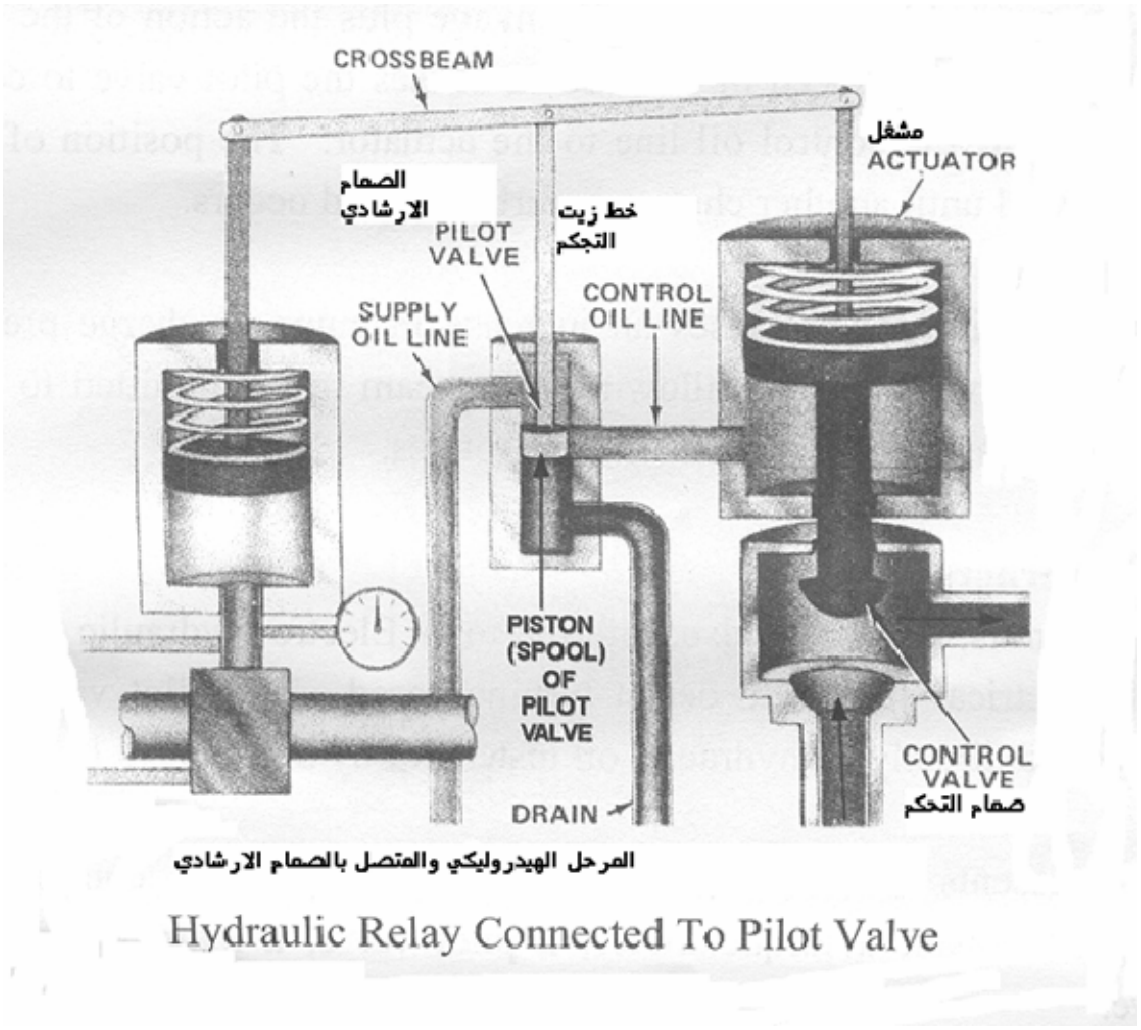
2 كما في الشكل أدناه، في حالة زيادة سرعة التوربينة فإنه يتسبب بزيادة ضغط خرج
3 المضخة ونقصان سرعة التوربينة يتسبب بنقص ضغط خرج المضخة، الزيت الخارج من المضخة
4 يدور في خط الدوران ثم إلى خزان زيت التوربينة، بالتأكيد، ضغط الخروج من المضخة
5 يتناسب كما ذكرنا مع سرعة التوربينة.،والمضخة تركب على العضو الدوار للتوربينة.



نموذج للحاكم الهيدروليكي

6
7

الحاكمات الهيدروليكية تحافظ على سرعة التوربينة تحت قيم ثابتة بواسطة عمل الصمامات الإرشادية والتي بدورها تتحكم في مشغلات صمامات التحكم للتوربينة



الحاكمات الإلكترونية:

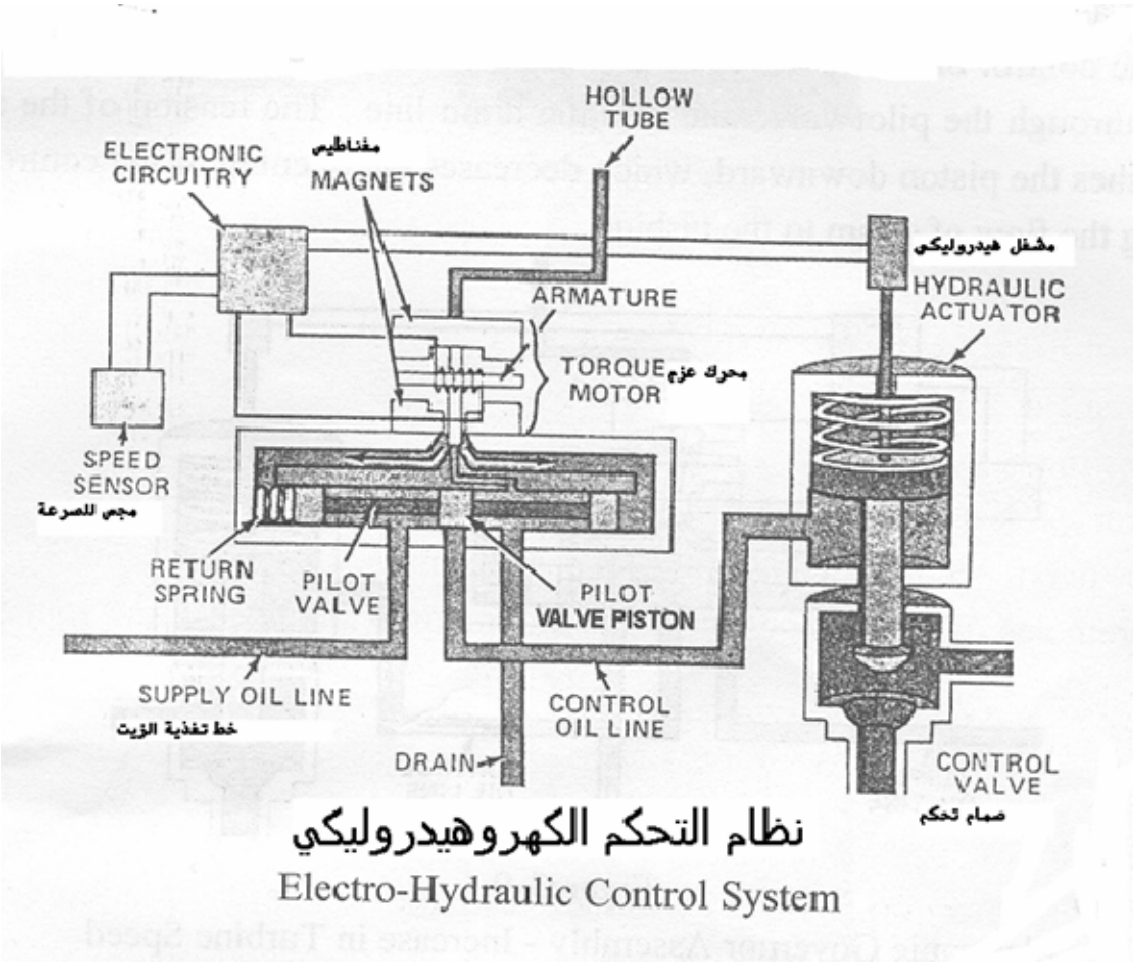
أيضاً تسمى بأنظمة التحكم الكهروهيدروليكي:

(EHC) Etoctro – hydraulic control system

وهذه تستخدم إشارة كهربائية للكشف عن سرعة التوربينة.

الصمام الإرشادي في EHC يعمل مباشرة بالزيت الهيدروليكي بدلاً من الارتباط الميكانيكي (mechanical linkage) .

الشكل أدناه يوضح المكونات الرئيسية لهذا النوع من الحاكمات وهي حساس أو مجس (sensor) سرعة إلكتروني، محرك عزم، صمام إرشادي ومشغل الهيدروليكي لصمامات التحكم.



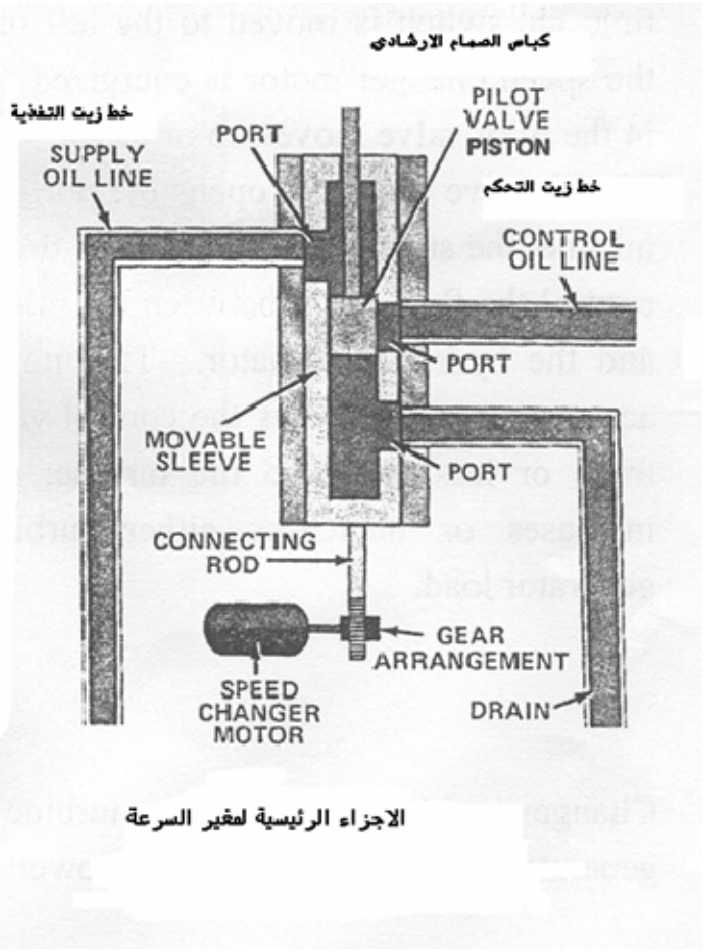
نظام التحكم الكهروهيدروليكي

Electro-Hydraulic Control System

الحساس مهمته كشف سرعة التوربينة ويرسل الإشارة إلى دائرة إلكترونية لمقارنتها مع الإشارة أو القيمة المعيارية، إذا كان هناك اختلاف بين القيمتين فإن إشارة خطا ستظهر على شكل قطبية أعلى أو أدنى حسب السرعة أعلى أو أدنى من القيمة المرغوبة ومن ثم إشارة الخطأ ترسل إلى محرك العزم والذي بدوره يتم التحكم في المشغل.

مغير السرعة speed changer

يقوم بمهمتين أساسيتين عندما تكون التوربينة off-line أي غير متزامنة مع النظام فإنه يقوم بضبط سرعة التوربينة.



الاجزاء الرئيسية لمغير السرعة

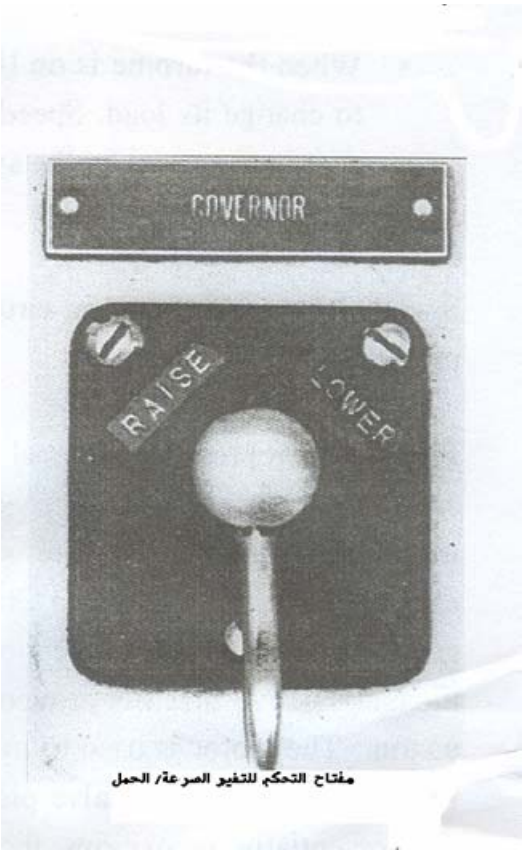
عندما تكون التوربينة (on-line) متزامنة مع النظام فإنه يسمح للمولد بتغير حملة (load) الشكل أدناه يوضح الأجزاء الرئيسة لمغير السرعة.عادةً هذا النوع يتم التحكم به يدوياً أو أوتوماتيكياً. في الحالة الأوتوماتيكية، جهاز التحكم عن بعد (Remote) متصل بمغير السرعة، هذا النوع من التحكم في مغيرات السرعة يدعي (Automatic load control) ALC **وهو عبارة عن مفتاح له ثلاث مواضع:**

أ- الوضع في الوسط مغلق أو إغلاق.

ب- الوضع الأيسر (الزيادة) بمعنى زيادة البخار إلى التوربينة.

ج- الوضع الأيمن (النقصان) بمعنى نقصان سريان البخار إلى التوربينة.

في هذا النوع من مفاتيح التحكم يستطيع المشغل أن يحرك المفتاح إلى الجهة المرغوبة وفوراً يطلق يده عن المفتاح.



مفتاح التحكم للتغير السرعة/ الحمل

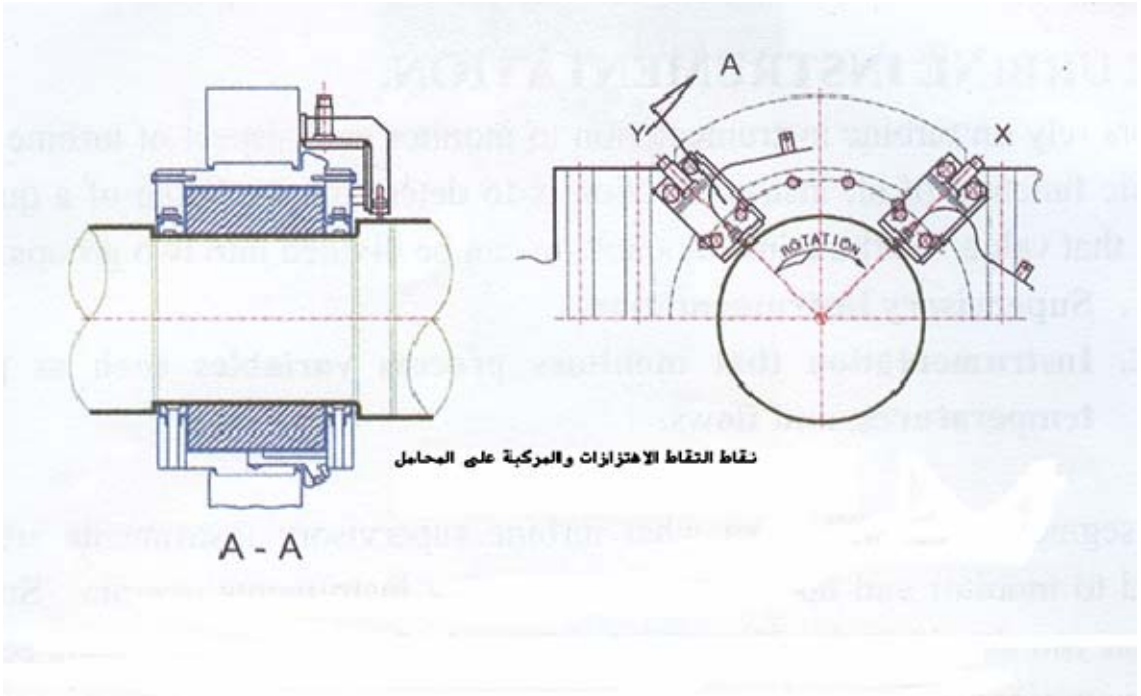
أجهزة التحكم الإشرافية للتوربينات (Supervisory) :

الهدف من هذه الأجهزة هو الإشراف ومراقبة أداء التوربينات التشغيلي وهذه الأجهزة تتضمن:

1- الاهتزازات (vibration) .
2- التمدد والانكماش Expansion and cortraction .
3- الاختلاف المركزي أو الانزياح المحوريaccentricity .
4- السرعةspeed

الاهتزازات :

يجب أن تكون في الحدود المسموح بها إذا زادت عن المعدل الطبيعي فإنه يتسبب بإجهادات على المحامل وعلى العضو الدوار ويقلل من عمرها الافتراضي.



نقاط التقاط الاهتزازات والمركبة على المحامل

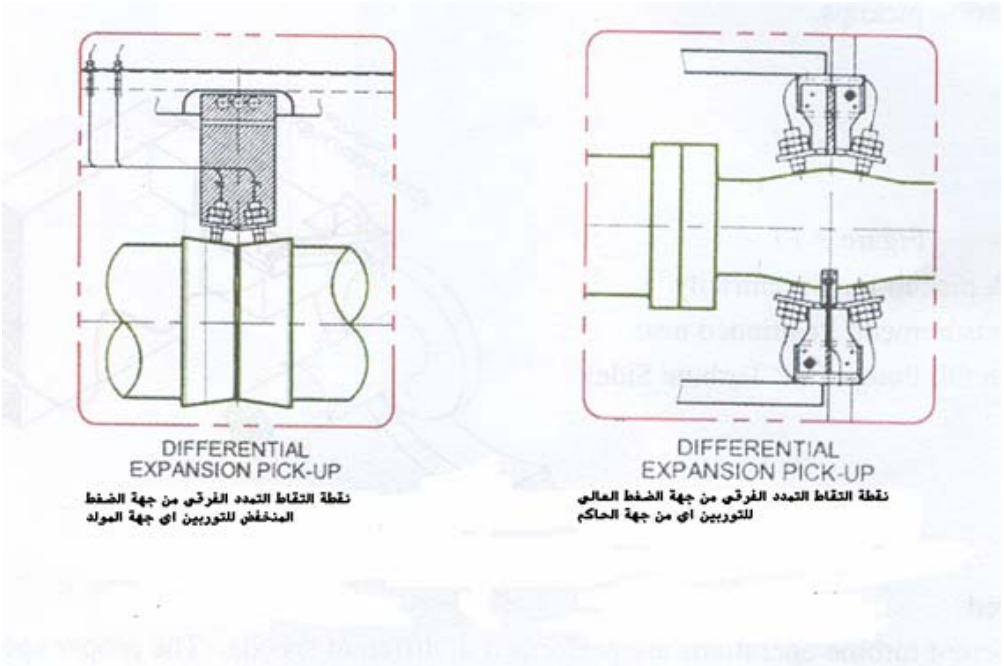
وعادة هناك حساسات تركب على محامل التوربين يقيس الاهتزازات وترسل المعلومات كإشارات كهربائية إلى مسجل الاهتزازات الذي يوضح الحركة الإشعاعية للمحور (shaft) وعادةً تقاس بـ (mils) (thousandth at inch) .

وعادةً تختلف الاهتزازات من توربينة إلى أخرى تحت ظروف التشغيل الطبيعي وعادة تكون أقل من 3 mils .

مراقبة التمدد والانكماش .

هيكل التوربينة :

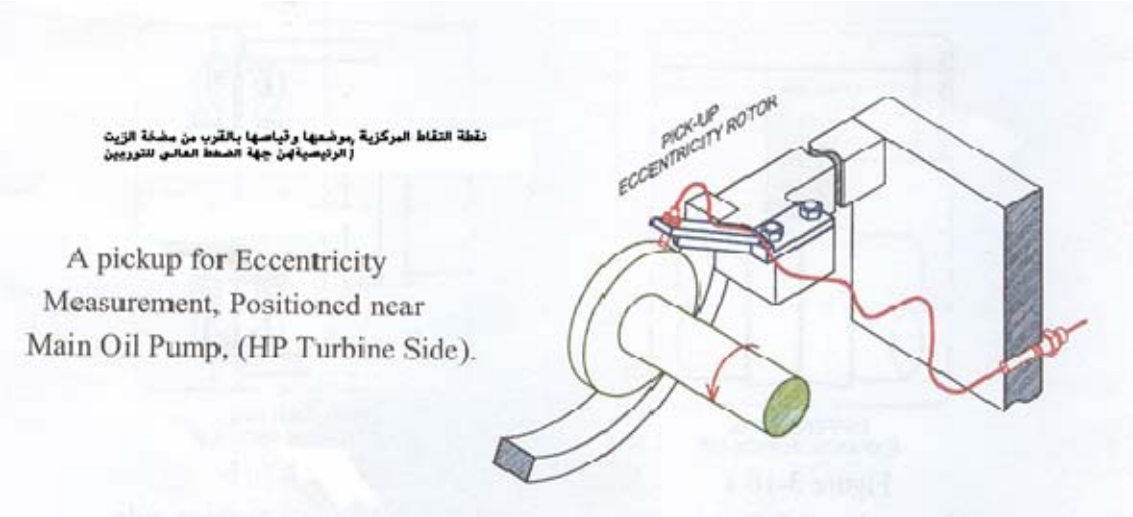
عادة في مراحل تشغيل التوربينة وبالأخص في بداية التشغيل أو في حالة الإطفاء فإن درجة حرارة أجزاء التوربينة تتغير هذا التغير في درجة الحرارة يجعل الأجزاء تتمدد في حالة بداية التشغيل وتنكمش في حالة الإطفاء مصنعي التوربينات وضعوا معدل مسموح فيه للتوربينة لتسخينها (heated up) أو تبريدها (cooled down)و مسؤولية الفني المشغل للتأكد من التوربينة ثم السماح بتسخينها وتبريدها في حالات بداية التشغيل والإطفاء عند الحدود المسموح بها من مصنع التوربينة.



هناك حاس أو مجس موضوع عند بعض النقاط الحرجة في التوربينة لتحديد معدل التمدد والانكماش لهيكل التوربينة والعضو الدوار للتوربينة في كل مرحلة من مراحل التشغيل.

الاختلاف المركزي أو الانزياح المحوري (eccentricity) :

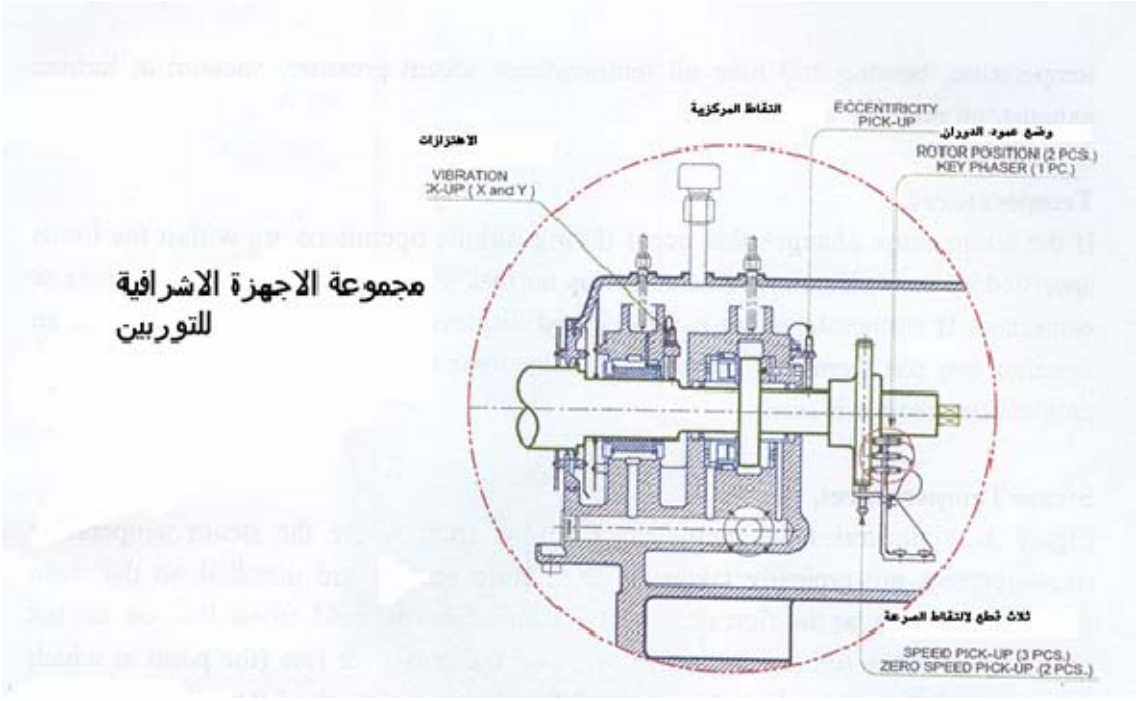
هو قياس وضعية العضو الدوار للتوربينة وهل هو في حالة مستقيمة أم لا.



القيمة التي يكون فيها العضو الدوار منحرف من المركز الطبيعي خلال الدوران يسمى الاختلاف المركزي بصفة عامة هو حجم التذبذب للعضو الدوار.

السرعة speed :

هناك أكثر من تشغيل للتوربينة سواء في الحالة الباردة (cold) أو الدافئة (warm) أو الساخنة (hot) عند سرعات مختلفة السرعة المناسبة والملائمة لتشغيل نمط معين من الحالات السابقة ربما تختلف من توربينة إلى أخرى، مواصفات الشركة الصانعة تحدد وتوصي بالمعلومات الصحيحة بهذا الخصوص ولهذا يتوخى دائماً اتباع تعليمات الشركة الصانعة.



كمثال بعض الشركات توصي بثبات سرعة التوربينة عند rpm1000 لفترة معينة أثناء البدء أو الإقلاع هذه الفترة المعينة تسمح لدرجة حرارة المعدن للتوربينة أن يتساوى مع الحدود المسموح بها من قبل الشركة الصانعة.

السرعة الصفرية (Zero speed) يحس ويلتقط السرعة المنخفضة ويرسل الإشارة إلى ترس التعشيق أو التحويل (Turning gear) للتوربينة بالتشغيل أو التعشيق عندما يقف العضو الدوار للتوربينة الجهاز الحساس (sensor) يولد إشارة تتناسب مع سرعة دوران المحور (shaft) ويرسل الإشارة إلى مسجل الإشارة (Recorder) .

موضع العضو الدوار (Rotor position) :

يلتقط هذا النوع الموضع الدقيق والمركزي axial للعضو الدوار للتوربينة.

أجهزة المراقبة لمتغيرات العمليات التشغيلية :

Process variables Monitoring Instrument

في هذا النظام أجهزة المراقبة تراقب العمليات التشغيلية والمتغيرات مثل درجات الحرارة والضغط وسريان السوائل والغازات.

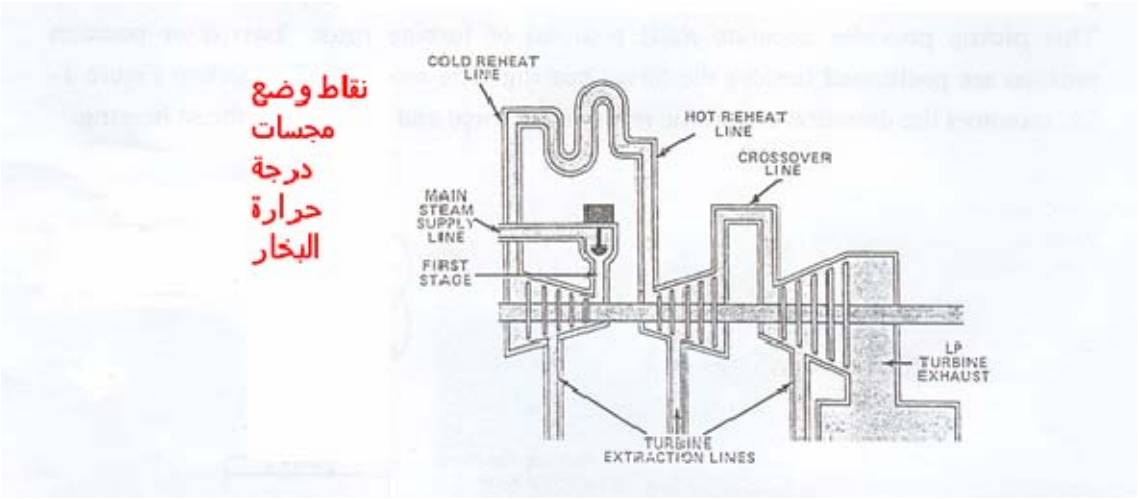
عادة مثل تلك الأجهزة الشائعة والتي تقيس مثل تلك المتغيرات تشمل المسجلات (recorders) ، مبينات السريان (flow indicators) والثرمومترات (thermometers) وأجهزة القياس (gauges) هذه الأجهزة السابقة تقيس درجة حرارة البخار ودرجة حرارة المعدن ودرجة حرارة زيت التشحيم وزيت المحامل وضغط البخار والتفريغ في خرج الغلاية (vacuum at Turbine exhust) وضغط الزيت وكمية وحجم سريان السوائل.

درجة الحرارة Temp :

إذا تغيرت درجة الحرارة أثناء تشغيل التوربينة وكانت في الحدود المسموح بها من صانع التوربينة فمن الطبيعي أن يكون معدن التوربينة (Turbine metal) أن يتمدد وينكمش ولكن إذا تعدت الحدود المسموح بها وهذا من السهولة ملاحظته من غرفة التحكم من قبل الفني المشغل فعلى المشغل في هذه الحالة اتخاذ الإجراءات المناسبة للتحكم في درجة حرارة التوربينة.

درجة حرارة البخار Steam Temp :

الشكل أدناه يوضح النقاط على التوربينة والتي تقاس فيها درجة حرارة البخار.

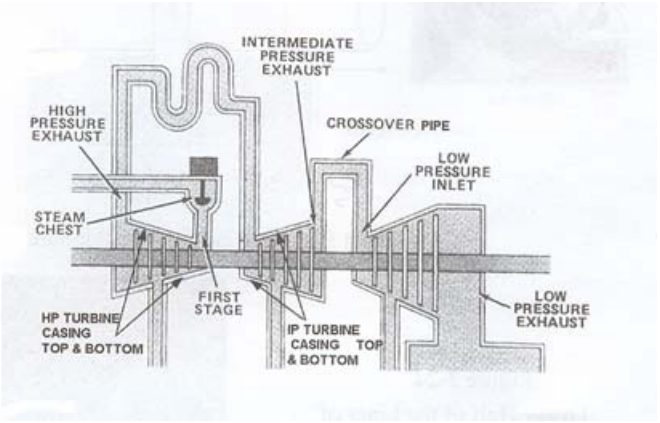


المجسات (sensors) تركب على خط التغذية الرئيسي للبخار في المرحلة الأولى لتوربينة الضغط العالي HP وعلى خط إعادة التسخين البارد (cold reheat) وأيضاً على خط إعادة التسخين الحار (hot reheat) وعلى خطوط الاستخلاص أو الاستنزاف للتوربينة (Extraction) وعلى خط العبور (Crossover) وأخيراً على خرج التوربينة للضغط المنخفض LP .

الإشارة من تلك المتغيرات ترسل كهربائياً كدرجة حرارة في كل جزء إلى المبينات وإلى المسجلات عن طريق المجسات وهي من النوع المزدوج الحراري الكهربائي (thermocouples) .

درجة حرارة المعدن للتوربينة (metal Temp)، فإن المزدوجات الحرارية تكون متضمنة داخلياً embedded في معدن التوربينة بهدف قياس درجة حرارة معدن التوربينة كما هو واضح أدناه.

نقاط وضع مجسات درجة حرارة المعدن للتوربين



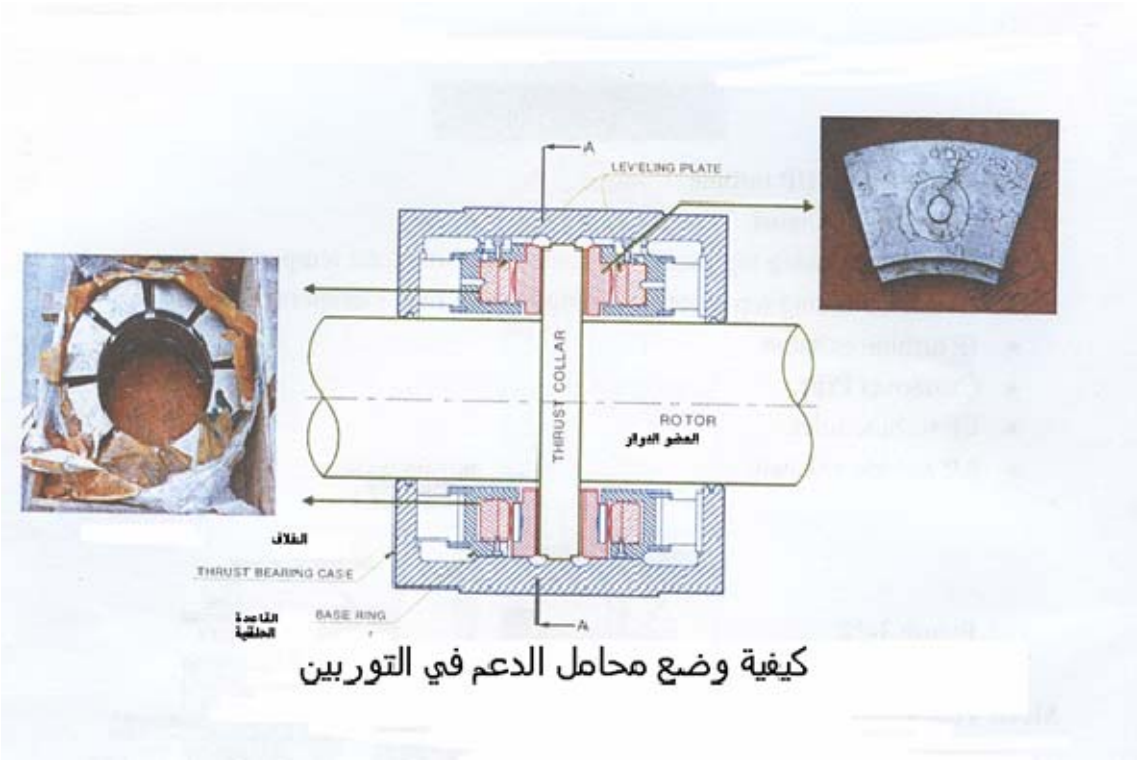
النقاط التي توضع فيها المزدوجات الحرارية هي:

- صندوق البخار الأمامي steam chest .
- المرحلة الأولى من توربينة الضغط العالي.
- النقاط العلوية والسفلية لهيكل التوربينة للضغط العالي.
- النقاط العلوية والسفلية لهيكل التوربينة للضغط المتوسط.
- خرج التوربينة الضغط المتوسط.
- انبوب خط العبور (crossover pipe) .
- دخل وخرج التوربينة للضغط المنخفض.

درجة حرارة المحامل (Bearing) :

الهدف الأساسي مراقبة درجة حرارة محامل التوربينة وهي:

- قياسات درجة حرارة مخارج (drain) زيت التشحيم للمحامل.
- قياسات درجة حرارة معدن المحامل.



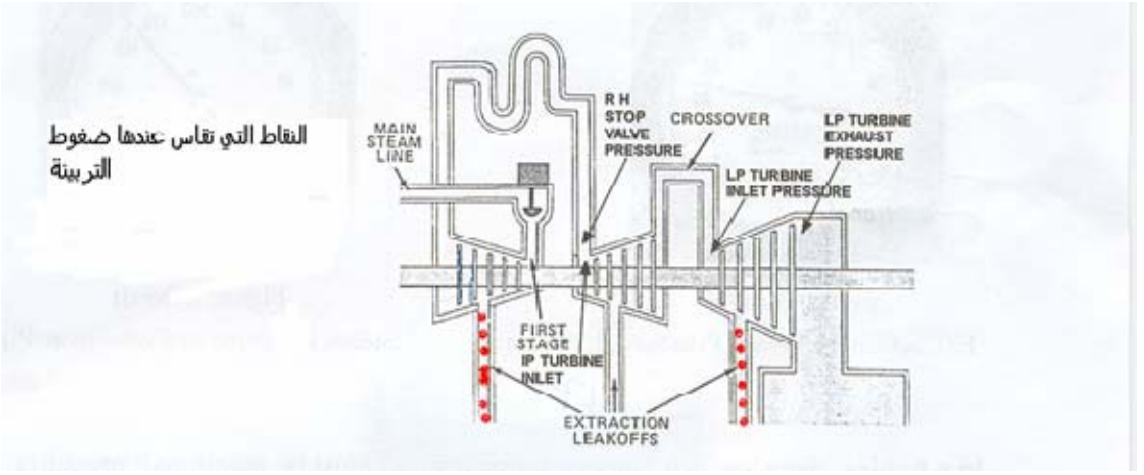
الضغط pressure :

من أجل عمل التوربينة بكفاءة عالية بقدر الإمكان فإن الضغوط داخل التوربينة يجب الحفاظ عليها حسب مواصفات الشركة الصانعة كما هو واضح أدناه.

النقاط التي يقاس فيها ضغط البخار هي:

- ضغط البخار الرئيسي قبل صمام الإيقاف الرئيسي.
- ضغط البخار الرئيسي بعد صمام الإيقاف الرئيسي.
- نقطة دخول التوربينة المرحلة الأولى الضغط العالي.
- ضغط البخار في صمام الإيقاف لمعيد التسخين Reheat .
- ضغط البخار في مدخل التوربينة الضغط المتوسط.
- ضغط البخار في انبوب خط العبور.

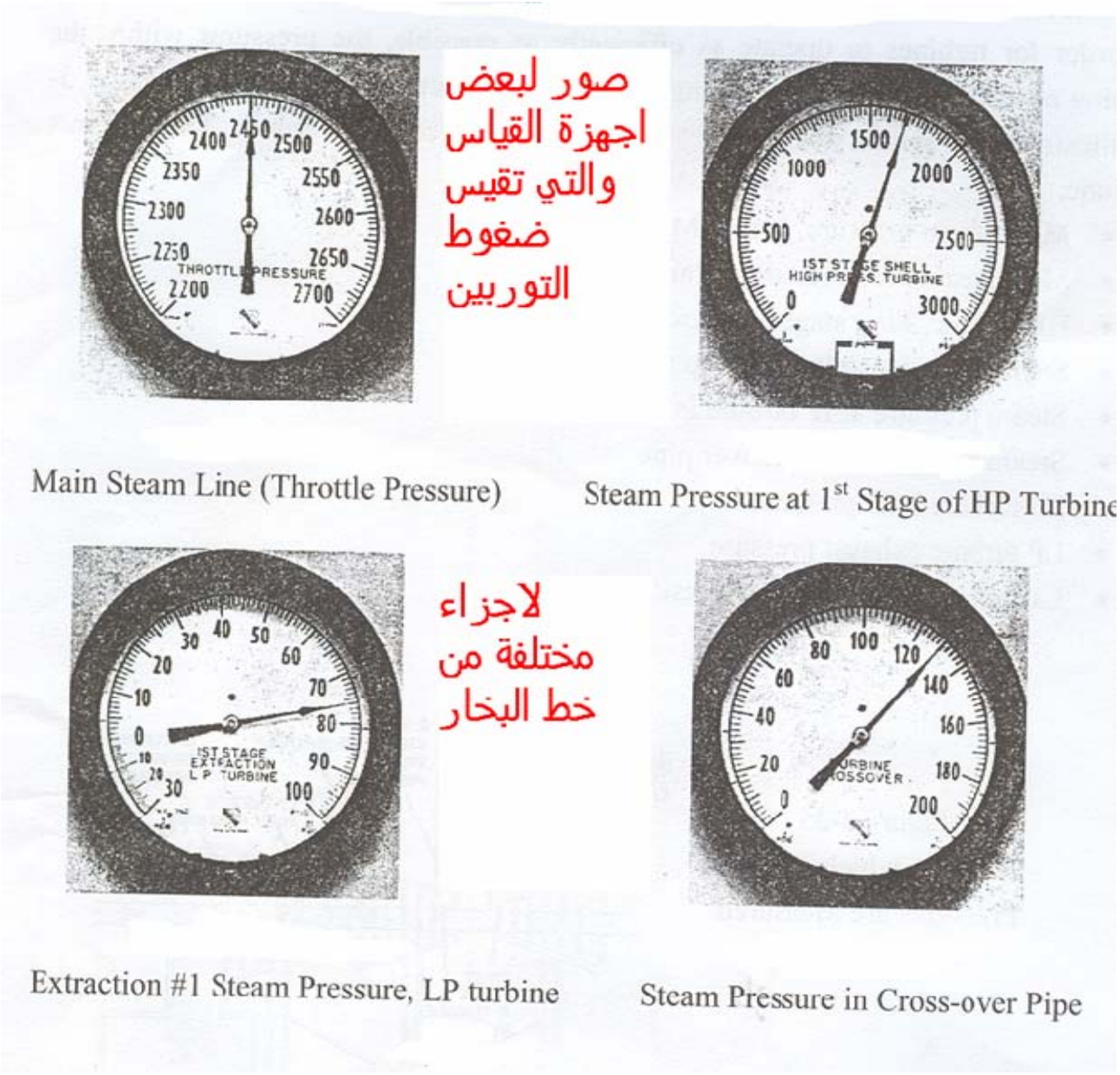
- الضغط في مدخل التوربينة الضغط المنخفض.
- ضغط خرج التوربينة للضغط المنخفض.
- ضغط الاستخلاص (Extraction) .



الضغط هام جداً في تشغيل التوربينات أي زيادة عن الحدود المسموح بها يسبب إجهادات ميكانيكية على ريش التوربينة وأيضاً نقصان الضغط لا يمكّن التوربينة من العمل بكفاءة.

ولهذا من الأهمية المراقبة والتحكم بالضغوط لضمان الحفاظ عليها في الحدود المسموح بها.

الأشكال أدناه توضح بعض أجهزة قياس الضغط بهدف التحكم في ضغوط التوربينة.



حماية التوربينة Turbine Protection :

تصـــمم أنظمـــة الحمايـــة للتوربينـــة للعمـــل أوتوماتيكيـــاً خـــلال حـــالات الطـــوارئ (Emergency) .

حالة الطوارئ هي الحالة التي يجب عندها اتخاذ القرار فوراً لحماية التوربينة من العطل (damage) .

أنظمة حماية التوربين هي جزء من أنظمة التحكم للتوربين وهي بصفة مستمرة تراقب وتلاحظ الحالة التشغيلية للتوربينة وتفصلها في حالة نشوء حالة طارئة. أيضاً المشغل الفني مسؤول في المراقبة المستمرة للتوربينة وفصل التوربينة يدوياً في حالة نشوء حالة طارئة.

فصل التوربينة Turbine Trips :

فصل التوربينة هو القفل أو الغلق الفوري لصمامات بخار التوربينة.

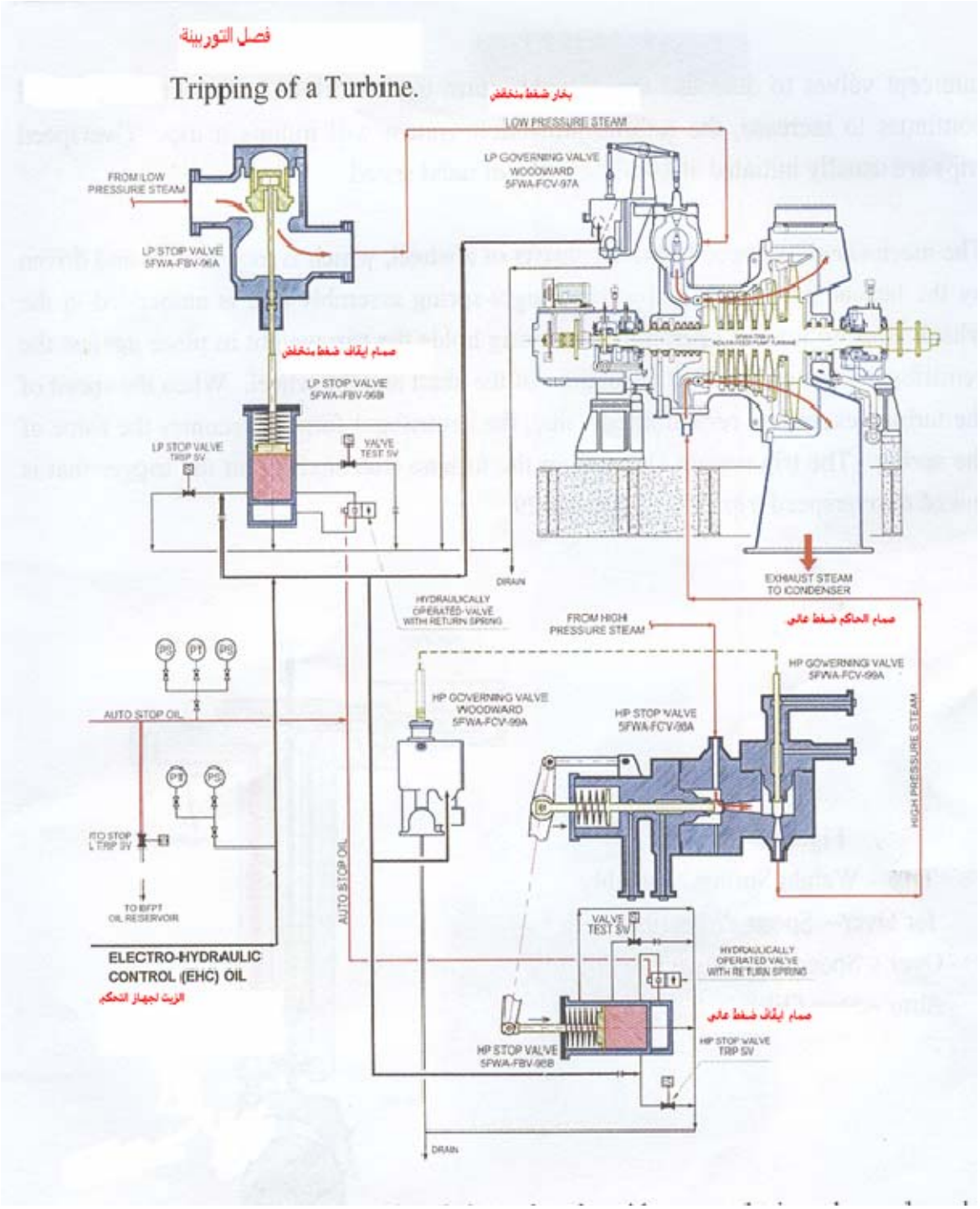
بواسطة وقف سريان البخار للتوربينة فإن التوربينة في حالة إطفاء. في حالة الفصل (trip) فإن جميع الصمامات سواء صمامات الإيقاف أو التحكم أو إعادة التسخين أو الصمامات الاعتراضية (Intercept) والتي ذكرناها سابقاً سوف تفصل أو تغلق.

فصل التوربينة يتم خلال خطوتين:

أولاً زيت EHC تحت المشغلات الهيدروليكية لكل صمام يسمح له بالعودة إلى التفريغ راجعاً إلى خزان EHC وفي نفس الوقت حركة الزنبرك في كباس المشغل (actuator) الهيدروليكي وكذا سريان البخار يجعلان قرص صمام التحكم في حالة إغلاق.

تلك الخطوتان تحدثان بسرعة كبيرة والمحصلة النهائية هو منع البخار من دخول التوربينة.

الشكل أدناه يوضح تلك المراحل لفصل التوربينة.

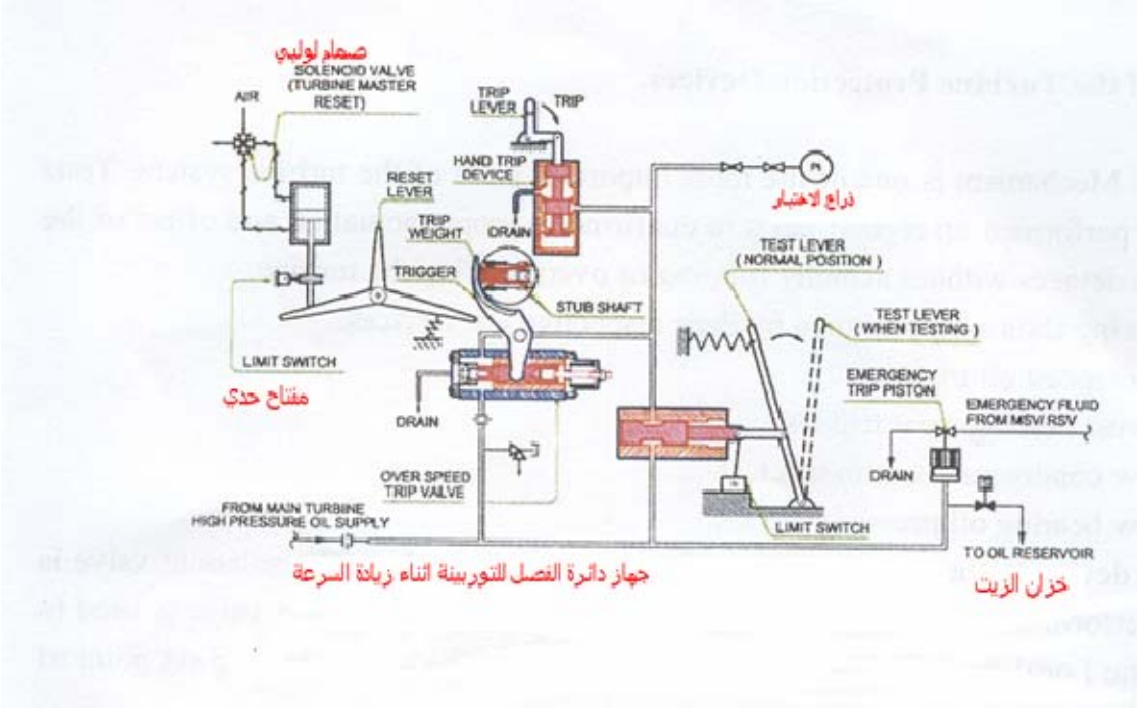

فصل التوربينة
Tripping of a Turbine.
بخار ضغط منخفض
LOW PRESSURE STEAM
FROM LOW PRESSURE STEAM
LP GOVERNING VALVE WOODWARD 5FWA-FCV-97A
LP STOP VALVE 5FWA-FBV-96A
صمام إيقاف ضغط منخفض
LP STOP VALVE 5FWA-FBV-96B
LP STOP VALVE TRIP SV
VALVE TEST SV
DRAIN
EXHAUST STEAM TO ICONDENSER
HYDRAULICALLY OPERATED VALVE WITH RETURN SPRING
FROM HIGH PRESSURE STEAM
صمام الخانق ضغط عالي
HP GOVERNING VALVE 5FWA-FCV-99A
HP GOVERNING VALVE WOODWARD 5FWA-FCV-99A
HP STOP VALVE 5FWA-FCV-98A
HIGH PRESSURE STEAM
AUTO STOP OIL
TO STOP L TRIP SV
TO BFPT OIL RESERVOIR
AUTO STOP OIL
VALVE TEST SV
HYDRAULICALLY OPERATED VALVE WITH RETURN SPRING
صمام إيقاف ضغط عالي
HP STOP VALVE 5FWA-FBV-98B
HP STOP VALVE TRIP SV
DRAIN
ELECTRO-HYDRAULIC CONTROL (EHC) OIL
الزيت لجهاز التحكم

1

2

أجهزة فصل زيادة السرعة للتوربينة Turbine Overspeed Devices :

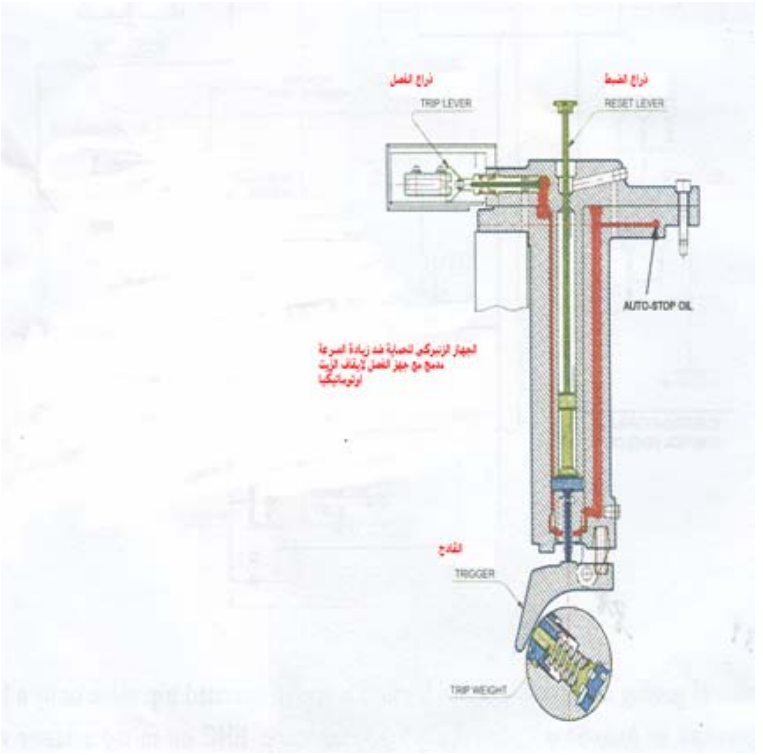
في حالة التشغيل الطبيعي للتوربينة، التوربينة تدور بسرعة rpm3600 في نظام HZ60 ، تحت ظل ظروف تشغيل طارئة كفصل مولد فجاءة من النظام فإن التوربينة ربما تزيد سرعتها.



أول من يستجيب لزيادة السرعة تلك تأتي من نظام التحكم للتوربينة. حاكم التوربينة يحس بزيادة السرعة تلك وفوراً يبدأ بفصل صمامات التحكم وكذلك صمامات الاعتراض بهدف تقليل كمية البخار إلى التوربينة.

إذا استمرت التوربينة بزيادة سرعتها فإن نظام حماية التوربينة سوف يبدأ بفصل التوربينة. عادةً فصل زيادة السرعة تتم عند 109- 111٪ من السرعة المقننة Rated Speed .

جهاز فصل زيادة السرعة الميكانيكي يتكون من عجلة wheel تقع في أعلى العضو الدوار للتوربينة وزنبرك لفصل مدموج داخل تلك العجلة كما هو واضح في دائرة فصل زيادة سرعة التوربينة أدناه.



الفصل اليدوي Manual trip :

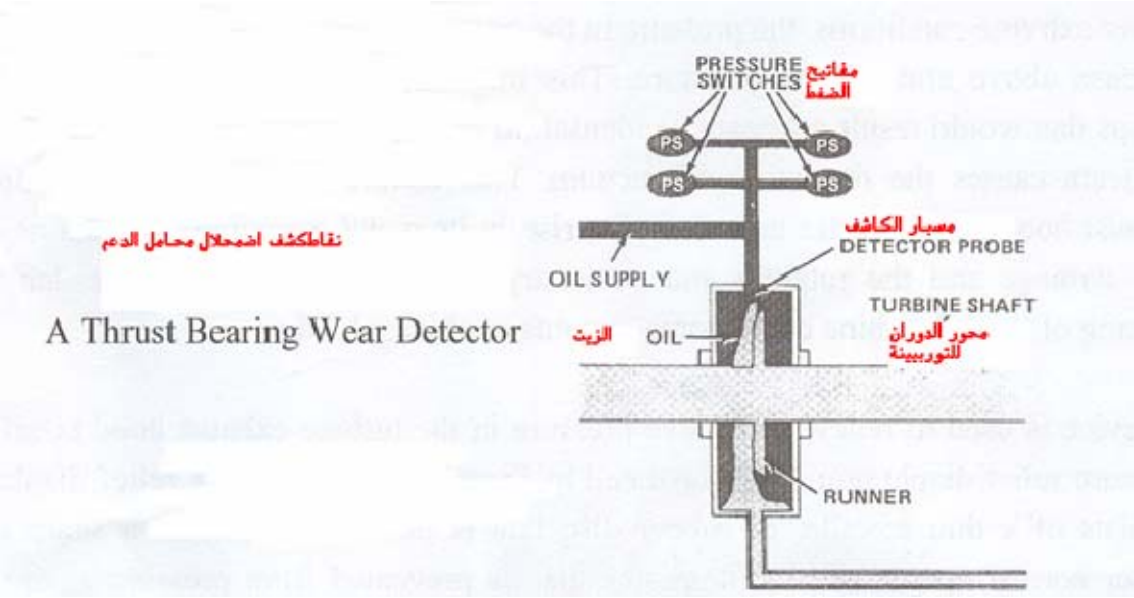
عادةً هذا النوع من الفصل عن طريق الفني المشغل هذا النوع يمكن استخدامه في أي وقت لفصل وعزل التوربينة، عادة يلجأ إلى هذا النوع في حالة فشل أنواع الفصل الأخرى من العمل.

اختبارات أجهزة حماية التوربينة Testing of the Turbine protection devices :

ميكانيكية الحماية للتوربينة هو واحد من أهم أجزاء نظام التوربينة، الاختبارات يجب أن تتم في فترات منتظمة بهدف ضمان الأداء التشغيلي لأنظمة الحماية بدون اللجوء إلى فصل التوربينة.

هذه أهم الاختبارات التي يجب أن تجرى بالأجهزة المختصة لها:

- اختبار الفصل لزيت زيادة السرعة. speed Oil Trip test over.
- اختبار الفصل لاضمحلال محامل الدفع Thrust bearing wear trip test .
- اختبار الفصل للتفريغ المنخفض للمكثف Low condenser vacuum trip test .
- اختبار الفصل لضغط الزيت المنخفض للمحامل .



A Thrust Bearing Wear Detector

Low bearing oil pressure trip test

كل جهاز اختبار من أجهزة الحماية تلك له صمامان واحد صمام لولبي Solenoide valve وآخر صمام اختبار يدوي، الصمام اللولبي يستخدم كجهاز اختبار للحماية عن بعد، أما الصمام اليدوي يستخدم كجهاز اختبار للحماية في الموقع. وكذلك فحص أجهزة الإنذار وكذلك نقطة ضبط الفصل (Trip set point) لكل مفتاح ضغط pressure switch .

2- 12 تشغيل التوربينة Turbine operation :

قبل ضمان التأكد من بداية تشغيل التوربينة بطريقة صحيحة وبموثوقية تامة فإن هناك أنظمة كثيرة مرتبطة بالتوربينة يجب أن تكون في الخدمة قبل

بداية تشغيل التوربينة، التحضير لتلك الأنظمة هو جزء من ما يسمى تحضير تشغيل الوحدة، وبما أننا نتكلم عن التوربينة فنركز فقط على التوربينة.

خطوات بداية التشغيل للتوربينة هي مسؤوليات الفني المشغل ويمكن تقسيمها إلى ثلاث مراحل هامة.

المرحلة الأولى:

تتكون من خطوات عادة تؤخذ قبل بداية دخول البخار إلى التوربينة هذه الخطوات هي:

- تشغيل نظام التزييت والتشحيم ونظام زيت الرافعة (Jacking oil system) .

- التهيئة والتشغيل لتروس التعشيق.
- فتح صمام الخروج للتوربينة Turbine drains .
- وضع نظام غدة مانع التسرب (Gland sealing) في الخدمة.
- خلق أو نشؤ تفريغ في المكثف.
- إعادة التنضيد أو التصفير Resetting لصمامات بخار التوربينة وقبول البخار إلى توربينة الضغط العالي.

المرحلة الثانية:

لبداية التشغيل تتضمن خطوات:

- تدفئة أو تسخين التوربينة warming up .
- زيادة سرعة التوربينة إلى السرعة المقننة Rated RPM .

المرحلة الثالثة:

تتضمن خطوات:

- تزامن المولد مع النظام وزيادة الحمل.
- نقل التحكم في سريان البخار من صمامات الإيقاف إلى صمامات الحاكم.

مصنعو التوربينات البخارية الكبيرة عادة يزودون التوربينة بنظام للتحكم في بداية التشغيل والتدفق إلى الأعلى للنظام (Rolling up) وهذا النظام هو نظام تحكم مبرمج أوتوماتيكي يسمى DCIS

(distvibution control and information system).

ويهدف إلى التحكم بجميع المتغيرات المذكورة أعلاه لبداية تشغيل آمنة للوحدة البخارية.

ستأخذ نماذج لتلك الخطوات بناءً على أربعة أنماط لبداية التشغيل تعتمد أساساً على توربينة قسم الضغط العالي للتوربينةHP ، درجة حرارة معدن التوربينة والتي سوف تقرر كم يكون ضغط البخار المثالي وأيضاً مدى درجة حرارة البخار المقبول والمماثل لدرجة حرارة معدن المرحلة الأولى لتوربينة الضغط العالي.

تصنيفات التوربينة: Turbine Rating :

مقدار ضغط ودرجة حرارة البخار هو:

- مدخل توربينة الضغط العالي (مدخل صمام الإيقاف الرئيسي 165 barg / 540^{o}

- مدخل توربينة الضغط المتوسط (مدخل صمام إيقاف وإعادة التسخين) 38.6 barg / 540^{o}C .

أنماط بداية التشغيل (Start up modes) :

إذا كانت درجة حرارة المعدن لخرج المرحلة الأولى لتوربينة الضغط العالي هي:

- أقل من 120^{o}C ، هذا نمط تشغيل بارد coldl start up .

- أكثر من120^{o}C وأقل من 350 فهذا نمط بداية تشغيل دافئ warm .

- أكثر من 350 وأقل من 440^{o}c فهذا نمط تشغيل حار (hot).

- أكثر من 440^{o}c فهذا نمط تشغيل حار جداً أو يسمى الخزان الحار.

حالات البخار لتدرج التوربينة كالتالي:

الجدول رقم (1) حالات البخار لتدرج التوربينة كالتالي:

وضع بداية التشغيل	ضغط البخار الرئيسي	درجة حرارة البخار الرئيسية
بارد	60 bar	بين 320 – 350c^{o}
دافئ	80 bar	بين 350c^{o} – 450c^{o}
حار	105 bar	أكثر من 450c^{o}
حار جداً	أكثر من 100 bary	أكثر من 450c^{o}

زيادة السرعة الأولى speed up1 (تدرج التربين إلى 500 rpm)

معدل زيادة السرعة إلى الأعلى يتم بواسطة جهاز DCIS أو يدوياً بواسطة المشغل، سرعة التوربينة يتم الكشف عنها وملاحظتها أثناء جميع المراحل ويتم التحكم بالسرعة بواسطة صمامات الإيقاف الرئيسية والصمامات الاعتراضية الرئيسية. أثناء تشغيل التوربينة ووصول السرعة إلى RPM500 يحتفظ بها.

وأثناء ذلك تراقب هذه العمليات التشغيلية بدقة بواسطة الأجهزة الإشرافية للتوربينة وهي:

- مركزية العضو الدوار Rotor accentricity .
- التمدد لهيكل التوربينة.
- التمدد الفرقي للعضو الدوار ـ الهيكل.
- درجة حرارة معدن المحامل أو درجة حرارة زيت التشحيم.
- درجة حرارة المعدن الداخلية والخارجية لمقدمة أو صدر البخار في التوربينة Steam chest .

عند اختيار نمط التشغيل البارد فإن السرعة تثبت لمدة 30 دقيقة أما إذا تم اختيار نمط التشغيل الدافئ أو الحار فتثبت سرعة التوربينة لمدة15 دقيقة ولكن نمط التشغيل الحار جداً يجب أن ألاَّ تثبت السرعة بأي حال.

عند الانتهاء من التدفئة عند RPM500 تبدأ مرحلة أو نمط آخر لزيادة السرعة الثانية speedup2 .

زيادة السرعة الثانية (RPM500 إلى (RPM2200 :

عند بداية تلك المرحلة فسرعة التوربينة أوتوماتيكياً تزداد إلى RPM2200 ، الخطوات المنطقية لتثبيت السرعة عند RPM2200 تضبط أوتوماتيكياً بالنسبة إلى النمط التشغيلي للتوربينة حسب التالي:

بارد	180 دقيقة (3 ساعات).
دافئ	30 دقيقة
حار	10 دقائق
حار جداً	صفر دقيقة

عند الانتهاء من التدفئة عند RPM2200 فتبدأ مرحلة أو نمط آخر لزيادة السرعة التالية speed up 3 .

زيادة السرعة التالية (3600 RPM – 2200 RPM) :

عند بداية تلك المرحلة فسرعة التوربينة أوتوماتيكياً تصل إلى السرعة المقننة لها 3600 RPM فعندها يتم السماح للوحدة بالتزامن مع الشبكة في حالة سرعة التوربينة أكبر من RPM3550 وعندها تتوقف مضخات الزيت المساعدة وتظل في موضع الاحتياط الأوتوماتيكي.

جميع الأجهزة الإشرافية لها دور هام ومحوري كبير خلال تلك الفترات التي ذكرناها ، أي سلوك غير طبيعي في أي نمط من الأنماط السابقة فسوف تصدر الإنذار وربما الفصل بهدف السلامة للأفراد وعدم فقدان الأجهزة والمعدات ومن أهمها.

- العضو الدوار للتوربينة ، إذا كان محورية المركز Eccentricity أكبر من MM0.075 فإنه سوف يصدر إنذار بذلك.
- الاهتزاز للعضو الدوار للتوربينة عند mils5 سوف يصدر إنذار بذلك وعند mils10 سوف يصدر بفصل.
- في حالة المحامل الداعمة (Thrust Bearing) سوف تصدر إنذار إذا كانت حركة العضو الدوار ±0.9mm وسوف تفصل التوربينة عند ±1.0mm .

ثلاث مجموعات للتمدد الفرقي (differential expansion) تلتقط القيم وتركب على التوربينات في:

- الجزء الخارجي لاسطوانة HP .
- نقطة اقتران (coupling) الضغط المتوسط مع الضغط الأدنى IP – LP1 .
- نقطة اقتران المولد مع LP2 .

حدود التمدد الفرقي				
وضع نقاط اللفظ	العضو الدوار طويل		العضو الدوار قصير	
	إنذار	فصل	إنذار	فصل
HP (عناية الحاكم)	9.7MM	10.7	-2	-2.9
IP الضغط التوسط	8.0MM	9	-4.7	-5.5
الضغط الأدنى (نهاية المولد)	19.MM	20	-1	-1.3

أما نقاط الضبط لدرجة حرارة المحامل هي حسب الجدول التالي:

درجة الضبط لدرجة حرارة الحوامل		
	إنذار	فصل
درجة حرارة معدن حوامل العقدة Journal Bearing	$107C^{o}$	$113C^{o}$
درجة حرارة معدن حوامل الرافعة Thrust	99	107
درجة حرارة زيت الحوامل	77c	-

2- 13 **إطفاء التوربينة** (Shutdown) :

بصفة عامة إطفاء التوربينة يعني فصل التوربينة من نظام الطاقة وغلق نظام سريان البخار، مع أن أنظمة الإطفاء وخطوات الإطفاء متشابهة بغض النظر عن حالات الإطفاء ولكن ربما طريقة العمل تختلف قليلاً وهذا يعتمد على الأسباب للإطفاء.

كمثال: إطفاء التوربينة بهدف الصيانة المبرمج تختلف عن إطفاء التوربينة في حالة الإطفاء بسبب الطارئ ولكن في حالة إطفاء التوربينة طبيعياً بهدف إجراء صيانة مخطط لها فيتبع الخطوات التالية:

الإطفاء الطبيعي للتوربينة :

1- تقليل الحمل من المولد وهذا بواسطة الحاكم ووضعه إلى موضع LOW ، في حالة تقليل الحمل فإن المشغل سوف يقلل درجة حرارة البخار والتي بدورها تقلل درجة حرارة البخار، معدن التوربينة، طبعاً درجة حرارة البخار نقللها بواسطة تقليل كمية الوقود في الغلاية.

2- لضمان برودة التوربينة يجب على المشغل الملاحظة المستمرة لدرجة حرارة البخار ـ درجة حرارة المعدن ـ التمدد الفرقي وذلك على المسجلات والمبينات الموجودة في غرفة التحكم.

3- فتح جميع نقاط التصريف للتوربينة.

4- فصل التوربينة.

معظم التربينات يتم فصلها بأكثر من طريقة ومنها :

أ- بواسطة ضغط ضاغط الفصل اللولبي.

ب- بسحب ذراع الفصل اليدوي.

ج- بسحب ذراع فصل الزيت.

5- تشغيل مضخة الزيت المساعدة.

6- فتح قاطع التفريغ Vacuum Breaker .

7- إغلاق تغذية البخار عن غدة التسرب للتوربينة.

8- ارتباط وتشغيل ترس التعشيق للتوربينة.

حماية التوربينة:

فصل التوربينة الطارئ لسلامتها من أهم الركائز العملية لمصنعي التوربينات ومن أهمها والتي اتفق معظم المصنعين عليها لسلامة التوربينة والأشخاص العاملين هي:

- اهتزاز عالٍ جداً للمحامل.
- تفريغ منخفض جداً للمكثف.
- ضغط زيت التشحيم لمحامل التوربينة منخفض جداً.
- ضغط زيت التشحيم للمحامل الداعمة (Thrust) عالٍ جداً.
- زيادة سرعة التوربينة.
- محور المركزية (eccentricity) للتوربينة عالية.
- جميع مضخات مياه التدوير (circulating) مغلقة.
- مستوى خزان الزيت للتوربينة منخفض جداً.

وبهدف اتباع خطوات تشغيل وإطفاء منطقية ستجد في نهاية الجزء مخطط هيكلي يساعدك في التعريف على المخطط البنائي لذلك.

خبرات عملية لأنظمة عمل وبدء وإطفاء التوربينات البخارية ومشاكلها والأعطال والحلول العملية لها

مراجعة أنظمة عمل المنشأة البخارية:

إن المنشأة البخارية الحرارية كما ذكرنا تقوم بتوليد الطاقة الكهربائية بالمقدار الذي يحتاجه المستهلكون حيث أن التوربينة هي المحرك الذي يقوم بتدوير المولد ولا يمكن تغيير قدرتها بشكل عشوائي، إذ أن ذلك يتعلق بشكل كامل بمنحنى احتياجات الطاقة الكهربائية. وكما ذكرنا سابقاً فإن مقدار استهلاك الطاقة الكهربائية والحاجة إليها لا يبقى ثابتاً وإنما يتغير خلال اليوم أو الأسبوع أو السنة.

فخلال اليوم نجد مثلاً أن الحاجة للطاقة الكهربائية تختلف بين الليل والنهار وذلك لأن الكثير من المصانع تتوقف ليلاً وكذلك من أجهزة الإنارة والأجهزة الكهربائية الأخرى. ولكن نلاحظ أن الحاجة للطاقة الكهربائية تزداد في الفترتين الصباحية والمسائية. ففي

الفترة الصباحية يبدأ الكثير من المصانع والورش بالعمل واستهلاك الطاقة، أما مساء فإن أجهزة الإنارة والأجهزة الكهربائية الأخرى تبدأ في العمل.

وفي أيام السبت والأحد (في أوربا) نجد أن استهلاك الطاقة صيفاً أقل من شتاءً حيث أن النهار أطول (فترة الإنارة الكهربائية أقصر) وبذلك يكون استهلاك الطاقة للإنارة والتدفئة صيفاً أقل بالمقارنة مع فصل الشتاء خلافنا نحن هنا بالمملكة .

إن تغير القدرة المطلوبة تؤثر على تردد تيار الشبكة الكهربائية عند زيادة الطلب على الطاقة الكهربائية، وهذا يترافق بانخفاض التردد للتيار الكهربائي وبالتالي انخفاض عدد دورات محور التوربينة بسبب زيادة العزم المعاكس المطبق من قبل أقطاب المولد على المحور الدوار. ومن أجل تلافي ذلك لابد من زيادة قدرة التوربينة عن طريق زيادة تدفق البخار عبرها. إن هذا النوع من التحكم الذاتي في استطاعة التوربينة يصبح ضمن حدود (2% – 1.5) .

أما من أجل زيادة قدرة التوربينة فوق هذه النسبة فلابد من استخدام آلية توافق تقوم بالتأثير على نظام التحكم وتغير المميزة الستاتيكية للتوربينة. وإذا كان من غير الممكن زيادة أخرى في قدرة المنتجة من قبل التوربينة، وذلك من أجل التغلب على هبوط تردد التيار الكهربائي، فمن الضروري عند ذلك قطع التيار الكهربائي عن جزء من المستهلكين.

وبالعكس فعند الانخفاض الكبير لاستهلاك الطاقة فإننا نلجأ إلى تخفيف الحمل عن التوربينة (أي تخفيض القدرة المنتجة من قبلها) أو حتى إلى إيقاف التوربينة بشكل كامل ونقوم بالبداية بتخفيض حاد في حمولة التربينات صغيرة الاستطاعة نسبياً، والتي تعمل عند ضغط صغير.

"إن منحنى إنتاج الطاقة الكهربائية يتم وضعه مسبقاً لكل يوم سواء لمحطة واحدة أم للشبكة العامة، حيث يبين هذا المنحنى الحمولة المتوقعة لكل ساعة. ويقوم المهندس المسؤول بتنفيذ هذا المحنى. وعند أي اختلافات طارئة عن هذا المنحنى يتم التحكم بقدرة التوربينة وفقاً لإرشادات الطاقم المناوب.

تحضير المنشأة البخارية للإقلاع والبدء:

كما هو معلوم نجد أن المنشأة البخارية تتألف من توربينة و مولد كهربائي ، أجهزة ملحقة ،أنظمة المعايرة ، أنظمة التحكم وأنظمة الحماية .

فإذا كانت التوربينة والمولد والأجهزة الملحقة في حالة سليمة ولدى مرور البخار عبر التوربينة يظهر التيار الكهربائي في الشبكة ويدخل الماء إلى الدارة، فإن هذا يعني أن المنشأة قادرة على إنتاج قدرة كهربائية مفيدة بعد بدئها أو إقلاعها. إلا أن منشأة كهذه وبدون أنظمة تحكم ومعايرة وحماية لا يمكن لها أن تعمل لمدة طويلة أو حتى لا يمكن لها أن تبدأ ، إذ أنه بدون هذه الأنظمة لا يمكن التحكم بحالة الأجهزة الموجودة في المنشأة وأنظمة عملها والتحذير المسبق أو تلافي حوادث طارئة.

إن تحضير المنشأة للبدء يتضمن فحص الأجهزة والتأكد من سلامتها ، وفي الحالات الضرورية يتم تجريبها وهنا يجب أن نتأكد من سلامة الأجهزة الملحقة ، والأنابيب ، والصمامات ، والتوربين ، والمولد ، وأنظمة التحكم والأمان ، وقبل عملية البدء يجب أن تكون كل عمليات الإصلاح ، والصيانة مكتملة.

وحسب قواعد التشغيل فإن مضخات التغذية الاحتياطية والمضخات الأخرى والتي تعمل بشكل أوتوماتيكي في حالة الطوارئ يجب أن تكون سليمة وجاهزة للعمل ويجب أن تكون الصمامات قبلها وبعدها مفتوحة. وهكذا فإن كافة الأجهزة الموجودة في المنشأة يجب أن تكون محمية من أنظمة العمل الطارئة أو من الانهيار. وقبل تشغيل الأجهزة الملحقة التي خضعت للإصلاحات أو التوقف لمدة تزيد عن ثلاثة أيام لابد من إعادة فحص أجهزة الحماية والأمان فيها ، وكذلك أجهزة التحكم الأوتوماتيكي وأجهزة القياس والصمامات. فإذا كان أحد هذه العناصر لا يعمل بشكل سليم فإن بدء التوربينة غير وارد.

وقبل بدء المنشأة البخارية يجب تسخين وتحضير كل عناصر التخفيض الأتوماتيكية الاحتياطية والتي مهمتها تخفيض الضغط ودرجة حرارة البخار. وإذا كانت صمامات الأمان خلف أجهزة تخفيض درجة الحرارة مغلقة أو غير سليمة فلا يمكن عند ذلك استخدام وتشغيل هذه الأجهزة.

عند فحص أنابيب نقل البخار وخاصة بعد الإصلاحات أو بعد فترة توقف تزيد عن عشرة أيام يجب التأكد من سلامة العزل الحراري وسلامة مساند وحوامل الأنابيب. حيث أنه في الأماكن التي تهتري أو تتخرب مادة العزل الحراري تحدث فقودات حرارية thermal losses إلى الوسط الخارجي تؤدي بدورها إلى زيادة في استهلاك الوقود.

وكذلك تنشأ إجهادات حرارية إضافية تعمل على تدني متانة الأنابيب، لذلك وفي حال تخريب العزل الحراري لابد من ترميمها، وإذا كانت عملية الترميم قبل البدء مباشرة نستخدم عند ذلك مواد عازلة من النوع الجاف. أما بالنسبة للتمدد الحراري لأنابيب نقل البخار فيجب التأكد من عدم وجود عوائق قبل البدء بتسخين الأنابيب.

وقبل عملية إقلاع المنشأة يجب التأكد من سلامة فتحات التصريف وصمامات الأمان والأجهزة المعدة لقياس تدفق درجة الحرارة المائع المنقول، وكذلك درجة حرارة معدن الأنابيب.

ومن الجدير بالذكر أن الأماكن التي يتم فيها المراقبة الدورية لوضع الأنابيب والصمامات يجب أن تكون شاغرة بحيث يتمكن الفنيون من الوصول بسهولة إلى الأماكن التي يراد مراقبتها.

ولدى فحص الصمامات وأجهزة تمرير السوائل أو الموائع يجب التأكد من صلاحيتها للعمل يدوياً وكهربائياً وهنا يجب التأكد أيضاً من وجود الأسهم ومؤشرات تجاه دوران الصمامات وصحتها (فتح ـ إغلاق) أما الصمامات المعدة للتحكم باستهلاك البخار يجب أن يوجد عليها مؤشرات تدل على درجة فتح صمامات التحكم وإن كانت الصمامات تعمل لفترة طويلة أو بشكل دائم عند ضغط تخلخلي فمن الضروري أن تكون مانعات التسرب فيها متينة وموثوقة.

وقبل القيام بعملية بدء التوربينة يجب إجراء فحص خارجي لها والتأكد من عدم وجود أي خلل في السطح الخارجي، والمادة العازلة، وأجهزة التغذية بالبخار، وعناصر أنظمة التحكم والأمان، وعناصر دارة التزييت، والمكثف والأجهزة الملحقة بها.

وإن التأكد من عملية مطابقة أنظمة التحكم والأمان لقواعد التشغيل يجب أن يتم في فترات محدودة تتعلق بنوع الأعمال التي ستجرى على الأنشطة المذكورة وفترة توقفها.

و يجب التأكد من عدم وجود أي تسرب في صمامات التحكم وصمامات التوقف.

ويمنع كذلك بدء التوربينة في حال عدم سلامة عناصر الأمان الأوتوماتيكية مثل مرحل الانزياح المحوريaccentricity، مرحل التخلخل في المكثف، مرحل انخفاض ضغط الزيت في دارة التزييت... إلخ.

وعندما يبدأ أحد عناصر الأمان بالعمل يجب أن تصدر إشارة ضوئية أو صوتية وفي الحالة التي تنغلق فيها صمامات التحكم أو صمامات التوقف فإن محور التوربينة يجب أن لا يدور حتى ولو كان البخار أمامهم وخلفهم يتمتع بضغط ودرجة حرارة نظريين. وإذا أغلقنا صمامات التوقف أو صمامات التحكم فقط فإن العضو الدوار يمكن أن يسرع في دورانه نتيجة لتسرب البخار وجريانه عبر الخلوصاتclearance الموجودة بين سرج (قاعدة) stem ورأس صمامات التحكم والتوقف. ولكن الزيادة في عدد الدورات يجب أن لا تكون أكثر من (50٪) من عدد الدورات الاسمية.

من الضروري قبل بالبدء أن تقوم بعملية فتح وإغلاق كاملين للتأكد من سلامة حركتهما. وكذلك يجب التأكد من سلامة عمل صمامات الرجوع لكل استنزافات البخارsteam extraction.

أن عدم سلامة صمامات التحكم وصمامات التوقف وصمامات الرجوع لبخار الاستنزاف، وكذلك عدم سلامة نظام الأمان يمكن أن يؤدي إلى زيادة سرعة الدوران لمحور التوربينة مما يؤدي بالمنشأة إلى حادثة أليمة عند رفع الحمل عنها بشكل مفاجئ.

إن نظام التزييت في التوربينة يشغل أهمية خاصة، فالزيت يجب أن يكون شفافاً وخالياً من الرطوبة والشوائب الميكانيكية ويتمتع بدرجة حرارة لا تقل عن (40-45 ^{O}C) إذ أنه عند درجة حرارة أقل من ذلك يكون الزيت لزجاً جداً، وهنا يمكن لمحور التوربينة بعد الإقلاع أن يبدأ بالاهتزاز على الغشاوة الزيتية. ومن أجل تسخين الزيت نقوم مسبقاً ولفترة من الزمن (وخاصة شتاء) بضخ الزيت عبر نظام التزييت فترتفع درجة حرارته نتيجة الاحتكاك. وإضافة لذلك نقوم قبل الإقلاع بتجريب مضخات الزيت الاحتياطية ومضخات الطوارئ، وتثبيت وضع سواعد صمامات نظام التزييت عن طريق الختم الرصاصي والتي بتغيير موضعها يمكن أن تؤدي إلى إيقاف تغذية الزيت لمحاملbearing التوربينة. ولا يمكن القيام بالبدء في

حالة عدم صلاحية إحدى مضخات الزيت المساعدة أو أي عطل في نظام التشغيل الأوتوماتيكي للأجهزة الاحتياطية وقبل البدء ببدء الإقلاع يجب التأكد من سلامة كل أجهزة القياس التي تسمح لنا بتتبع نظام عمل التوربينة والأجهزة الملحقة بها. إن أجهزة القياس والضبط يجب أن تكون مفتوحة قبل البدء وقابلة للتحكم عن بعد.

وهكذا نجد أن مجموعة العمليات اللازمة لتحضير التوربينة للبدء كثيرة جداً. لذلك ينصح باستخدام جداول فنية خاصة، والتي تحتوي على تسلسل وفترة العمليات التي يجب أن يقوم بها الفنيون. أما فحص الأجهزة عند التحضير للبدء فمن الضروري أن يتم وفق مسار يتحدد فيه تسلسل ومضمون العملية التي سيقوم بها الفنيون أثناء الفحص.

بدء المنشأة البخارية:

إن الميزة الأساسية لنظام إقلاع التوربينة هو تغير درجة تسخين الأجهزة وعدم تجانسه، إن ذلك يتبع لتصميم الأجهزة ودرجة حرارة وضغط البخار وكميته المارة عبر التوربينة إن أكثر أنظمة البدء صعوبة هي تلك التي يكون فيها فرق درجات الحرارة لجدران أنابيب البخار كبيراً على مسافة سماكة جدران الأنابيب وصمامات التوقف والجسم الخارجي للتوربينة وعضوها الدوار. إن الفرق في درجات الحرارة لا يتعلق فقط بسرعة تغير البدء. حيث أن البخار الابتدائي وصمامات التوقف تحتاج إلى يومين أو ثلاث حتى تبرد، أما أقسام التوربينة فلا تبرد قبل خمس أو ست أيام لذلك فإن درجة حرارة الأجهزة قبل البدء يتعلق بفترة التوقف، حالة العازل الحراري وطريقة التوقف.

وحسب درجة برودة الأجهزة يمكن تقسيمها بشكل آخر إلى عدة أنواع أهمها: الأجهزة الباردة ـ والأجهزة الحارة. تصنف الأجهزة بأنها باردة بعد فترة توقف طويلة (5- 3 أيام)، وهنا تكون درجة سخونة بعض الأماكن سخونة في التوربينة لا تزيد عن ($150\ ^{O}C$) وفي هذه الحالة يكون ضغط الجسم العامل في الغلاية قريب من الضغط الجوي. أما التصنيف الحار فيكون بعد توقف المنشأة لمدة ثماني ساعات وتكون درجة حرارة أكثر الأماكن سخونة حوالي ($400 - 420^{O}C$) . وهنا تحافظ الغلاية على ضغط عالٍ نسبياً. وتسمى الحالة ما بين التصنيف الحار والبارد بالحالة الدافئة. ويمكن للغلاية والتوربين أن يكون في حالة ما يسمى بالخزان الحار وتصادف هذه الحالة عندما تتوقف المنشأة لفترة لا تزيد عن ساعة، وهنا تبقى درجة حرارة وضغط الغلاية قريبة من القيم الأصلية العامة.

وانطلاقاً من ذلك نصنف إقلاع وبدء التوربينة إلى أربعة أنواع كما ذكرناه سابقاً:

الإقلاع من الحالة الباردة - الإقلاع من الحالة الدافئة - الإقلاع من الحالة الحارة - الإقلاع من حالة الخزان الحار أو الحارة جداً.

إن الحاجة إلى عملية الإقلاع والبدء تنبع من زيادة الطلب على الطاقة الكهربائية أي انخفاض تردد التيار. وهنا يجب أن يكون البدء سريعاً بحيث يلبي النقص الحاصل في كمية الطاقة المنتجة. ومن الضروري عند البدء أن يكون استهلاك الوقود اللازم لذلك أصغر وكذلك الفقودات في الطاقة الكهربائية وفي المكثف. ويتم كل إقلاع أو بدء وفق منحنى يبين وقت تسخين الأجهزة، وتسلسل تغير درجة حرارة وتدفق الوسط العامل، ووقت الوصول إلى الحمل الكامل (الوصل مع الشبكة) ويتم حساب منحنى الإقلاع والبدء بشكل تكون الإجهادات في معدن الأجهزة عند الحد الأقصى المسموح به، ولكن يجب أن لا يتجاوز الحدود الحدية. وهذه الحدود يحددها الفارق في درجات الحرارة في القطع الميكانيكية أو البخار والمعدن.

وهنا ليس خطراً أن نقوم بتمرير بخار حار في أجهزة باردة ولا العكس أيضاً. حيث أن الإجهادات تأخذ نفس القيمة المطلقة لكن تغير من إشارتها وهنا تتعلق قيمة هذه الإجهادات بفرق درجة الحرارة بين البخار والمعدن. .

إن الإجهادات الحرارية الناشئة في أجهزة المحطة عند بدئها يجب أن تكون محددة مسبقاً (ويمكن لها أن تتجاوز قليلاً حد المرونة) ويتم اختبار سرعة البدء بشكل لا يحصل انكسار أو تحطم لأحد الأجهزة.

إن عدم السير وفق منحنى الإقلاع أو البدء (كما لاحظناه في المحطات الغازية) يؤدي إلى زيادة غير مسموح بها في الإجهادات الحرارية العظمى، لذلك يمنع الخروج عن خط سير منحنى الإقلاع أو البدء.

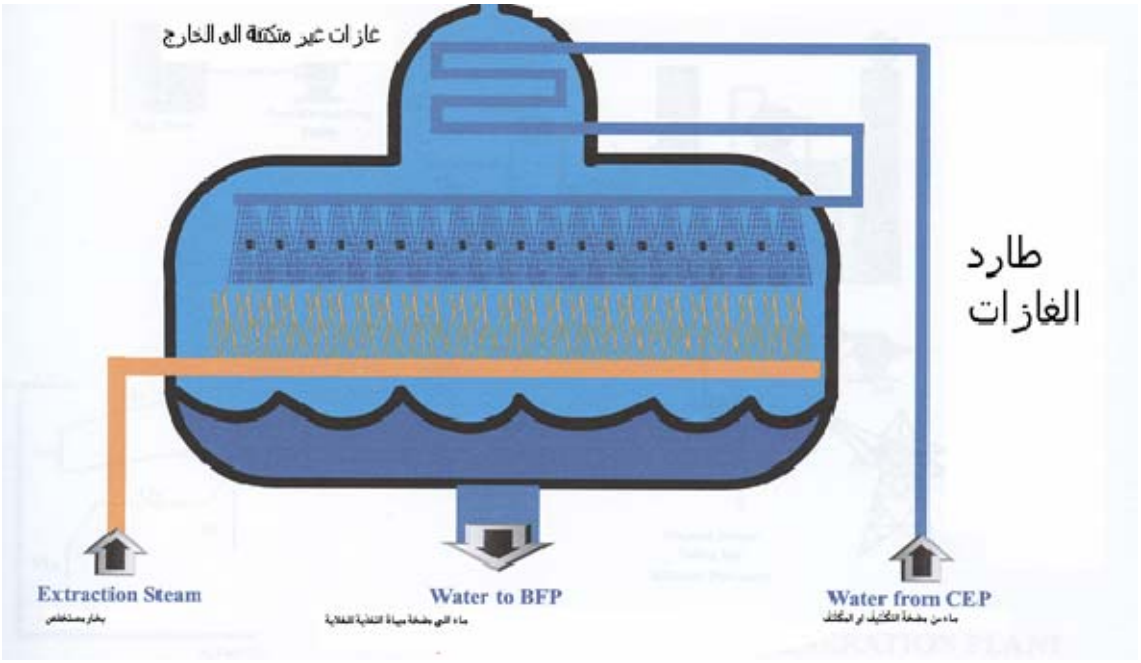
إن نظام التزييت هو من الأنظمة الأولى التي يتم تحضيرها للإقلاع وقبل البدء بتشغيل دارة التزييت يتم فحص مستوى ونوعية الزيت في خزان الزيت وبعد ذلك نقوم بتشغيل مضخة البدء العنفيةforced ، والتي تقوم بدفع الزيت إلى دارة التزييت ودارة التحكم. يمكن معرفة قيمة ضغط الزيت اللازم من لائحة الإرشادات الخاصة بالبدء.

ويمنع البدء بإقلاع التوربينة إذا كان ضغط الزيت أقل مما هو مشار إليه في لائحة الإرشادات. إذ أن ذلك يجعل العضو الدوار للتوربينة يضغط على سطح المحامل الحاملة للتوربينة. ومن الضروري التأكد من أن الزيت يصل إلى كافة المحامل ودرجة حرارته بعد المحامل وضغطه قبلها موافق للائحة الإرشادات.

ويعتبر تشغيل آلية تدوير المحور إحدى العمليات الهامة في البدء وذلك لتلافي الالتواء الحراري، وذلك عند دفع البخار أولاً نحو مانعات التسرب الخارجي ومن ثم إلى مكونات التوربينة. قبل البدء بالتغذية بالبخار يكون التوربينة والمكثف مملوأين بالهواء، ولكي نقوم بخلق حاجز بين الفراغ الموجود في التوربينة المكثفة وبين المحيط الخارجي نقوم بدفع البخار باتجاه مانعات التسرب الخارجي (الخلفية والأمامية ... إلخ). وقبل البدء بعملية التغذية بالبخار نقوم بملء المكثف بماء التكاثف (أو بماء منظف كيميائياً) بشكل يكون مستوى الماء فيه لا يقل عن 3/4 من ارتفاع الأنبوب الزجاجي المؤشر. بعد ذلك نقوم بتشغيل مضخة تدوير ماء التبريد عبر أنابيب المكثف. وكذلك نقوم بتشغيل مضخات ماء التكاثف والمفرغ الأساسي ومفرغ الإقلاع لسحب الهواء من المكثف ومن التوربينة.

بعد كل ذلك نقوم بدفع البخار نحو مانعات التسرب الخارجي. يؤخذ هذا البخار إما من طارد الغازاتdeaerator أو من مجمع بخار خاص، وتكون حرارته عادة (140- 160^{o}C) وباتجاه مانعات التسرب الخارجي لقسمي الضغط المرتفع والمتوسط في التربينات الضخمة. وعند الإقلاع من الحالة الدافئة أو الحارة، نقوم بدفع بخار بدرجة حرارة أعلى (220-260^{o}C) وتتعلق كمية البخار هذه بالضغط داخل التوربينة والمكثف، فبانخفاض هذا الضغط (تزداد درجة الفراغ) تزداد كمية البخار اللازمة من أجل دفعها نحو مانعات التسرب.

وعندما يكون الضغط في المكثف تقريباً (كيلو باسكال) KPa (40) نبدأ بقذف البخار وماء التكاثف الحر فيه، ويؤخذ البخار إما من قاذف الإقلاع والبدء أو من فوهات التصريف التابعة لأنابيب البخار. وهذا يقلل فقودات الوسط العامل عند البدء. ويجب تنظيف ماء التكاثف قبل إعادته إلى الدارة وذلك ضمن أجهزة خاصة لذلك. إن درجة الحرارة التي تعمل عندها مصافي التنظيف لهذه الأجهزة تحدد الضغط في المكثف.



عند إقلاع وبدء المنشأة نبدأ بتسخين أنابيب بخار إعادة التحميص وكذلك صمامات الإيقاف. وخلال ذلك نقوم بسحب الماء المتكاثف عبر خطوط التصريف. هذا الماء يشكل لدى تلامس بخار التسخين الحار مع السطوح، الباردة وطبعاً يتم تسخين الأنابيب والصمامات بسرعة تتوافق مع لائحة الإرشادات.

وهنا لا يجوز أن تتجاوز درجة حرارة التسخين الرقم الوارد في اللائحة وكذلك يجب تتبع مقدار تشوهات المعدن عند تسخينه ومطابقة مقدار التمدد الحراري thermal expansion مع القيم المفروضة.

ولا يتم تغذية التوربينة بالبخار قبل تسخين الأنابيب الرئيسية للبخار وصمامات التوقف حتى درجة الحرارة اللازمة والتي تتعلق قيمتها بالحالة الحرارية لأقسام التوربينة، ويجب رفع درجة حرارة البخار بعد الغلاية إلى قيمة تزيد عن درجة حرارة قسم الضغط العالي بمقدار ($100^{o}C$) تقريباً.

وبعد تحضير دارة الزيت والمكثف وتسخين أنابيب البخار وصمامات التوقف نبدأ بتغذية التوربينة بالبخار. وهنا يجب أن يكون الضغط في المكثف لا يقل عن kp_a(52-77) وعندما يبدأ محور التوربينة بالدوران تحت تأثير البخار نجد أن آلية تدوير المحور (المقلع) تتوقف أوتوماتيكياً.

في البداية نقوم بتغذية التوربينة بكمية من البخار لتؤمن لنا عدد دورات كما ذكرنا من (400-500) r.p.m لذلك يجب التأكد بأن المحامل تعمل بشكل سليم وذلك عن طريق السمع والتأكد من درجة حرارة الزيت بعدها. وعندما يكون الفراغ في المكثف حوالي ($80kp_a$) تكون كمية الهواء فيه (والتي يجب أن يحل محلها البخار) غير كبيرة وليس من الضروري سحبها بواسطة المفرغين. نقوم بإيقاف مفرغ ونبقى المفرغ الأساسي يعمل. وعند وصول عدد دورات المحور إلى القيمة الاسمية يجب أن يكون التخلخل في لمكثف لا يقل عن ($86kp_a$) إذ أنه عند ضغط أعلى من ذلك عند مخرج التوربينة (المكثف) يمكن أن تبلغ درجة حرارة البخار حداً غير مسموح به وهذا يؤدي بدوره إلى تشوهات في غلاف التوربينة casingعند منطقة الخروج وترنح لمحور التوربينة الدوار. وإلى انخفاض متانة الشفراتblading والأقراص. إن ارتفاع درجة الحرارة عند مخرج التوربينة يشكل خطراً كبيراً على الشفرات المرحلة الأخيرة المصنوعة من خلائط التيتانيوم والتي تنخفض متانتها بشكل كبير بازدياد درجات الحرارة.

وعند عملية الإقلاع والبدء من الحالة الحارة فإن الضغط في المكثف يجب أن يرفع حتى ($88\ kp_a$) وذلك قبل تغذية التوربينة بالبخار. حيث إنه في هذه الحالة نجد أن زيادة سرعة الدوران حتى السرعة الاسمية. تتم بسرعة كبيرة (5- 7) دقائق ونلجأ إلى ذلك من أجل أن تمنع حدوث تبريد للأجزاء الساخنة في قسم الضغط العالي والضغط المتوسط عندما يكون استهلاك البخار قليل عبر التوربينة.

ولكل توربينة يوجد عدد دورات معينة تزداد عندها اهتزازات التوربينة بشكل حاد أي أن محور التوربينة والمولد تقعان في حالة طنين. وتسمى هذه القيمة لعدد الدورات بالقيمة الحرجة والتي يجب أن نتخطاها بسرعة وعدم السماح للتوربينة بالعمل عندها لفترة طويلة.

إن مخطط الإقلاع والبدء الحراري للمحطة يختلف عن مخططات العمل ومن أجل محطات مختلفة (محطة ذات مجموعات توربيني أو محطة ذات مجموعة توربينة واحدة). ويتم تحضير هذه المخططات آخذين بعين الاعتبار مميزات الأجهزة التي تحتويها كل محطة ويضاف إلى ذلك الأجهزة والعناصر التي تمكننا من تسريع البدء وزيادة مردود المنشأة ومتانتها.

إن ميزة أنظمة بدء المجموعات التوربينية تتلخص بأنه في وقت واحد نقوم بإقلاع وبدء الغلاية والتوربين. إن منحنى ونظام بدئهما يجب أن يكونا متفقين تماماً مع بعضهما البعض ونقوم بزيادة إنتاج البخار في الغلاية بالتدرج بشكل يزداد فيه الضغط بشكل يتوافق مع زيادة درجة الحرارة. هذا النوع من البدء يوفر لنا الوقت حيث أن تسخين أنابيب البخار والتوربين يتمان في وقت واحد مع إشعال الغلاية مما يمكننا من التقليل في فروق درجات الحرارة في مكونات أنابيب البخار والتوربين ونتيجة لذلك نقلل من الإجهادات الحرارية التي تتعرض لها هذه المكونات.

في المرحلة الأولى نحتاج إلى كمية بخار صغيرة من أجل تسخين أنابيب البخار وبدء تدوير محور التوربينة. إلا أن تدفق البخار المنتج من الغلاية يكون في هذه الحالة أكبر بكثير حيث أن كميته تتحدد بمقدار الوقود المبخوخ اللازمة للوصول بشروط البخار إلى القيم اللازمة كدرجة الحرارة والتي تتعلق بدرجة حرارة التوربينة قبل الإقلاع (باردة ـ دافئة ـ حارة) لذلك فعند إشعال الغلاية وتسخين أنابيب البخار فإن جزءاً من البخار يتم قذفه إلى المكثف عبر أقنية خاصة، وهنا تكون صمامات التحكم مغلقة وبعد تغذية التوربينة بالبخار تبقى الأقنية الخاصة لقذف البخار مفتوحة لوقت ما من أجل طرح البخار الزائد إلى المكثف وفيما بعد وعندما تأخذ التوربينة محلها الابتدائي نقوم بإغلاق الأقنية وهنا نجد أن كل البخار المولد في الغلاية يذهب إلى التوربينة.

وعند الإقلاع والبدء من الحالة الباردة فإن تسخين أجهزة التغذية بالبخار وقسم الضغط العالي يجب أن يتم بواسطة بخار درجة حرارته أقل قدر الإمكان عن درجة الحرارة المحددة في مخطط الإقلاع والبدء. إلا أن درجة حرارة البخار يجب أن لا تكون منخفضة جداً بحيث تكون درجة تحميصه لا تقل عن ^{o}C (40 – 20) وعند درجة تحميص أقل من ذلك

يمكن أن تدخل إلى التوربينة بخار رطب يمكن أن يؤدي إلى تآكل سريع للشفرات المتحركة أو حتى إلى انكسارها.

إن أفضل درجة حرارة لهذا البخار هي من ($250 - 300^{o}C$). إن هذا البخار يجب أن يدخل إلى صمامات التوقف للتوربينة الباردة عند بدء التوربينة بالدوران وحتى قيمة الدوران الاسمية.

إن إقلاع وبدء المجموعة التوربينية من الحالة الدافئة للتوربينة يتم عندما تكون درجة حرارة التوربينة ساخنة أما معدن أنابيب البخار تكون باردة وبحاجة إلى تسخين. وإلى التوربينة الساخنة لا يجوز أن ندفع ببخار درجة حرارة أقل بكثير من درجة حرارة المعدن إذ أن تبريد جسم التوربينة ومحورها غير مرغوب حيث أنه تنشأ إجهادات أشد حرارية على السطوح الداخلية لجسم التوربينة وكذلك على السطح الخارجي لمحور التوربينة إضافة لذلك فإن دخول بخار بارد إلى التوربينة يسبب تقلص نسبي للمحور وبالتالي يقل من الخلوصات المحوريةaxial clearance في التوربينة.

وعملياً لا يمكن التلافي الكامل للتبريد البدائي للتوربينة عند إقلاعها وبدئها من الحالة الدافئة وهذا يعود إلى أن البخار الحار بعد صمامات التحكم يمر عبر أنابيب باردة نسبياً ويتبرد فيها وبعد ذلك فإن درجة حرارته تنخفض أيضاً في مرحلة التحكم لذلك فإن درجة حرارة البخار قبل الإقلاع يجب أن تزيد وبشكل ملموس عن درجة حرارة التوربينة.

ومن أجل تلافي التبريد الكبير للتوربينة فإن حرارة البخار في الأنابيب قبل الصمام الانزلاقي الرئيسي يجب أن تزيد عن درجة حرارة أكثر الأجزاء حرارة في التوربينة بمقدار لا يقل عن ($50\text{-}100\ ^{o}C$).

وعند إيقاف المجموعة التوربينية لفترة قصيرة (ليلاً مثلاً) فإن درجة حرارة معدن التوربينة يكون عالياً بشكل تكون فيه عملية تحميص البخار غير ممكنة لذلك فإن درجة حرارته يجب أن تكون مساوية لدرجة الحرارة الابتدائية النظرية.

إن تبريد أجهزة تغذية التوربينة بالبخار في هذه الحالة يكون كبيراً لذلك فإن الإقلاع من الحالة الحارة ومن أجل تقليل تبريد التوربينة يجب أن يكون ضمن فترة قصيرة (5- 10) دقائق.

ويتم تحميل المولد بعد وصله بالشبكة بسرعة كبيرة أيضاً (مثلاً في المجموعات ذات القدرة من (200 – 300 Mw) يتم الوصول إلى الحمل الاسمي للمجموعة خلال (60- 90) دقيقة بدءاً من ربط المولد بالشبكة).

إن هذا الوقت القصير للإقلاع والبدء يتطلب اهتماماً خاصاً وتتبع دقيق لتسلسل ومدة عمليات الإقلاع والبدء.

تسخين عناصر التوربينة عند الإقلاع والبدء:

عند إقلاع التوربينة تتغير درجة حرارة كافة عناصرها ومكوناتها بما فيها عناصر التغذية بالبخار والجسم الخارجي للتوربينة والعضو الدوار... إلخ. ونتيجة لذلك فإنه عند عملية الإقلاع نلاحظ أن طول المحور يصبح أكبر من طول جسم التوربينة وتتغير أبعاد الخلوصات في التوربينة.

إن عدم التجانس في درجات حرارة مكونات التوربينة والذي تنشأ لدى التسخين يؤدي إلى إجهادات حرارية وإلى اعوجاج والتواء العناصر المكونة للتوربينة.

إن الإجهادات الحرارية لا تنشأ نتيجة لعدم تجانس التسخين على مدى سماكة الجدار فحسب وإنما في الأماكن التي يتم فيها ربط قطعتين ذات سماكتين مختلفتين مثل عملية وصل أنابيب البخار بالجسم الخارجي لصمام التدفق أو التوربينة ومكان الخروج من التوربينة إلى الأنابيب الراسية أو الأفقية، وتظهر الإجهادات الحرارية عندما يتعرض الجزء الواحد لدرجتي حرارة مختلفتين وهكذا نجد أن أنابيب البخار تسخن أسرع من جسم التوربينة، والأخير يسخن أسرع من حلقات الوصل بين الأنابيب.

وعادة ما تسخن صمامات التوقف والتحكم عند زيادة درجة الحرارة والضغط عند مخرج الغلاية، لذلك فإن تمرير كمية صغيرة من البخار عبر الصمامات يجعلها تسخن

تدريجياً إن الإجهادات الحرارية الكبيرة تظهر في معدن الصمامات فقط عند التسخين الشديد في المرحلة الأولى من الإقلاع والبدء من الحالة الباردة أو الحالة الدافئة، .

عند الإقلاع والبدء من الحالة الباردة نجد أن أجزاء الضغط العالي للتوربين (جسم التربين والعضو الدوار). تحتاج إلى تسخين مسبق، وذلك حتى لا تنشأ إجهادات حرارية عند دفع البخار إليها. وأحياناً نقوم بذلك قبل الإقلاع للتوربينة بواسطة بخار ثانوي درجة حرارته غير كبيرة نعمد إلى دفعه عبر الحجرة الخلفية للتوربينة. إن هذه الكمية غير الكبيرة من البخار تمر عبر قسم الضغط العالي للتوربين باتجاه عكسي فنقوم بتسخينه وعبر أقنية التصريف تذهب إلى المكثف.

أن الإجهادات الحرارية تنشأ وتتغير أثناء كل فترة الإقلاع والبدء، وكذلك عند تغير نظام عمل التوربينة (حمولات جزئية). وبغض النظر عن اختلاف أنظمة إقلاع التربينات المختلفة فإنه يمكن تقسيم الإقلاع إلى ثلاث مراحل تختلف عن بعضها بشروط تسخين الأجهزة والآلات.

المرحلة الأولى:

نقوم بتسخين عناصر تمرير البخار (صمامات التوقف والتحكم) والتي تبرد بسرعة عند إيقاف التوربينة مقارنة مع أقسام التوربينة. وفي هذه الحالة تكون صمامات التحكم مغلقة والمولد لا تكون موصول مع الشبكة ويتم تدوير المحور بواسطة جهاز تدوير كهربائي. إن التسخين المسبق لعناصر تمرير البخار يعتبر عملية ضرورية إذ أن صمامات التوقف والتحكم تتميز بجدران سميكة ولدى تغذية التوربينة بالبخار بدون تسخين مسبق للعناصر تنشأ إجهادات حرارية كبيرة فيها. إن عملية تسخين عناصر تمرير البخار تتنوع حسب تنوع تصميمها.

إن البخار اللازم لعملية التسخين يمكن أن يكون من أحد المصادر التالية: بخار أولى من الغلاية التابعة للتوربينة. وبخار مستنزف عن أنابيب التحميص بين المراحل لتوربينة مجاورة في حالة عمل، بخار مستنزف مباشرة من الأنابيب أمام التوربينة.

وعند إقلاع التوربينة وبدئها يتعرض محورها لإجهادات شد حرارية والتي يمكن أن تشكل خطراً عند سرعات دوران كبيرة للمحور. وتتعرض الأقراص إلى إجهادات إضافية، حيث إنها تسخن بسرعة أكبر من المحور

المرحلة الثانية:

في هذه المرحلة من تسخين أجزاء التوربينة نقوم بدفع البخار إليها وذلك بفتح صمامات التحكم. وهذه المرحلة تنتهي بوصول التوربينة إلى حالة العمل بدون تحميل ومن ثم وصل المولد بالشبكة الكهربائية. ويتم تسخين أجزاء التوربينة بواسطة البخار الذي يمر عبرها. وتزداد سرعة تسخين التوربينة بازدياد عدد دوراتها.

ويمكن أن تتغير درجة حرارة البخار في التوربينة أو أمامها ليس فقط بسبب زيادة درجة الحرارة البخار المتولد في الغلاية، حتى فيما إذا الأنابيب وعناصر تمرير البخار في قسم الضغط العالي للتوربين مسخنة بشكل جيد لكي لا ينشأ فيها إجهادات حرارية خطرة فإن درجة حرارتهم يمكن أن تكون أصغر بكثير من الدرجة اللازمة، وفي هذه الحالة سوف تستمر درجة حرارة هذه العناصر في الارتفاع وحيث أن تدفق البخار في هذه الحالة غير كبير، ومن أجل تسخين العناصر يلزمنا كمية كبيرة جداً من الحرارة، لذلك فإن البخار في الأنابيب سوف يبرد ودرجة حرارته أمام التوربينة سوف تكون أقل من درجة حرارته عند مخرج الغلاية. ومقدار انخفاض درجة حرارة البخار يمكن أن تصل إلى ($100\ ^{o}C$) أو أكثر ولكن مع زيادة درجة حرارة الأنابيب فإن مقدار الانخفاض يقل، لذلك فإن درجة حرارة البخار أمام التوربينة يزداد، حتى ولو كانت عند مخرج الغلاية تتميز بقيمة ثابتة.

المرحلة الثالثة:

وفي هذه المرحلة يكون المولد مربوط بالشبكة الكهربائية وعدد دورات التوربينة ثابت أما التسخين فيستمر لازدياد التدفق، وضغط درجة حرارة البخار وذلك أثناء تحميل التوربينة.

وبعد الانتهاء من المرحلة الثالثة للتسخين ووصول التوربينة إلى نظام العمل الثابت فإن الاجهادات الحرارية في جدران جسم التوربينة لن تختفي تماماً. والأسباب الرئيسية لذلك هي عدم التوزيع المتجانس لدرجات الحرارة على مدى أجزاء التوربينة والفرق البسيط في درجات

الحرارة على طول سماكة الجدران. نجد أن درجة حرارة جدران التوربينة تتبع درجة حرارة البخار التي تكون قصوى في منطقة المرحلة المعيارية وأصغر عند مخرج التوربينة.

الاستثمار والتشغيل الأمثل للتوربينة البخارية أثناء العمل:

إن متانة ومردود الأجهزة العاملة في المنشأة البخارية تتعلق بمستوى التحضير المهني والانضباط الذي يتمتع به الفنيون في المنشأة. إن المهمات الملقاة على عاتق الفنيين في الحالات المختلفة أثناء عمل المنشأة موضحة ومبينة في لائحة الإرشادات التشغيلية للتوربينة والأجهزة الملحقة، إن التنفيذ الدقيق والواعي للإرشادات هو الشرط الكفيل بضمان عمل موثوق للتوربينة.

إن كل عملية يقوم بها الفنيون تؤدي إلى تغير نظام عمل الأجهزة وهنا يتوجب على الفنيين المعرفة الجيدة والسابقة لما سيحصل من عواقب وما يتوجب عليهم لمواجهة هذه العواقب.

إن كلفة الأجهزة الداخلة في تركيب المحطات الحرارية عالية جداً وتقوم هذه المحطات بتغذية الكثير من المصانع والمناطق الآهلة بالسكان بالطاقة الكهربائية اللازمة، لذلك فإن تعطل أحد أجهزة المحطة الهامة سيؤدي إلى ضرر كبير في الاقتصاد الوطني، وأحياناً يمكن أن يؤدي إلى كارثة أليمة.

وفي حال أي خلل يجب تنفيذ مجموعة من العمليات بشكل سريع وضمن ترتيب محدد لذلك وتفاد لأي خطأ على الفنيين أن يحفظوا ترتيب العمليات عن ظهر قلب.

إن متانة ومردود efficiency التوربينة يتعلقان بشكل رئيسي بحالة أجزاء ومكونات التوربينة وحوامل الشفرات ومانعات التسرب. إن تآكل الشفرات المتحركة والثابتة وظهور ترسبات عليها، وتآكل مانعات التسرب والهياكل الحاملة للشفرات وتغير شكلها ووضعيتها بالنسبة للعناصر الأخرى يؤدي إلى زيادة الفقودات وبالتالي انخفاض مردود التوربينة. إن أكثر العناصر تعرضاً لظروف عمل صعبة هي الشفرات المتحركة حيث إنها تتعرض للانحناء تحت تأثير تيار البخار وفرق الضغط على الدولاب أو الهيكل، وتتعرض كذلك للاجتهدات الناشئة بسبب الدوران وتتعرض الشفرات أيضاً للاهتزازات بسبب عدم تجانس تيار البخار، وتتسخ بطبقات من الترسبات ...إلخ.

إن درجة الحرارة أمام التوربينة يجب أن تكون ثابتة ويجب أن لا تتجاوز الحدود المسموح بها. إن الشفرات المتحركة للمراحل الأولى ترتفع درجة حرارتها إلى عدة مئات من الدرجات، أما درجة حرارة الشفرات المتحركة في المراحل الأخيرة فهي منخفضة إذ أنها تلامس بخاراً رطباً منخفض الحرارة.

إن زيادة درجة البخار عن القيمة الاسمية يؤدي إلى انخفاض حاد في خصائص المتانة للشفرات المتحركة في المراحل الأولى من قسم توربينة الضغط العالي وذلك بسبب تدني الخواص الميكانيكية وزيادة سرعة الزحف للمعدن واحتمال ظهور تشققات التعب والأعطاب الأخرى.

إن زيادة درجة الحرارة يؤثر أيضاً على متانة الجسم الخارجي للتوربينة ،والهياكل الحاملة للشفرات، ومانعات التسرب وعناصر التغذية بالبخار.

وكذلك فإن انخفاض درجة البخار عن القيمة الاسمية أمر غير مسموح به، حيث إنه في الحالة تزداد نسبة الرطوبة فيه في المراحل الأخيرة وبذلك يزداد عدد المراحل التي تعمل في وسط من البخار الرطب. وتتعرض هذه المراحل إلى تآكل شديد من النوع الكيميائي والميكانيكي. إن انخفاض درجة حرارة البخار تمهد لظهور قوى محورية إضافية وزيادة الحمولة على المحامل الاستنادية، ويقلل كذلك من مردود الدارة والتوربين نتيجة زيادة الفقودات فيها بسبب الرطوبة.

وبالرغم من تنقية الماء المستخدم في المنشأة، فإننا نجد البخار الداخل إلى التوربينة محمل ببعض الأملاح، ويخرج من الغلاية ذي الضغط العالي بخار بحمض السليسيوم والأكاسيد المعدنية الذائبة. إن الأوساخ التي يمكن أن يحملها البخار أو ماء التغذية مصدرها التسربات عبر مانعات التسرب أو أماكن الوصلات في المكثف والمسخنات وهذه الأوساخ تترسب على أجزاء التوربينة، وبسبب أن تدفق البخار كبيراً فإن الترسبات على سطح الشفرات يمكن أن تنمو بسرعة بالرغم من النسبة الصغيرة للشوائب في البخار. فعلى شفرات التوربينة التي تعمل عند ضغوط حتى (9mp) تترسب أملاح الكبريت الذوابة والكلور وبيركربونات الآزوت. وبزيادة الضغط حتى (13) تزداد في البخار كمية حمض السيليوم والتي تترسب على الشفرات على شكل بلورات أو شكل لا بلوري.

. أما التوربينات التي تعمل عند الشروط فوق الحرجة فنلاحظ ترسب أكاسيد المعادن والتي تتألف تقريباً (50-80%) من أكاسيد النحاس أما النسبة المتبقية فتحتوي على أكاسيد الحديد ، أملاح الآزوت والسيليوم.

إن وجود الترسبات يؤدي إلى تغيير شكل الفوهات الثابتة والمتحركة وهذا يؤدي انخفاض مردود التوربينة. ونتيجة لانخفاض مساحة مقاطع عبور البخار فإن المقاومة الهيدروليكية لهذه المقاطع تزداد وكذلك الضغط على مراحل التوربينة تزداد القوى المحورية مما يزيد من حمولة المحامل والهياكل الحاملة للشفرات. وفي حالة الزيادة الكبيرة لسماكة الترسبات فإن جزءاً منها ينسلخ ويؤدي إلى إعطاب في شفراتblades التوربينة.

ويمكن تحديد حالة أحد أجزاء التوربينة بواسطة الضغط في مراحل المراقبة (control stages) وهذا الضغط يتعلق بتدفق البخار وحالة التوربينة.

فعند كل تدفق للبخار ومن أجل توربينة نظيفة (بدون ترسبات) يمكن تحديد الضغط بدقة في هذه المراحل، وعند وجود الترسبات فإن هذا الضغط يزداد. لذلك يمكن تحديد درجة الترسبات بمقارنة الضغط في مراحل المراقبة ومقارنته مع الضغط المحدد من قبل الشركة الصانعة عندما تكون التوربينة نظيفة.

ومن أجل إزالة الترسب يقوم بغسل التوربينة وبدون إيقافها. وأثناء عملية الغسيل تقوم برفع الحمولة عن قسم الضغط العالي للتوربين حتى تصبح (30-50%) من الحمولة الاسمية، أما التوربينة التي تعمل ضمن محطة مؤلفة من مجموعات توربينية فنقوم برفع الحمولة حتى تصبح بمقدار (25%) من الحمولة الاسمية. إن الترسبات الذوابة يتم إزالتها بواسطة بخار رطب، أما ترسبات حمض السيليسيوم فيتم إزالتها بواسطة مركبات كيميائية خاصة التي يتم إضافتها إلى البخار. وبعد الانتهاء من عملية الغسيل نقوم بقياس الضغط في مرحلة المراقبة.

وأثناء عمل التوربينة يجب أن نقوم بجولات دورية (يكون مسارها محدود سابقاً) من أجل مراقبة التوربينة والمولد والأجهزة الملحقة وتسجيل القيم الضرورية، وكذلك يجب الاستماع الدوري إلى صوت التوربينة.

إن المراقبة الخارجية والاستماع الدوري لصوت التوربينة يمكننا من كشف أي عطب يمكن أن يصيب التوربينة، حيث أن الصوت يتغير وتبدأ التوربينة بإصدار أصوات صدمات وضجيج داخل التوربينة، عند عمل التوربينة بشكل غير منتظم. إن الاستماع الدائم لصوت التوربينة يجعلنا نميز بسرعة الصوت الطبيعي من الصوت غير الطبيعي.

المراقبة الخارجية تمكننا أيضاً من اكتشاف التشققات في الأنابيب والتأكد من عمل المحامل ومانعات التسرب الخارجي للبخار (عندما تصدر مانعات التسرب أو المحامل شرارات أو دخان يجب أن نوقف التوربينة دون إبطاء)ويجب أن ننتبه جيداً إلى حالة المحامل الاستنادية عند التغير الحاد لحمولة التوربينة، فعند زيادة التحميل على المحامل الاستنادية تزداد درجة حرارتهم. (والتي يجب أن لا تزيد عن 90c) ويجب مراقبة التوربينة والاهتزازات التي يمكن أن تتعرض لها. حيث نقيس مطال وقيمة الاهتزاز للمحامل كما ذكرناه سابقاً في الاتجاهات الثلاث: الرأسي، الأفقي، والمحوري

وتبعاً لقيم الاهتزاز يمكن أن نقيم حالة التوربينة، إما ممتازة أو جيدة أو مقبولة. في التوربينات ذات الحالة الممتازة أو الجيدة نقوم بإجراء القياس، مرة كل شهر، أما في التوربينات ذات الحالة المقبولة مرة كل أسبوعين.

ونقوم بإجراء مراقبة الاهتزازات عند نفس الحمولة للتوربينة (لا تقل عن 50٪ من الحمولة الاسمية). وبالإضافة إلى الفحص الدوري للاهتزازات يجب أن نقوم بفحص مماثل قبل إيقاف التوربينة من أجل الإصلاح الشامل، وكذلك بعده أو عند الزيادة الملحوظة في اهتزاز المحامل. وقبل الإصلاح وبعده نقوم بفحص الاهتزاز عند عدة أنظمة لعمل التوربينة: عند عمل التوربينة بدون تحميل وبدون تهيج، ومع التهيج عند نصف الحمولة، وعند الحمولة الكاملة.

مراقبة عمل دارة التزييت والتحكم والأمان:

إن نظام دارة التزييت للتوربينة يجب أن يتميز بجودة عالية بشكل يؤمن تغذية الزيت ذي النوعية الجيدة تحت ضغط ودرجة حرارة معينة خلال كل فترة عمل التوربينة بدون انقطاع وعند وجود خلل في دارة التزييت تتوقف تغذية الزيت إلى المحامل وكذلك تتوقف تغذية الزيت إلى دارة التحكم مما يمكن أن تؤدي إلى حادثة أليمة في المحطة، وبغض النظر عن المزايا المختلفة لدارات التزييت في التوربينات المختلفة هناك متطلبات عامة تتضمن خدمة هذه الدارة

وفق لوائح التشغيل الأمثل. وفي فترة عمل التوربينة من الضروري وبشكل دائم مراقبة وضبط ضغط درجة حرارة الزيت في أماكن محددة من دارة التزييت وبشكل خاص نولي اهتماماً لمراقبة درجة حرارة الزيت بعد الحوامل.

لدى التشغيل نراقب حالة مضخات الزيت ودرجة حرارة المحامل ونقوم بمنع تسربات الزيت عبر المانعات ونراقب مستوى الاهتزازات ولا نسمح بحمولات إضافية للمحركات الكهربائية الخاصة بتدوير مضخات الزيت في أماكن توصيل أنابيب نقل الزيت يجب التأكد من عدم تسربه، وبسبب زيادة الاهتزازات في أنابيب الزيت تظهر عليها تشققات يمكن أن تؤدي إلى انهيار سريع لأنابيب الزيت وهنا من الضروري إيقاف التوربينة.

إن الجودة العالية لعمل دارة التزييت تتأمن بإدخال مضخات زيت احتياطية (كهربائية أو توربينية) إلى دارة التزييت والتي تبدأ بالعمل أوتوماتيكياً عند انخفاض ضغط الزيت تحت الحدود المسموح فيها. كما أنه يتوجب اختيار آلية العمل الأوتوماتيكي والمضخات لأقل من مرتين في الشهر (بدون توقيف التوربينة). فمن أجل اختيار المضخات يقوم الفنيون وبأمر من رئيس الوردية بالاختبارات اللازمة. عند إقلاع المضخات يرتفع الضغط في أنابيب الزيت التي تلي المضخة وهنا يزداد تيار الزيت عبر المحامل.

تتم مراقبة زيادة تدفق الزيت عبر زجاج مراقبة في أنابيب تفريغ الزيت بعد المحامل. يتم وصل مضخات الزيت الاحتياطية إلى الدارة بشكل يمكن اختبارها في نظام الإقلاع أو البدء الأوتوماتيكي ولهذا الهدف نقوم وبشكل مقصود بتقليل ضغط الزيت في المنطقة من أنبوب الزيت والتي يركب فيها مرحل البدء أو الإقلاع الأوتوماتيكي. إن انخفاض ضغط الزيت هذا إلى حد معين يجعل المضخة الاحتياطية تبدأ بالعمل أوتوماتيكياً تحت تأثير حركة المرحل. أن نتائج اختبار آليات الإقلاع الأوتوماتيكي للمضخات يسجل في جدول الملاحظات اليومية.

ومن أجل عمل طبيعي لمضخات الزيت يجب وبشكل دائم سحب الهواء من الأماكن العليا في المضخات (تنفيس الهواء) وأنابيب نقل الزيت وذلك من أجل تلافي تشكل وسادات هوائية إذ أن دخول الهواء إلى الدولاب العامل للمضخة يمكن أن يؤدي إلى انقطاع في عمل المضخة.

إن جودة عمل دارة التزييت تتعلق أيضاً بنوعية ونظافة الزيت نفسه لذلك يتم فحص نوعية الزيت في ورشة المحطة مرة في اليوم (في الوردية النهارية)، إضافة لذلك نقوم بتحليل مختصر مرة كل شهرين وذلك فيما إذا كانت درجة الحموضة أقل من نصف مليغرام وكان الزيت شفافاً تماماً، ونقوم بهذا التحليل مرة كل أسبوعين إذا كان رقم الحموضة أكبر من نصف مليغرام واحتوى الزيت على كمية من الماء والشوائب وعندما تتدنى نوعية الزيت بشكل حاد نقوم بإجراء تحليل طارئ.

إن نظافة الزيت يتم تأمينها بواسطة مصافي تركب في خزان الزيت التابع للتوربينة. إن اتساخ المصافي يؤدي إلى انخفاض ضغط الزيت ويقلل من مردود المضخة ونتيجة لذلك يدخل إلى المحامل كمية أقل من الزيت. والتي بدورها تسحب كمية أقل من الحرارة مما يزيد حرارة المحامل ونقوم عادة بتنظيف المصافي أثناء الإصلاحات وفقاً إلى اللوائح التشغيلية ويتم سحب المصافي بشكل دوري من خزان الزيت مرة كل أسبوع، ونقوم بتنظيفها بواسطة الهواء المضغوط وعلى الفنيين أن يقوموا عند تبديل المصفاة ولمدة ساعة بمراقبة الضغط في دارة التزييت ودرجة حرارة المحامل.

إن تصميم المصافي وتركيبها يتم بحيث يمكن نزعها وتنظيفها واستبدالها والتوربين في حالة عمل، كما أن المحافظة على النوعية الجيدة للزيت والتدابير اللازمة لمنع الزيت من التسرب وانخفاض ضغطه هي من مهام الفنيين الذين يعملون في المحطة.

إذا انخفضت نوعية الزيت بشكل لا يمكن الاستمرار في استخدامه فإننا نقوم بنقله إلى منشأة مركزية هامة لتنظيف الزيت أو إلى محطة حرارية ضخمة تحتوي على منشآت لتنظيف الزيت بالمستوى المطلوب، عادة نقوم بتركيب صمامات على أنابيب الزيت وأنابيب ماء التبريد وبالقرب من مبردات الزيت تمكننا هذه الصمامات من إغلاق وفصل أي مبرد للزيت عن دارة التزييت وهذا يكون ضرورياً عندما نلاحظ وجود تسرب في أحد مبردات الزيت.

إن الفصل الخاطئ لمبرد الزيت أو الإغلاق للصمام بسبب الاهتزازات يمكن أن يؤدي إلى توقف الزيت أو يؤدي إلى تغذية المحامل بالزيت بشكل غير متجانس لذلك فإن سواعد كافة صمامات الإنزلاقية والتي بواسطتها يمكن إيقاف وصول الزيت إلى التوربينة يتم ختمها

بالرصاص بحيث يقوم رئيس الدورية أو كبير الفنيين التوقيع على ذلك في دفتر الملاحظات ولدى تغير الوردية يتم التأكد من وجود هذه الأختام

إن الفصل الطارئ لمبرد الزيتcooler أو إيقافه يتم من قبل الفني المناوب وذلك بوجود المهندس المناوب في المحطة ويتم تسجيل ذلك في دفتر الملاحظات وبما أن دارات التزييت تختلف ببعض الخصوصيات حسب التوربينة فإننا قبل أن نبدأ بتشغيلها وخدمتها من الضروري أن ندرس مخطط دارة التزييت بدقة ومبادئ العمل فيها والتعرف على التركيب وطريقة الاستثمار ومعرفة الملاحظات الخاصة بهذه الدارة.

إن كافة المنشآت التوربينية تحتوي على دارات تحكم أوتوماتيكية ودارة إرسال إشارات تحكمية وكذلك أنظمة الأمان التي تضمن لنا استثمار وتشغيل موثوق لفترة طويلة لأجهزة المنشأة وفق لوائح الاستثمار والتشغيل، كما أن أنظمة التحكم والتغذية للبخار وعمله الربط بينهما تتميز بوجود عدد كبير من الوصلات.

إن الاحتكاك والتسرب عبر الخلوصات يقللان من حساسية أنظمة التحكم وهذا يؤدي إلى عدم استقرار في عمل التوربينة وإلى عواقب خطيرة. فإذا كان الاحتكاك كبيراً فمن الممكن حدوث استعصاء وزرنقة في صمامات التحكم وحجرات الزيت. ويحصل ذلك عندما تبقى هذه الصمامات لفترة طويلة في وضع ثابت وكذلك عند وجود ترسبات بين الأجسام المنزلقة على بعضها البعض. وفي حالة الفصل الطارئ للمولد عن الشبكة فإن الصمامات لا تغلق ويستمر جريان البخار إلى التوربينة مما يمكن أن تؤدي إلى حوادث خطيرة.

إن قواعد التشغيل تشمل على حدود حركة الصمامات لذلك فإنه يتم تحركيها ضمن القصوى للتأكد من سلامة عملها وأثناء هذا التحريك الاختباري نقوم بإزالة الترسبات الموجودة بين السطوح المتلازمة، ومن أجل عملية تنظيف صمامات التحكم نقوم بتغير حمولات التوربينة ونقوم بهذه العملية مرة واحدة كل أسبوعين على الأقل، كما يتم التأكد من سلامة صمامات الرجوع في استنزافات البخار مرة كل شهر يدوياً وذلك بتحريك قاعدة الصمام ونقوم بالتأكد من دقة إغلاق صمامات الرجوع بتوجيه البخار من مصدر ثانوي وذلك عندما تكون التوربينة في حالة عدم التحميل فإذا كان الصمام ينغلق بشكل غير تام فهذه

يعني أن جزءاً من البخار سوف يمر عبر الخلوص الموجود ويذهب إلى التوربينة فيزيد من عدد دورانها.

إن دارة الأمان ضد ارتفاع عدد دورات التوربينة هي إحدى أهم دارات الأمان التي تقوم بحماية التوربينة من الانهيار وحتى في تلك الحالة التي لا تعمل فيها دارة التحكم.

إن آلية الأمان تعمل فقط في الحالات الطارئة والتي نادراً ما تحدث. وفي حالة العمل الطبيعي للتوربينة فإن هذه الآلية لا تبدي أي تأثير وبغض النظر عن الإجراءات المتخذة فإننا نلاحظ وجود الرطوبة عليها ووجود ترسبات من زيت التوربينة. ونتيجة لذلك فإن مكونات آلية الأمان هذه وسطوحها تتآكل ويمكن أن يحصل فيها استعصاء مما يمنعها من تحقيق مهمتها عند ازدياد عدد دورات التوربينة عن الحد المسموح به.

إن آلية الأمان هذه في التوربينات الحديثة تصنع بشكل يمكن التأكد من صلاحيتها عند عدد الدورات النظرية لمحور التوربينة.

ويتم اختبار آلية الأمان هذه كل أربعة أشهر على الأقل فإذا لم تتوفر دارة خاصة للاختبار عند عدد دورات نظرية فإن الاختبار يتم برفع عدد الدورات في حالة عدم تحميل التوربينة حتى تبدأ آلية الأمان بالعمل فإذا زاد عدد الدورات بمقدار (12٪) تقريباً عن القيمة النظرية ولن تبدأ آلية الأمان بالعمل فمن الضروري إيقاف التوربينة بشكل يدوي وذلك بإغلاق صمام الأمان ونقوم بالصيانة اللازمة لآلية الأمان المذكورة ضد زيادة عدد الدورات ومطابقتها مع عدد الدورات اللازمة.

هناك أنظمة تحكم انتشر استخدامها ويكون فيها الماء هو الوسط العامل (ماء التكاثف ومضخات التكاثف). ويتم تزويد هذه الأنظمة بمصافي والتي تحتاج بدورها إلى تنظيم دوري.

إن المانومترات التفاضلية ذات الشارات الضوئية تمكننا من قياس الفرق في الضغط (هبوط الضغط) قبل وبعد المصفاة. فإذا كان هبوط الضغط أكبر مما هو مشار إليه في النشرة الصادرة عن المصنع هذا يعني أن المصفاة متسخة ومن أجل تنظيف هذه المصفاة نقوم

بتركيب المصفاة الاحتياطية ونقوم بتنظيف المصفاة المتسخة بواسطة تيار معاكس من الماء ونضعها كمصفاة احتياطية.

الاهتزازات وعواقبها في التوربينات البخارية:

التوربينة البخارية هي آلة ذات بنية إنشائية معقدة، ونلاحظ أن جسمها الخارجي يستند على الجسم الخارجي للمحامل هذه المحامل تستند على القسم العلوي من قاعدة التوربينة. إن المصدر الأساسي لقوى الاضطراب التي تسبب الاهتزازات في التوربينة ما هو إلا الجزء الدوار فيها. إن قوى الاضطراب التي تتوافق مع عدد دورات الجزء الدوار تنشأ نتيجة لعدم توازنه أو بسبب انحنائه. إن عدم تناظر الجزء الدوار أو انحناءه يمكن أن يحدث بسبب خطأ مرتكب أثناء صنعه أو تركيبه أو تشغيله. في حالة عدم تناظر الجزء الدوار، فإن مركز ثقة سيكون منحرفاً بالنسبة لمحور الدوران مما يؤدي إلى نشوء قوى الاضطراب. وقبل تركيب الجزء الدوار في التوربينة لا بد من إجراء عملية موازنة نتخلص فيها من عدم التوازن الذي أصابه أثناء التصنيع أو الجمع والتركيب. ولهذا الهدف نقوم بتركيب أوزان للموازنة وذلك على قرص المرحلة الأولى والأخيرة. ويتم اختبار الوزن ومكان تركيبه بحيث يؤدي إلى إزالة عدم التوازن، إن عدم تطابق مراكز الدوران عبر القارنة أو الكلتش cluch يمكن أن يحدث أثناء التركيب، فإذا لم تكن عملية التركيب دقيقة فإن مراكز طرفي القارنة لن تتطابق. وفي هذه الحالة لا بد من الاهتزاز ولو كان الوصل بينهما وثيقاً.

إن الاهتزازات الناتجة بسبب عدم توازن الدوار أو عدم تطابق القارنة تتمتع بميزة هي أنه بزيادة عدد دورات الدوار يزداد مطال وقيمة الاهتزازات بشكل مطرد.

وتظهر الاهتزازات أيضاً عند إقلاع وبدء وإيقاف التوربينة وذلك عند عدد دوران معين. وعندما تؤثر على العضو الدوار قوى دورية تتغير وفق تردد مطابق لتردد الاهتزازات الذاتية فإن الجزء الدوار سيقع في حالة الطنين. وفي هذه الحالة يكون انحراف الدوار عن وضعية التوازن كبيراً ويزداد اهتزاز أجزاء التوربينة بشكل كبير. وعندما نقوم بزيادة عدد دورات الدوار حتى القيمة اللازمة يمكن له أن يقع مرة واحدة أو عدة مرات في حالة الطنين وبقيمة مختلفة للمطال.

إن مجالات عدد الدورات التي تقع من أجله الدوار في حالة الطنين يعتبر خطراً على عمل التوربينة لذلك يجب اجتياز هذه المجالات بأسرع ما يمكن. إن تردد الاهتزازات الذاتية للدوار يتعلق بوزنه وإبعاده، أما التردد الطنيني فيتعلق بصلابة الحوامل، جسم التوربينة وقاعدة الاستناد للتوربينة. إن الاهتزازات المرتبطة بحالة طنين الدوار تتميز بأنه بازدياد تردد الدوران يزداد مطال الاهتزاز بشكل حاد وبعد ذلك يتناقص بحدة. وعند الاستمرار في زيادة تردد الدوران فإن الاهتزازات تختفي.

وبالإضافة للاهتزازات والتي يكون عندها تردد الاهتزاز مساوياً لتردد دوران الجزء الدوار يمكن أن ينشأ اهتزاز ذو تردد منخفض (مثلاً يساوي نصف تردد الدوران). إن الاهتزاز منخفض التردد يسبب اهتزاز ذاتي للدوار وذلك تحت تأثير القوى الناشئة في الطبقة الزيتية في المحامل، ومفاصل الشفرات المتحركة ومانعات التسرب. وهذا النوع من الاهتزاز ينشأ عند قيمة معينة لقدرة التوربينة تسمى بالقدرة الحدية. ومن أجل تخفيض قدرة التوربينة بشكل كبير، ومن أجل تلافي حدوث الاهتزاز المنخفض التردد نستخدم محامل ومانعات تسرب خارجي وداخلي وقطري ذات تركيب خاص.

وأثناء تشغيل التوربينة يمكن أن تتوفر ظروف يزداد خلالها الاهتزاز بشكل حاد وأحد أكثر هذه الظروف احتمالاً هو الالتواء الحراري للجزء الدوار فعند التبريد أو التسخين غير المتجانس للدوار يمكن له أن يلتوي ويبدأ بالاهتزاز.

إن التسخين غير المتجانس يمكن أن يحصل عندما ندفع بالبخار إلى مانعات التسرب والدوار لا يدور، وهذا خطأ يمكن أن يحدث من قبل الفني المشرف على الإقلاع أو البدء. عند الاهتزاز بسبب الالتواء الحراري للدوار نقوم بتخفيف عدد الدورات وتسخين الدوار ومن ثم نقوم بزيادة عدد الدورات إلى القيمة السابقة. وإذا لم تظهر أية اهتزازات نستمر بعملية الإقلاع وفق لائحة الإرشادات.

إن الاهتزازات الكبيرة يمكن أن تكون سبباً في تحطم القاعدة التي تحمل جسم التوربينة أو انهيار أجسام المحامل، أو الجزء الدوار، أو الأنابيب المختلفة... إلخ. ومن الصعب التخلص من الاهتزاز كلياً، إلا أن مطال الاهتزاز يجب أن لا يتجاوز قيمة معينة.

ونقوم بواسطة أجهزة خاصة بقياس مطال وقيمة الاهتزاز لكل محمل بالاتجاهين الرأسي والأفقي.

إن مطال وتردد الاهتزاز يتم تسجيله بواسطة أجهزة تسجيل ويتم مراقبة من قبل الفنيين عدة مرات خلال وردية العمل الواحدة.

وكما ذكرنا سابقاً فإن الاهتزاز يمكن أن ينشأ عند ترددات تختلف عن عدد دورات الدوار العادية وعند تجاوز منطقة الطنين لاهتزاز الدوار فإن اهتزاز المحامل يجب أن لا يزيد عن قيم معينة يحددها الصانع، فإذا كان الاهتزاز عند بدء التوربينة لأول مرة لا يتفق مع الاهتزاز الحدي المبين في اللائحة التشغيلية فإن الشركة الصانعة أو المشرفة على التركيب تقوم باتخاذ الإجراءات اللازمة لتقليل مستوى الاهتزاز.

2- 14 إيقاف التوربينة:

إن علمية إيقاف التوربينة تبدأ برفع الحمولة عنها أي رفع القدرة المنتجة عنها ولهذا الهدف نقوم بتقليل تدفق البخار مما يؤدي إلى انخفاض ضغطه ودرجة حرارته في مراحل التوربينة. إن تغير درجة حرارة البخار يؤدي بدوره إلى انخفاض درجة حرارة محور التوربينة ولجسمها الخارجي. وكما هو في حالة إقلاع التوربينة فإن درجتي حرارتهما تتغيران بشكل متفاوت حيث أن المحور يبرد بسرعة أكبر ويتقلص بمقدار أكبر من جسم التوربينة. في التوربينات ذات القدرات العالية يكون القسم الأكبر من المحور (تقريباً نصفه) مغطى بمانعات التسرب الخارجي، وأثناء عملية رفع الحمل عن التوربينة يتغير توزع تيارات البخار وينساب عبر مانعات التسرب بخار بارد نسبياً وتبدأ مانعات التسرب بالتبرد. إن التقلص الكبير في طول المحور عند رفع الحمولة عن التوربينة يمكن أن يؤدي إلى أضرار في مانعات التسرب المحورية أو حتى إلى أضرار بالتوربينة كاملة. لذلك فعند إيقاف التوربينة يجب أن تكون سرعة رفع الحمولة عند التوربينة بشكل لا يبلغ فيه تغير طول المحور قيما خطرة. وإذا تطلب الأمر فإننا نقوم بالتحكم في درجة حرارة المتوجهة إلى مانعات التسرب.

إن ترتيب العمليات التي تتعلق بإيقاف التوربينة ترتبط بالحالة التي يجب أن تكون عليها التوربينة بعد التوقف. إذ أنه من الممكن أن يتم إيقاف التوربينة حتى حالة ما يسمى "بالخزان الحار" أو الحالة الحارة جداً وذلك من أجل إقلاعها مرة ثانية بعد توقف لفترة الليل، أو لفترة يوم أو يومين. أو إيقاف التوربينة مع كبح من أجل إجراء الصيانة والإصلاح.

ومن أجل حالة التوقف عند خانة "الخزان الحار" أو الحالة الحارة جداً نقوم بتقليل استهلاك البخار وذلك بواسطة صمامات التحكم وخلال عملية رفع الحمل نراقب مقدار انزياح المحور، درجة حرارة البخار بما في ذلك البخار الموجه إلى خلف مانعات التسرب.

إن رفع الحمل بشكل مفاجئ وعمل التوربينة عند حمولات صغيرة يؤدي إلى تبريد كبير لقسم الضغط العالي من التوربينة، مما يؤدي إلى صعوبة الإقلاع والبدء مجدداً بعد فترة التوقف القصيرة المفروضة. لذلك فإننا نقوم برفع الحمولة عن التوربينة تدريجياً حتى (40-50٪) من الحمولة الاسمية، وبعد ذلك نضغط على زر التوقف وتتوقف التغذية بالبخار بشكل كامل.

وإذا تم إغلاق كافة صمامات التحكم، فإن تدفق البخار عبر التوربينة يساوي الصفر ومؤشر القدرة سوف يشير إلى قدرة سالبة يتم طلبها من الشبكة من قبل المولد التي تدور مع توربينة بدون تحميل، وهنا نقوم بفصل المولد عن الشبكة، أما إذا لم يتوقف تدفق البخار عبر التوربينة بعد إغلاق صمامات التحكم، فيمكن فصل المولد عن الشبكة فقط بعد إغلاق الصمام الانزلاقي الرئيسي للبخار.

ويمكن إيقاف التوربينة بتخفيض الضغط أيضاً أي بطريقة نظام العمل بانزلاق الضغط (إذا سمحت لنا شروط عمل الغلاية). وفي هذه الحالة تتغير درجة حرارة قسم الضغط العالي للتوربينة بشكل صغير جداً بالمقارنة مع الحالة التي يبقى فيها الضغط عند القيمة النظرية، وبالتالي تغير نسبي أقل في طول المحور وبالإضافة لذلك تسهل عملية الإقلاع للحالة الأكثر سخونة للتوربينة بالمقارنة مع الحالة السابقة.

وفي حالة إيقاف التوربينة مع عملية كبح من الضروري إجراء عمليات خاصة من أجل التبريد القسري للمحور وجسم التوربينة بواسطة البخار، إذ أن التبريد الطبيعي يستغرق فترة طويلة (بحدود أسبوع حتى يبرد للدرجة 200) ومن أجل تبريد التوربينة بالبخار عند رفع الحمولة نقوم بتخفيض درجة حرارته بالتدريج، ولكي نتلافى تشكل الرطوبة في التوربينة نقوم بنفس الوقت بتخفيض ضغط البخار.

وعند كبح التوربينة من المهم جداً أن نراقب تقلص المحور. ومن أجل تلافي التراص المحوري للتوربينة نقوم بتشغيل نظام تسخين حلقات الوصل بواسطة بخار نقوم بتوجيهه إليها، أما في حالة كبح التوربينة نقوم بتخفيض درجة حرارة هذا البخار. وهكذا نجد أن تسخين التوربينة يتحول إلى نظام تبريد، أي أن العمليات تكون بشكل معاكس.

وبعد توقيف تغذية التوربينة بالبخار نقوم بقياس عدد دوراتها كل (2- 3) دقيقة. ويسمى منحنى العلاقة بين عدد الدورات محور التوربينة والزمن بمنحنى التباطؤ، ويتم رسمه اعتماداً على نتائج القياس بعد كل عملية التوقف للتوربينة في البداية ينخفض عدد دورات المحور بشكل حاد وذلك نتيجة لاحتكاك البخار مع مكونات التوربينة.

وبعد ذلك فإن قوى الاحتكاك هذه تتناقص وتصبح القوى المؤثرة هي قوى الاحتكاك لسطوح المحور الدوارة مع الزيت في المحامل. وفي المرحلة الأخيرة من تباطؤ المحور نجد أن

الوسادة الزيتية بين المحور وكرسي والمحامل تتلاشى وينشئ احتكاك نصف جاف بين سطوح المحور ومصب الزيت في المحامل. وبعد ذلك يتوقف المحور عن الدوران. إن عملية الإيقاف الكامل لمحور التوربينات ذات القدرات العالية تستغرق من (20إلى 40) دقيقة. ولدى عملية إيقاف المحور في التوربينات ذات القدرات العالية يلاحظ أن المحور يتطاول بمقدار (3 إلى 4) مم (وخاصة تربينات الضغط المنخفض) وذلك لانخفاض القوى الناشئة عند تناقص عدد الدورات.

بعد أن تعمل التوربينة المركبة حديثاً فترة (200 إلى 300) ساعة عمل، نقوم بإنشاء منحنى معياري نموذجي لعملية تباطئ المحور، والذي يبقى من أجل المقارنة لكافة حالات تباطؤ المحور التالية. إن زيادة أو نقصان فترة التباطؤ يعني أن هناك خللاً ما في التوربينة لتسرب البخار خلال الصمامات.

أسباب الحوادث والأعطال في التوربينة:

إن الخلل والحوادث الطارئة يمكن أن تحصل في التوربينات بسبب أعطال تحدث في الأجهزة الملحقة، أو خلل في التوربينة ذاتها. أو بسبب خرق أو مخالفة لشروط أنظمة التشغيل. فعند وجود خلل في دارة التحكم الأوتوماتيكي لمستوى ماء التكاثف في المسخنات أو وجود تخرب في أنابيبها يمكن أن يؤدي إلى دخول الماء إلى التوربينة. وفي حالة الأداء السيئ لعمل الغلاية عند أنظمة الإقلاع، في حالة الزيادة الحادة في حمولة التوربينة، ومن أنابيب البخار في حال عدم تسخينها الجيد وعدم الأداء الجيد لقنوات التصريف كل ذلك يمكن أن يؤدي إلى دخول الماء إلى التوربينة. إن دخول الماء إلى التوربينة الساخنة يمكن أن يؤدي إلى حادثة أليمة، حيث يبدأ جسم التوربينة بالتجعد بسبب التبريد غير المجانس والاجهادات الحرارية الكبيرة التي تنشأ على سطوح جسم التوربينة، وتزداد الحمولة بشكل مفاجئ على المحمل الاستنادي وتزداد درجة حرارته.

وهناك عدة مؤشرات لدخول الماء إلى التوربينة: حيث تنخفض درجة حرارة البخار أمام التوربينة، وكذلك درجة حرارة ذلك الجزء من جسم التوربينة التي يلامسه الماء، سماع صدمات هيدروليكية في أنابيب نقل البخار المحمص أو أنابيب إعادة التحميص، سمع ضجيج معدني وصدمات داخل جسم التوربينة بسبب التصادمات، يزداد الانزياح المحوري للعضو

الدوار وتزداد درجة حرارة المحامل الاستنادية، يتسرب بخار أبيض اللون من مانعات التسرب الخارجي وحلقات وصل الأنابيب وصمامات التوقف والتحكم.

فعند وجود إحدى هذه المؤشرات المذكورة يتم إيقاف التوربينة بشكل طارئ تلافياً لأي حادث وذلك بتشغيل آلية الأمان (صمام التوقف) ولا يجوز الإقلاع والبدء من جديد إلا بعد إجراءات خاصة. وكمثال على الحالة الطارئة والتي يمكن أن تحصل بغض النظر عن الإجراءات التي يمكن أن يقوم بها الفنيون، هو رفع الحمل الكهربائي عن التوربينة بشكل كامل وغير منتظم والذي يمكن أن يترافق بفصل أوتوماتيكي للمولد أو بدون فصل المولد عن الشبكة. وتبعاً لنوع نظام التحكم ومميزات نظام رفع الحمولة، فإن مهمة الفنيين في حالة فصل المولد تختلف من حالة لأخرى.

عند رفع الحمولة عن التوربينة مع فصل المولد عن الشبكة هنالك احتمالان:

1. دارة التحكم تقوم بالحفاظ على قيمة عدد الدورات المطلوبة وبدون تشغيل آلية الأمان، ومقياس القدرة الذي يقيس قدرة المولد سوف يشير إلى الصفر، ويزداد عدد دورات التوربينة، لكن لا تتجاوز هذه الزيادة من (8- 12٪) من عدد الدورات الاسمية وتبقى ثابتة وتكون صمامات التحكم مغلقة. وفي هذه الحالة يجب ودون إبطاء تخفيض عدد الدورات بواسطة آلية التوافق حتى القيمة الدنيا ويتم التأكد من عمل التوربينة، وإن مقدار اهتزازها وكذلك ضغط ودرجة حرارة البخار والمساند المحمولة هو طبيعي. ويجب التأكد أيضاً أن الانزياح المحوري لا يتجاوز الحدود المسموح بها.

   وعند غياب أي خلل، أي أن عمل المجموعة التوربينية طبيعي تظهر على شاشات صالة التحكم إشارة ـ انتبه ـ جاهز ـ وبعد إزالة الخلل في الجزء الكهربائي نقوم بموافقة وتزامن تردد المولد مع تردد الشبكة ثم نربطها بالشبكة.

2. دارة التحكم لا تقوم بمنع التوربينة من الزيادة المفرطة في عدد الدورات لذلك تقوم آلية الحماية والأمان بمهمتها، ويشير مقياس القدرة إلى الصفر، وتكون عدد دورات التوربينة عالية ولكن تنخفض تدريجياً وتكون صمامات التوقف وصمامات التحكم أيضاً مغلقة، وهنا يجب التأكد أن صمامات التحكم وصمامات التوقف مغلقة، وأن عدد الدورات لا يتزايد، وأن ضغط الزيت الذاهب إلى المحامل طبيعي. وعندما ينخفض

عدد الدورات إلى القيمة المشار إليها في لائحة الإرشادات التشغيلية نقوم بإغلاق مضخة الزيت للإقلاع، وعند انخفاض ضغط الزيت إلى القيمة المشار إليها في لائحة الإرشادات نقوم بتشغيل مضخة الزيت الاحتياطية.

بعد ذلك، وكما هو في الحالة السابقة، نقوم بالتأكد من عمل التوربينة، فإذا كان طبيعياً ولم يكن هناك أي خلل نقوم بتحضير صمام التوقف للعمل وبواسطة آلية التوافق نقوم بفتحه وفتح صمام التحكم تدريجياً. وعندما تصبح عدد دورات التوربينة طبيعية نقوم بإيقاف مضختي الزيت الإقلاعية والاحتياطية. وبعد إزالة الخلل في القسم الكهربائي نقوم بموافقة وتزامن المولد مع الشبكة ونربطها بها. وعند أول فرصة نقوم باختبار دارة التحكم عند رفع الحمل عن التوربينة.

عند رفع الحمولة عن التوربينة وبدون فصل المولد عن الشبكة:

وهنا تعمل المحطة كمحرك أي أننا نأخذ طاقة كهربائية من الشبكة لتدوير التوربينة، وفي هذه الحالة لا يدخل بخار إلى التوربينة إذ أن صمامات التوقف والتحكم تكون مغلقة، ويشير مقياس القدرة على قيمة سالبة (المؤشر تحت الصفر). أي عبر المولد يمر تيار كهربائي والذي يتم تنظيمه وحسب ما يشير إليه مقياس الأمبير. أما عدد الدورات فيبقى ثابتاً بالمقارنة مع عدد الدورات الاسمية، ومرحل انعكاس القدرةreverse power relay تشير إلى أن المولد يستهلك قدرة من الشبكة.

إن نظام عمل كهذا للمولد يمكن أن يحصل لعدة أسباب: إيقاف التوربينة بقطع البخار من قبل الفنيين في حالة التحكم، عمل أحد أنظمة الأمان والحماية (بسبب زيادة انزياح المحور مثلاً). عمل أنظمة الحماية الأوتوماتيكية بالخطأ بدون وجود خطر، عمل أنظمة حماية التوربينة، الإغلاق الذاتي لصمام التوقف أو التحكم، إغلاق الصمام الرئيسي للبخار، ويمكن أن يكون السبب خلل في عناصر التحكم بصمامات التوقف والتحكم، وهكذا فإن صمامات التحكم يمكن أن تنغلق بشكل ذاتي بسبب انكسار السواعد المتصلة مع المحرك الهيدروليكي (محرك السيرفو).

إن عمل المجموعة التوربينية كمحرك لا يجوز أن يستمر أكثر من (4) دقائق إذ أنه خلال ذلك ترتفع درجة حرارة الشفرات بسرعة وتتدنى خواص المتانة لمعدنها. أن عمل المجموعة

كمحرك لفترة أطول من ذلك يمكن أن يؤدي إلى أضرار في الشفرات المتحركة وخصوصاً شفرات المرحلة الأخيرة والتي تتميز بأطوال كبيرة وتخضع لإجهادات كبيرة تنشأ بسبب دوران المحور لذلك فمن الضروري خلال (4) دقائق إيجاد سبب رفع الحمل واتخاذ الإجراءات اللازمة.

وعند التلاقي السريع لرفع الحمولة عن التوربينة نقوم بتحريك آلية التوافق إلى وضعية الصفر ونقوم بفتح صمام التوقف. وفي حالة العمل الطبيعي للتوربينة يظهر على شاشات صالة التحكم إشارة "انتباه" "جاهز" زيادة أي أننا يمكن أن نحمل التوربينة وإذا قمنا بإزالة سبب رفع الحمولة بسرعة فلا يجوز إيقاف التوربينة من أجل إزالة الخلل.

وقبل فصل المولد عن الشبكة يجب التأكد قبل كل شيء من أن التوربينة تعمل فعلياً في نظام "محرك" إذ أن محورها يمكن أن يدور حتى ولو كانت صمامات التوقف والتحكم مغلقة وذلك بسبب عدم إغلاقها الجيد ووجود تسربات خلالها. وهنا نجد أن محور التوربينة يتعرض للاهتراء عند فصل المولد ، لذلك ومسبقاً يمكن معرفة أن المولد يستهلك طاقة كهربائية من الشبكة بواسطة مرحل القدرة العكسية أي أن التوربينة تعمل عند نظام "محرك".

بعد ذلك نقوم بفصل المولد عن الشبكة وإيقاف التوربينة وإصلاح الخلل فإذا كانت التوربينة تعمل قبل رفع الحمل بوجود استنزافات فيجب إغلاق هذه الاستنزافات أيضاً. إن الأمثلة السابقة تبين مدى تعقيد الحالات التي يقع فيها الفنيون بحالة الحوادث الطارئة ، لذلك فإن على الفنيين أن يتتبعوا الكثير من المؤشرات والدلائل الخارجية وأجهزة القياس والتي تبعاً لحالتها تتخذ الإجراءات اللازمة.

وليست أقل تعقيداً الحالات التي تنخفض فيها تغذية المحركات الكهربائية الملحقة أو أي عطل يمكن أن تتعرض له أي من الأجهزة الملحقة (كطارد الغازات مثلاً).

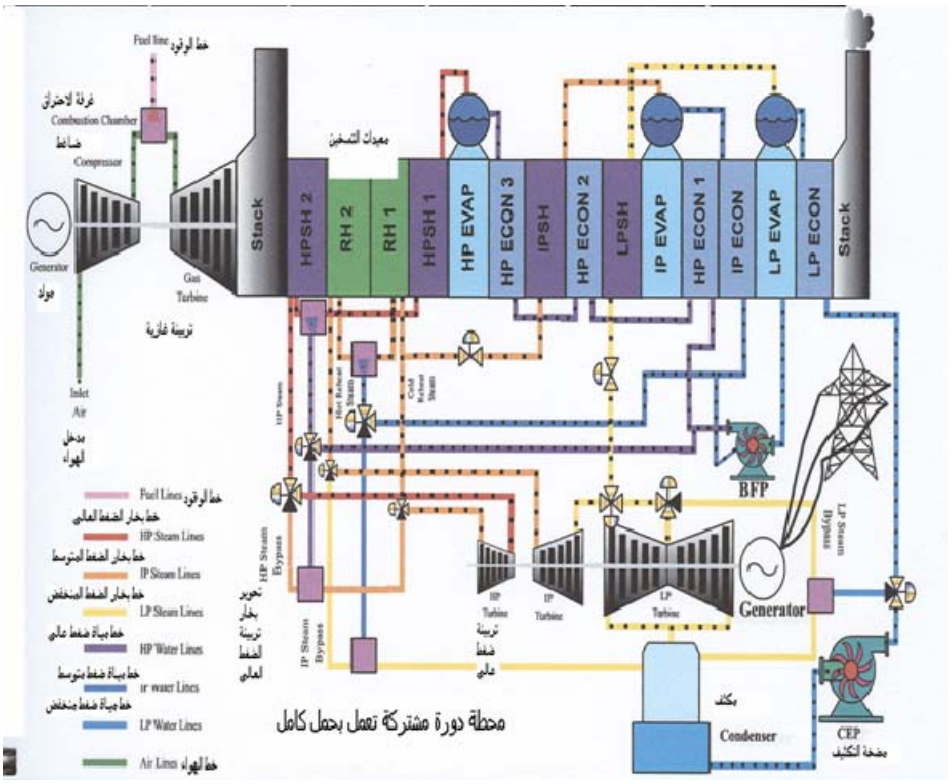
إن أسباب الحوادث الطارئة والأعطال كثيراً ما يكون مردها إلى الأخطاء المتنوعة المرتكبة عند تركيب الأجهزة أو فكها ، إذ أن التجميع والفك يجب أن يتمان بشكل دقيق وإلا فإننا سنواجه صعوبات وعواقب سيئة يمكن أن تؤدي إلى الحوادث، فمثلاً تركيب

المحمل الاستنادي بشكل مائل سوف يؤدي إلى تآكل مبكر لمكوناته. ولا يمكن تغيير المحمل إلا بعد إيقاف المحطة وفك التوربينة.

وبعد عمليات الإصلاح والفك يمكن أن يبقى في الأنابيب شظايا اللحام والأوساخ ومواد مختلفة يمكن أن توجد في مواقع التصليح، لذلك وقبل إقلاع وبدء التوربينة يجب نفخ الأنابيب بواسطة البخار لتنظيفها ولمزيد من التأكد لابد من الفحص الدقيق لهذه الأنابيب، إن دخول المواد الغريبة إلى التوربينة يمكن أن يؤدي إلى انكسار الشفرات الثابتة والمتحركة، ودخول هذه المواد إلى صمامات التوقف والتحكم سوف يعطل مهمة عملها أثناء الفتح والإغلاق إن الأضرار الزائدة التي يمكن أن تلحق بالقطع الميكانيكية أثناء التركيب والفك يمكن أن تؤدي إلى التآكل السريع لهذه القطع أثناء عملها، وطبعاً فإن هذه الأضرار لا تؤدي بالضرورة إلى حادث أليم وإنما قد تؤدي إلى وجود خلل في عمل المحطة والتوربين بشكل ينخفض فيه المردود. ويمكن أن يكون مصدر الأضرار والأعطال في الأجهزة الملحقة المخالفة للشروط التشغيلية المثلى وعدم تطبيق لوائح أنظمة العمل، ويمكن لهذه المخالفات أن تؤدي أحياناً إلى عواقب أليمة فمثلاً الإسراع في تنفيذ عملية الإقلاع والبدء والتوقف يؤدي إلى ظهور تشققات وتزايد كبير في أحجامها سواء على سطوح جسم التوربينة أو سطوح صمامات التوقف والتحكم وأنابيب البخار. وكذلك فإن استخدام زيت بدرجة حرارة أقل من الحد الأدنى المسموح به يؤدي إلى عمل سيئ للمحامل الاستنادية، أما عمل التوربينة عند ضغط تخلخلي سيء فيؤدي إلى الانكسار السريع للشفرات المتحركة في المرحلة الأخيرة.

2- 15 محطات الدورة المؤتلفة للبخار والغاز Combined cycle steam-gas power plant

تضم هذه المحطات وحدات توليد أساسية بتوربينات غازية لإنتاج الطاقة الكهربائية، ويتم الاستفادة من غازات الاحتراق المهدرة لتسخين الماء في الغلاية وتوليد البخار الذي يستخدم بدوره لتشغيل وحدات توليد أخرى تدار بتوربينات البخار كما سبق توضيحه في محطات البخار. تعتبر هذه المحطات ائتلاف بين المحطات الغازية ومحطات البخار حيث يتم الاستفادة من حرارة العادم لتوليد البخار مما يزيد في كفاءة المحطة لتتجاوز 50٪



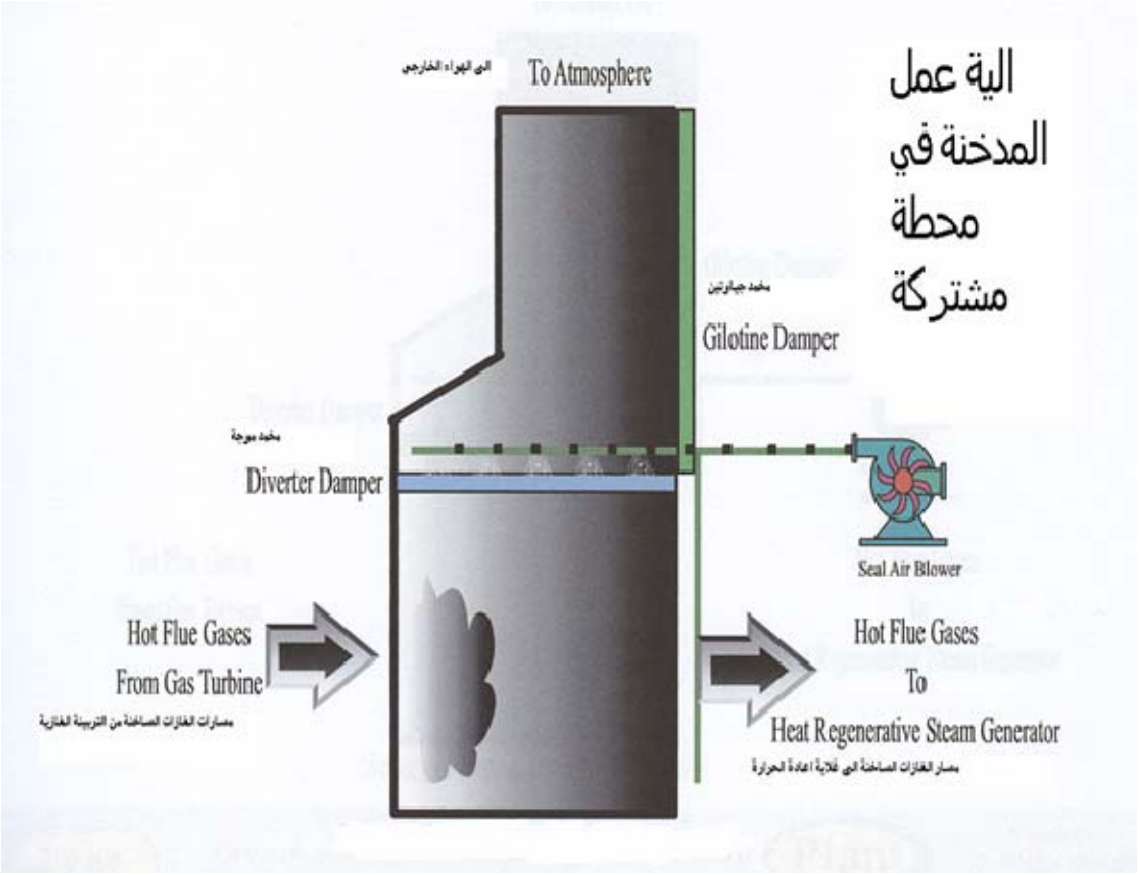
يميز محطات الدورة المؤتلفة عن المحطات الحرارية الأخرى كفاءتها العالية وتكلفة تشغيلها المنخفضة حيث تستهلك الوقود اللازم لوحدات التوليد الغازية فقط ويتم تجميع غازات التوربينات لتشغيل وحدات البخار. من أكبر محطات الدورة المؤتلفة في المملكة محطة رابغ بالمنطقة الغربية حيث تحتوي على ثمانية وحدات توليد بالغاز تشغل كل أربعة منها وحدة توليد بالبخار لتنتج ما يقارب 1700MW.

من المميزات التي تجعل محطات الدورة المؤتلفة أفضل محطات التوليد الحرارية الحديثة هي:

- كفاءتها العالية حيث تصل إلى 40٪ بتوربينات البخار لوحدها و 35٪ لتوربينات الغاز لوحدها وتتجاوز 50٪ للدورة المؤتلفة.
- النسبة المنخفضة لثاني أكسيد الكربون المنبعث في الجو.
- النسبة المنخفضة لأكسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكبريت المنبعثة في الجو.
- كمية التلوث الحراري للبحر أقل من نظيراتها.
- استهلاك كمية أقل من الوقود والمحافظة على الموارد الطبيعية.

وهذا النوع من المحطات تشتمل على دورة حرارية فوقية أو علوية منتجة للقدرة، تذهب الحرارة المطرودة منها بصورة كلية أو جزئية إلى دورة أخرى تحتية أو سفلية وفي الواقع العملي تكون المحطة الفوقية غالباً محطة دائرة مفتوحة (مثل الغازية) بدلاً من كونها محطة دورة مغلقة والهدف الرئيسي من الاشتراك أو المؤلفة هو تحقيق زيادة في الشغل المنتج من كمية حرارة محددة واردة إلى المحطة (هي طاقة الوقود) عن طريق الاقتراب أكثر فأكثر من محطة دورة كارنو (Carnot cycle) والتي ذكرناها سابقاً وهي أفضل محطات القوى على الإطلاق.

يطلق على محطات القوى المشتركة أو الموالفة أحياناً تعبير محطات التوليد المترافق (Cogeneration plants).



الجزء الثالث

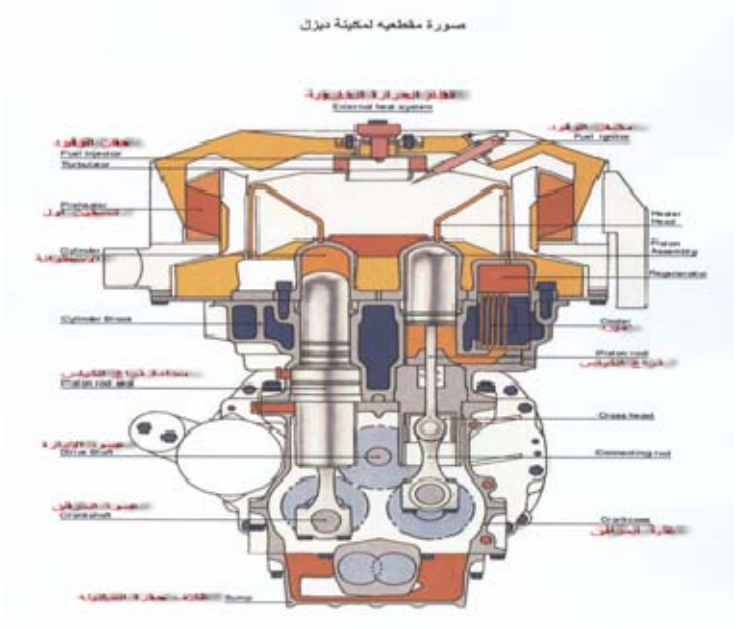
محطات الديزل

Diesel power plants

3- 1 طريقة عمل المحطة :

تعتمد محطات الديزل على آلات الاحتراق الداخلي لتحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة حركية دوارة يحولها المولد بدوره إلى قدرة كهربائية ، تتكون كل وحدة من محرك ميكانيكي يشتغل حسب دورة الاحتراق الداخلي المعروف بدورة الديزل ومولد كهربائي موصل بنفس العمود الأفقي. تشتغل هذه المحركات بوقود الديزل أو الزيت الثقيل مما يجعلها ذات قدرة عالية تصل إلى MW.10 للوحدة وتحل مكان وحدة البخار في عديد من المجالات.

تشغل محطات الديزل عادة حيزاً أكبر من الذي تشغله نظيراتها من المحطات الحرارية بنفس المواصفات. كما تحتاج هذه المحطات إلى صيانة دورية مكثفة نظراً لكثرة أجزائها المتحركة ونظام تشغيلها المعقد. يتم التحكم في سرعة المحرك عن طريق نظام ضخ الوقود الذي يؤمن السرعة الثابتة للمولد رغم تغير الحمولة.



مجالات استخدام محطات الديزل :

أ- استخدام محطات الديزل كمحطة مركزية:

تستخدم محطات الديزل كمحطات مركزية عندما تكون سعة المشروع غير كبيرة حيث لا تتجاوز MW.10 .

ب- استخدام محطات الديزل كمحطة احتياطية (محطة طوارئ):

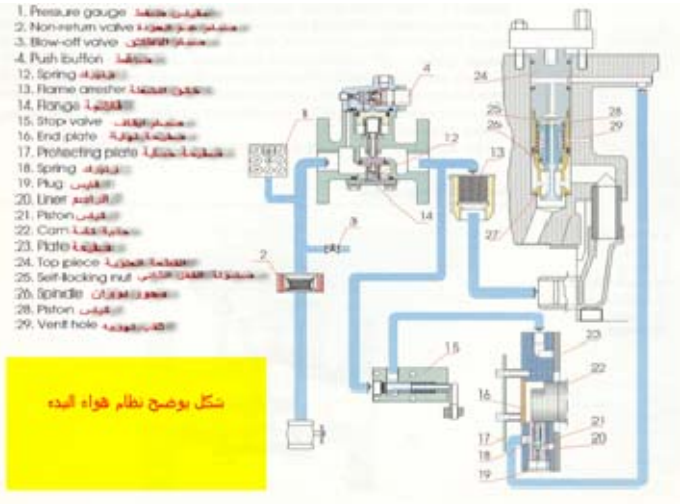
تستخدم محطات الديزل لتغذية جزء من الحمل المطلوب في الشبكة الكهربائية وذلك لتعويض أي نقص في الطاقة ينتج عن خطأ أو زيادة فجائية في الحمل. فمن مميزات محطات الديزل إمكانية بدء عملها وإيقافها بسرعة.

ج- استخدام محطات الديزل كمحطات ذروة الحمل:

تستخدم محطات الديزل لدعم الشبكة الكهربائية في أوقات ذروة الحمل عندما تكون قاعدة الحمل مغذاة من محطات حرارية أو كهرومائية. ويؤمن ذلك احتياجات الطاقة إضافة إلى تحسين معامل الحمل القاعدي وتقليل تكاليف إنتاج الكيلوات ساعة.

3- 2 عناصر محطات الديزل:

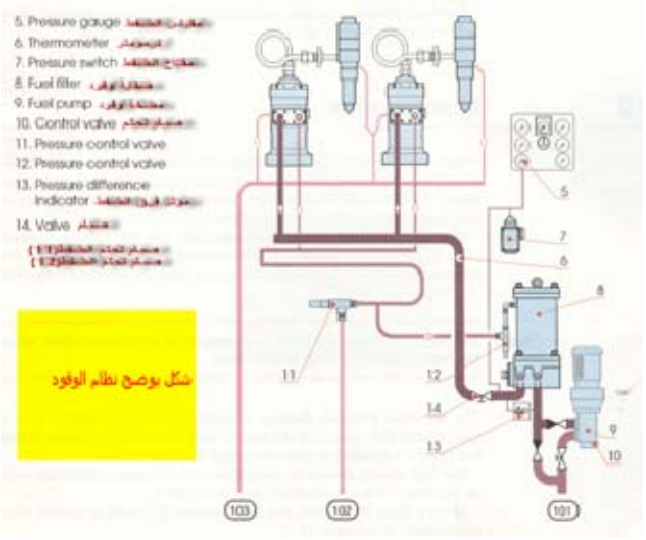
أ- نظام دخول الهواء والمرشحات:



شكل يوضح نظام هواء البدء

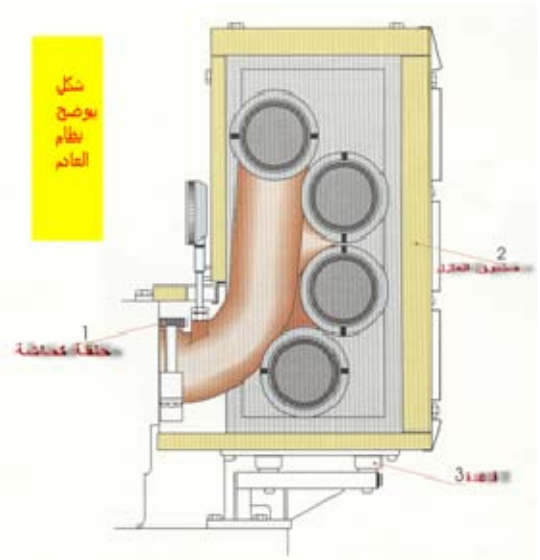
يؤمن هذا النظام الهواء اللازم لأغراض الضغوط العالية في كل دورة بعد تنقيته عبر المرشحات لإزالة ما يعلق به من شوائب. (في نهاية الجزء شكل كامل لهذه المنظومة)

ب- نظام الوقود:



يضخ الوقود إلى الخزان بمضخات خاصة عبر الصفايات لعزل الشوائب، ثم يضخ من الخزان إلى الوحدة عبر الفلتر (المصفي) عن طريق مضخة الحقن إلى داخل غرفة الاحتراق.

ج- نظام العادم وكاتم الصوت:



يخرج العادم الناتج عن احتراق الوقود عبر أنبوب خاص يوضع في طرفه كاتم للصوت لخفض صوت المحرك، كما يمكن الاستفادة من حرارة العادم قبل طرده وذلك بإدخاله في مبادل حراري. (في نهاية الجزء شكل كامل لهذه المنظومة)

د- نظام التبريد:

يتم استعمال المياه لتبريد محرك الديزل بعد ترشيحه ومعالجته كيميائياً لتجنب المشاكل التي يمكن أن تنشأ في دورة التبريد.

ح- دورة الزيت:

يتم سحب الزيت بواسطة مضخات عبر مرشحات لتقنيته، كما يتم تبريده إن لزم الأمر قبل إعادته إلى داخل الآلة، عند بداية التشغيل يتم تسخين الزيت لتقل لزوجته ويسهل ضخه.

خ- نظام بدء الحركة:

يشمل البطاريات وبادي الحركة Self ومصدر الهواء المضغوط ودوائر التحكم، حيث توفر إمكانية بدء تشغيل محطات الطوارئ أوتوماتيكياً عند الحاجة. (في نهاية الجزء شكل كامل لهذه المنظومة)

3- 3 مميزات وعيوب محطات الديزل:

تتميز محطات الديزل بسرعة التشغيل، حيث تستخدم كمحطات طوارئ أو لدعم محطات البخار والمحطات الكهرومائية، كما تتميز هذه المحطات بإمكانية نقلها من مكان إلى آخر، حيث تصنع وحدات ذات قدرة توليد عالية محمولة على عربات نقل. هذه الميزة الأخيرة تجعل من هذه المحطات الحل الأمثل لتوفير الطاقة الكهربائية في المناطق والأرياف أو المناطق المعزولة.

من أهم مميزات محطات الديزل:

- سهولة التصميم والإنشاء.
- تعطي كفاءة مقبولة عند التحميل الجزئي على عكس المحطات الحرارية الأخرى.
- انخفاض تكلفة الإنشاء والأعمال المدنية.
- انخفاض كمية الماء المطلوبة للتبريد.
- تكفي مساحة أرض صغيرة من الأرض لإنشائها وذلك لعدم وجود أجهزة مساعدة كبيرة.
- نسبة الفقد أقل من المحطات الحرارية الأخرى.

كنظيراتها من المحطات الحرارية تنتج هذه المحطات كميات كبيرة من الغازات الملوثة مثل ثاني أكسيد الكربون وأكسيد النيتروجين وغيرها من الغازات السامة. كذلك بالنسبة للكفاءة الحرارية فهو لا تتجاوز 35٪ في أفضل الحالات.

ومن أهم عيوب محطات الديزل:

- تكلفة التشغيل العالية خاصة بعد زيادة أسعار الوقود بما فيه الديزل.
- تكلفة الصيانة والتشحيم عالية مقارنة بالمحطات الأخرى.
- تعمل جزئياً فقط ولفترة قصيرة مقارنة بالمحطات الأخرى.

وسنتناول بالشرح كافة الأجزاء التفصيلية لمحركات الديزل وتشغيلها وصيانتها وكذلك أنواعها وتصنيفاتها.

3- 4 أنواع محركات الديزل واستخداماتها:

محركات الاحتراق الداخلي:

يعرف محرك الديزل بأنه أحد أنواع محركات الاحتراق الداخلي ويقوم محرك الديزل بتوليد القدرة (الشغل الميكانيكي) عن طريق إحراق الوقود المحقون في حيز من الهواء المضغوط الساخن، ويعرف باسم (المحرك) لأنه آلة تولد حركة وهو من طراز الاحتراق الداخلي لأن احتراق الوقود يحدث داخل إسطوانة المحرك ذاته، حيث يتم فيها ضغط الهواء بمكبس له حركة ترددية، أما محركات الاحتراق الخارجي فهي التي تدار بالبخار، بحيث يتم توليد البخار باحتراق الوقود خارج نطاق المحرك، وهي الطريقة المستخدمة لتوليد القدرة من تربينات البخار المستخدمة في محطات توليد القوى الكهربية والتي ذكرناها في الفصل السابق.

المكونات وآليات التشغيل ومنظومات الخدمة:

يمكننا عند دراسة محركات الديزل عالية القدرة أن نجري التقسيم التالي لأجزاء المحرك:

أولاً: الأجزاء الثابتة:

وهي تشمل البناء الخارجي للمحرك، والذي ترتبط به الأجزاء المكملة للمحرك، كما تعمل بداخله الأجزاء المتحركة، ويمكننا تمييز الأجزاء الثابتة بالنظر للشكل الخارجي، وتتكون مما يلي:

أ- هيكل المحرك (قاعدة الفرش وحوض المرفق). frame

ب- جسم الإسطوانة. Cylinder body

ت- رأس الإسطوانة. Cylinder head

ثانياً- الأجزاء المتحركة:

وهي التي تقوم بنقل الطاقة الحرارية من غرفة الاحتراق وتحويلها إلى طاقة ميكانيكية للتشغيل، وتتضمن ما يلي:

أ- الكباس (المكبس). piston

ب- ذراع التوصيل. Connecting rod

ج- عمود المرفق. Crank shaft

ثالثاً- آليات التشغيل:

وهي التي تضمن ضبط آلية (ميكانيكية) عمل المحرك، وتوافق حركة الأجزاء مع بعضها والتحكم في دقة توقيتها وأدائها ، وهي تشمل:

أ- تروس آليات التوقيت وعمود الحدبات (الكامات)cam shaft والصمامات.

ب- وسائل حقن الوقود (المضخة والحاقن). Fuel injection

ج- حاكم اللفات.

رابعاً- منظومات الخدمة:

وهي تقوم بإمداد المحرك بما يلزمه من مواد التشغيل كما تعمل على حمايته من حرارة الاحتراق وتضمن له سلامة الأداء وتتكون من:

أ- دورة دخول الهواء وخروج العادم.

ب- دورة التبريد والزيت.

ج- دورة الوقود.

د- دورة بدء الدوران وعكس اتجاهه.

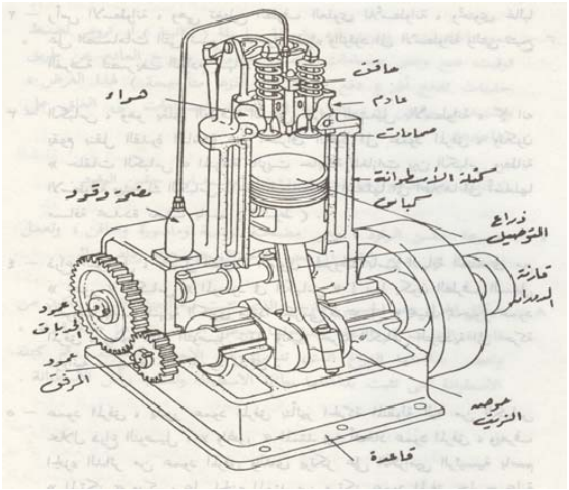
3- 5 الأجزاء الأساسية للمحرك:

من الضروري أن نتفهم وظيفة مختلف أجزاء المحرك والغرض من أدائها حتى نستطيع الإلمام بعمل المحرك في مجموعة، ويؤدي كل جزء وظيفة محددة خاصة، كما يتصل أيضاً بغيره من الأجزاء التي ترتبط ببعضها في أداء منسق ينتظم به دوران المحرك، وتختلف محركات الديزل في مظهرها الخارجي وحجمها وعدد أسطواناتها وتفاصيل بنائها، ولكنها

جميعها تحتوي على نفس الأجزاء الأساسية التي قد تبدو مختلفة ولكنها تؤدي نفس الوظيفة، ويتضمن كل محرك ديزل عدداً قليلاً من الأجزاء العاملة، ولكن من الضروري أي تعاونها أجزاء مساعدة لتأدية مهامها، الأجزاء الرئيسية لمحرك ديزل بأسطوانة واحدة ويتكون من:

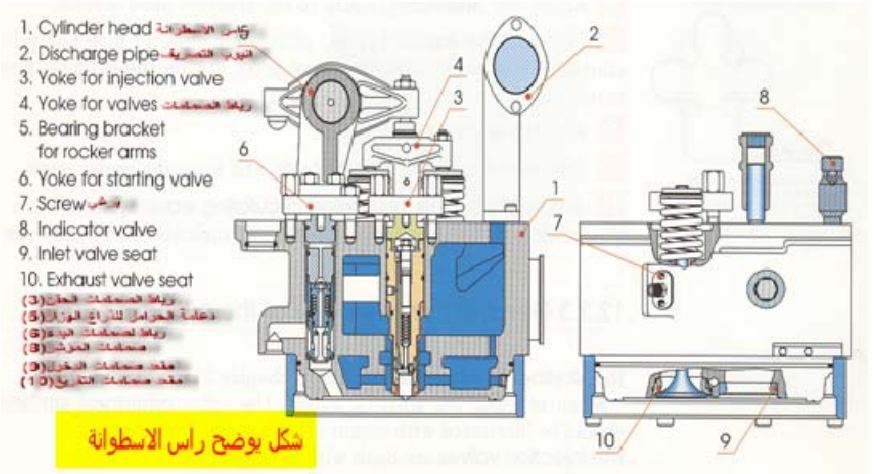
1- الاسطوانة:

وتعبر قلب المحرك حيث يتم فيها احتراق الوقود، وتزود كل إسطوانة ببطانة يحيطها ماء التبريد، ويتردد بداخلها كباس (أو أكثر) ويعرف القطر الداخلي للبطانة باسم التجويف groove.



2- رأس الاسطوانة:

وهي تغطي الطرف العلوي للاسطوانة، وتحتوي غالباً على الصمامات التي تسمح بدخول الهواء والوقود إلى الإسطوانة والتي تتيح الفرصة لتصريف العادم منها.



3- **الكباس**:

وهو يغلق الطرف السفلي لفراغ التشغيل بالاسطوانة، كما أنه يقوم بنقل القدرة الناشئة عن احتراق الوقود إلى عمود المرفق وتكون "حلقات الكباس" المنزلقة بالزيت حابكةsealed للغازات بين الكباس وبطانة الاسطوانةcylinder liner ويتحرك الكباس داخل البطانة من أسفلها إلى أعلاها ثم من أعلاها إلى أسفلها مسافة محددة تعرف باسم (الشوط)stroke.

4- **ذراع التوصيل**:

يتصل الطرف العلوي المعروف باسم النهاية الصغرى لذراع التوصيل مع محور الكباس "الموجود في الكباس"، بينما يكون الطرف السفلي المعروف باسم النهاية الكبرى مزوداً بكرسي "محمل"bearing يحيط بمحور عمود المرفق ويقود ذراع التوصيل بنقل وتغيير حركة الكباس الترددية إلى حركة دورانية مستمرة عند عمود المرفق.

5- **عمود المرفق**:

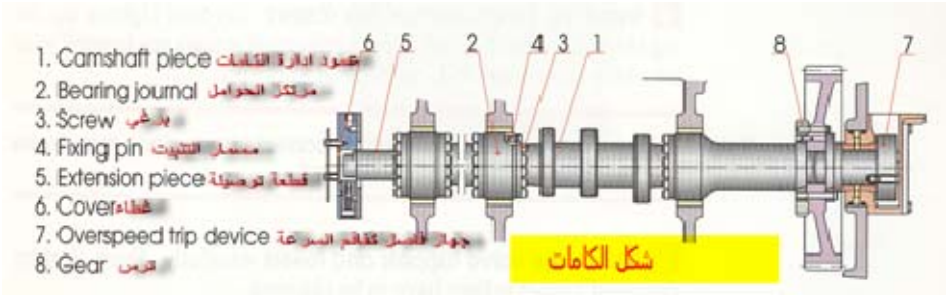
يدور عمود المرفق بتأثير الحركة المنقولة إليه من الكباس خلال ذراع التوصيل، والمحور الممتد بين جوانب عمود المرفق، ويعرف الجزء الدائر من عمود المرفق والذي يرتكز على الكراسي الرئيسية باسم المرتكز journal ويركب على الجزء الممتد من مرتكز عمود المرفق journal crankخارج علبة المرفق طارة معدنية ثقيلة تسمى الحدافة flywheelوهي تساعد على انتظام دوران عمود المرفق في الأشواط المختلفة للكباس وتسهل عملية بدء الدوران.

كما يركب بعد الحذافة قرص دائري معشق في عمود المرفق تسمى القارنةcoupling وهي التي توصل الحركة إلى عمود الإدارة، ويتصل بالناحية الأخرى من مرتكز عمود المرفق ترس يعش في ترس آخر أو سلسلة لإدارة عمود الحدبات (الكامات).

6- **عمود الحدبات**:cam shaft

ويتم دورانه بواسطة سلسلة (كاتينة) أو تروس لضبط توقيت فتح وغلق صمامات دخول الهواء أو خروج العادم عن طريق حدبات تدفع أذرع دفع غمازات tappets(أذرعاً

متأرجحة) لهذا الغرض، وتستخدم نوابض (زنبركات) في إعادة الصمامات إلى الغلق على مقاعدها. كذلك تستخدم الحدبات في تشغيل مضخات حقن الوقود.



7- مجموعة حقن الوقود:

وهي مضخة ترددية وماسورة وحاقن، وتعمل المضخة على دفع الوقود إلى حيز الاحتراق على هيئة رذاذ متناثر.

8- هيكل المحرك:

وهو الجسم الخارجي الذي تثبت فيه أجزاء المحرك ويتكون من قاعدة التثبيت في أسفله وبداخلها حوض الزيت وتعلوها علبة المرفق، وتحصر بداخلها الفراغ الذي تتحرك فيه الأجزاء المتحركة، ثم كتلة الإسطوانة التي تثبت بداخلها بطانة الإسطوانة ويغطيها رأس الاسطوانة

مشوار الكباس (الشوط): stroke

تعرف المسافة الرأسية التي يقطعها الكباس من النقطة الميتة العليا إلى النقطة الميتة السفلى باسم مشوار الكباس، وحتى يمكن دوران عمود المرفق لفة كاملة فلا بد أن يقطع الكباس مشوارين أحدهما هبوطاً والآخر صعوداً، وبذلك يدور عمود المرفق نصف لفة في مشوار الكباس الهابط ويستكمل دورته لنصف لفة أخرى في مشوار الكباس الصاعد ويعرف مشوار الكباس أيضاً باسم "الشوط". ويراعى أن قطر الدائرة التي يدور محور عمود المرفق لابد أن تساوي مشوار الكباس.

أسلوب عمل المحرك:

ينقسم عمل المحرك إلى خطوات أساسية لتحقيق ما يلي:

أولاً- إدخال هواء نقي إلى قميص الاسطوانةcylinder liner، وذلك لاستخدام ما فيه من أكسجين ليتحد مع الوقود اللازم للاحتراق.

ثانياً- ضغط الهواء لدرجة كافية، وكلما زاد انضغاط الهواء كلما ارتفعت درجة حرارته، فيسهل احتراق الوقود تلقائياً فيه.

ثالثاً- حقن الوقود داخل الاسطوانة، بحيث يتناثر على شكل حبيبات دقيقة في حيز الهواء المضغوط، ويكون خليطاً متجانساً، بحيث يحترق الوقود بسرعة احتراقاً كاملاً، ليدفع الكباس بالقوة الناشئة من الاحتراق، وتنتقل هذه القوى خلال ذراع التوصيل إلى عمود المرفق، ويوصل القدرة إلى الآلة التي يديرها المحرك.

رابعاً- التخلص من الغازات الناتجة عن الاحتراق، وهي غازات العادم بعدما تتمدد ويقل ضغطها المؤثر على الكباس.

3- 6 دورة المحرك:

بعد التخلص من غازات العادم، تتكرر الخطوات الأساسية السابقة بنفس التتابع وتبدأ بدخول شحنة جديدة من الهواء في الإسطوانة يتم انضغاطها وإحراق الوقود فيها لتوليد القدرة ثم تصريف الغازات الناتجة عن الاحتراق.

وتنقسم دورات محركات الاحتراق الداخلي إلى نوعين:

أ- **دورة رباعية الأشواط**four stroke، أي تتم فيها دورة التشغيل في أربعة أشواط للكباس أي لفتين لعمود المرفق، شوط إلى أعلى وآخر إلى أسفل ثم شوط إلى أعلى والأخير إلى أسفل.

ب- **دورة ثنائية الأشواط**two stroke، أي تتم فيها دورة التشغيل في شوطين للكباس أي لفة واحدة لعمود المرفق، شوط إلى أعلى وآخر إلى أسفل.

المحرك رباعي الأشواط:

يتميز المحرك رباعي الأشواط بوجود صمامين (أو أكثر) في رأس الاسطوانة، أحدهما لدخول الهواء والثاني لخروج العادم، ويقوم المحرك بإنهاء دورة التشغيل خلال أربعة أشواط للكباس يتم فيها حقن شحنة واحدة من الوقود، ويتم دوران عمود المرفق لفتين.

أولاً- شوط السحب (الشفط):(suction stroke(intake

ويتحرك فيه الكباس هبوطاً من النقطة الميتة العليا (أقصى نقطة يصل لها الكباس في صعوده) إلى النقطة الميتة السفلى (أدنى نقطة يصل لها الكباس في هبوطه) ويكون صمام السحب مفتوحاً خلال هذا الشوط فيندفع منه الهواء الجوي إلى داخل الإسطوانة بفعل التفريغ الناشئ من حركة الكباس إلى أسفل، وتمتلئ الإسطوانة في نهاية هذا الشوط بشحنة من الهواء الجوي.

ثانياً: شوط الانضغاط: compression stroke

ويندفع فيه الكباس صعوداً من النقطة الميتة السفلى إلى النقطة الميتة العليا بحيث يغلق صمام دخول الهواء في بداية هذا الشوط تقريباً، وينتج عن ذلك ضيق حيز الهواء المحصور بين الكباس والاسطوانة، فيرتفع ضغطه وتزيد درجة حرارته بحيث يصل الضغط النهائي إلى حوالي 35 بار، وترتفع درجة الحرارة إلى ما يقرب من 650مْ.

ثالثاً: شوط القدرة: power stroke

ويسمى أحياناً شوط التمدد، أو الشوط الفعال وعند بدايته تقريباً يتم حقن الوقود في الإسطوانة فيبدأ الاحتراق بسبب اختلاط الوقود بالهواء الساخن، وينتج عن ذلك ارتفاع شديد في الضغط الناشئ على سطح الكباس فيدفعه هبوطاً إلى النقطة الميتة السفلى (ن. م. س) ويعتبر هذا الشوط هو أساس القدرة التي تسبب استمرار دوران المحرك.

رابعاً: شوط العادم: exhaust stroke

ويتحرك فيه الكباس من أسفل (ن. م. س) إلى أعلى (ن. م. ع) ويفتح في بدايته تقريباً صمام العادم بحيث تخرج منه نواتج الاحتراق التي يزيحها الكباس في حركته إلى أعلى، وعند نهاية هذا الشوط تقريباً يغلق صمام العادم لتبدأ الدورة من جديد فتكرر نفس الأشواط

الأربعة السابقة، ويستغرق كل شوط 180° من دوران عمود المرفق، أي أن الأشواط الأربعة تستغرق 720° أي لفتين من عمود المرفق.

المحرك ثنائي الأشواط:

يلاحظ أنه أمكن الاستغناء عن شوطي الشفط والعادم في المحرك الثنائي، وبذلك يمكننا إتمام الدورة في شوطين فقط للكباس، أي لفة واحدة لعموم المرفق. ويتميز المحرك ثنائي الأشواط بعدم وجود صمامات لشفط الهواء في رأس الإسطوانة ويستغني عنها بفتحات لدخول الهواء من أسفل جدران الاسطوانة.

كما يجوز أيضاً الاستغناء عن صمام العادم المركب في رأس الإسطوانة بفتحات خروج العادم عند أسفل جدار الإسطوانة وتكون في هذه الحالة مواجهة لفتحات دخول الهواء وتعلوها قليلاً .

أولاً: شوط الانضغاط (الصاعد):

وفيه يتم انضغاط الهواء المحصور في حيز الإسطوانة نتيجة صعود الكباس من ن.م.س. إلى ن.م.ع وتكون فتحات دخول الهواء مغطاة (مغلقة) بجسم الكباس وكذلك فتحات العادم (أو يغلق صمام العادم بآلية مخصصة لذلك).

ثانياً: شوط القدرة (الهابط):

ويتم عند بدايته حقن الوقود واحتراقه في حيز الانضغاط فيتحرك الكباس لأسفل من ن.م.ع إلى ن.م.س، وعند نهاية هذا الشوط تفتح صمامات العادم (أو تنكشف فتحات العادم) فتندفع منها غازات الاحتراق خارج الإسطوانة ويقل الضغط بها، ويوالي الكباس هبوطه ليكشف فتحات (أو أبواب) الهواء فتندفع من خلالها شحنة من الهواء المضغوط، وتساعد على كسحscavening بقايا غازات العادم لتحل محلها شحنة من الهواء الجوي تملأ الإسطوانة ويستمر بعدها الشوط الصاعد الذي يغلق فتحات الهواء وصمامات العادم (أو فتحاته) ليبدأ شوط الانضغاط وتستمر الدورة من جديد.

عمل الحدافة flywheel:

تعتبر الحدافة من الأجزاء الأساسية في محرك ديزل، وهي عبارة عن عجلة ثقيلة مثبتة في عمود المرفق، وظيفتها المحافظة على سرعة دوران المحرك خلال شوط القدرة وباقي أشواط الدورة.

ويتلقى عمود المرفق قدرة الدوران خلال شوط القدرة فقط، بينما عليه أن يمد الكباس بالحركة خلال الأشواط الأخرى، وبذلك تقوم الحدافة بالمهمة المطلوبة فهي تسرع قليلاً خلال شوط القدرة ثم تفقد هذه الزيادة خلال باقي الأشواط.

الكسح والشحن الجبري scavening:

يراعى أن وظيفة هواء الكسح هو القيام بتنظيف الإسطوانة من الغازات المتبقية عن الدورة السابقة وإحلال شحنة من الهواء النقي محلها.

وقد استخدم مؤخراً نظام الشاحن التوربيني وهو عبارة عن مروحة هوائية تضخ الهواء النقي تحت ضغط إلى المحرك وتدور بفعل غازات العادم التي تمر داخل توربينة غازية.

وبذلك تستوعب إسطوانات المحرك كمية أكبر من الهواء ويمكننا الحصول على قدرة أكبر من المحرك بنفس أبعاده، كما يخفض من الثمن الأولى لوحدة القدرة بالإضافة إلى أنه يحقق وفراً في الوقود المستهلك إذا ما قورن بالمحرك العادي (الشفط المعتاد).

ويشيع استخدام الشاحن التوربيني حالياً في كل من المحركات الرباعية الأشواط والثنائية الأشواط .

3- 7 تصنيفات محركات الديزل:

يتم تصنيف محركات الديزل تبعاً لاعتبارات متعددة، بحيث يسهل توصيف المحرك وإعطاءنا فكرة عامة عن تصميمه وطريقة تشغيله والتمييز بين مختلف أنواعه، فنقول مثلاً "محرك ديزل رباعي الأشواط مفرد التأثير، متوسط السرعة اسطواناته على شكل 7 ، بالشحن الجبري.. إلخ، وسوف تميز كل صفة من الصفات السابقة بين هذا المحرك وغيره من المحركات التي تختلف عنه".

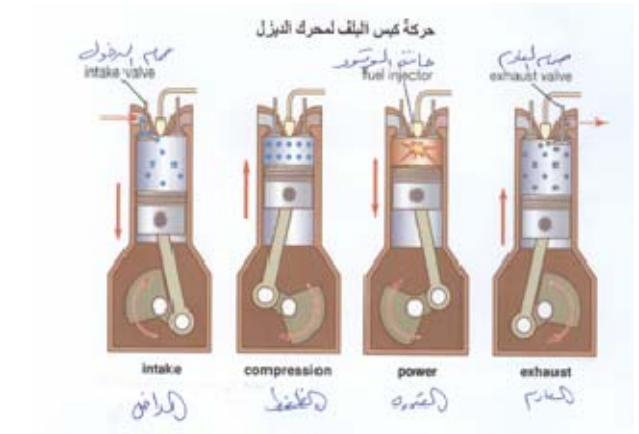
وفيما يلي توضيح لأهم الاعتبارات التي يتم تصنيف محركات الديزل تبعاً لها.

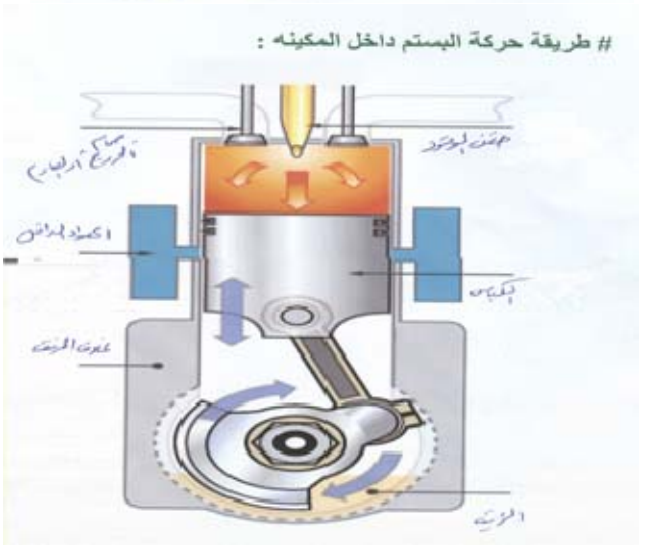
أولاً- أشواط التشغيل:

وتنقسم محركات الديزل تبعاً لأشواط التشغيل إلى نوعين:

أ- محركات رباعية الأشواط، وفيها تتم دورة التشغيل في أربعة أشواط للكباس أي في لفتين من عمود المرفق، كما ذكرنا سابقاً.

ب- محركات ثنائية الأشواط، وفيها تتم دورة التشغيل في شوطين للكباس (الشوط الهابط والشوط الصاعد) أي في لفة واحدة من عمود المرفق، كما ذكرنا سابقاً.





ثانياً- تأثير الاحتراق:

ويقصد بهذا التقسيم ما تحتويه الإسطوانة الواحدة من غرف الاحتراق التي إما أن تكون واحدة أو اثنتين على الأكثر، وبذلك يتم تقسيم المحركات إلى نوعين:

أ- محركات مفردة الأداء (التأثير) ويكون بها غرفة احتراق واحدة لكل إسطوانة بحيث تنحصر غازات الاحتراق في ناحية واحدة من رأس الإسطوانة والكباس.

ب- محركات مزدوجة الأداء (التأثير): وتكون بها في كل إسطوانة غرفتان للاحتراق الأولى علوية وتؤثر الغازات بها على السطح العلوي للكباس، والآخر سفلية وتؤثر الغازات بها على السطح السفلي للكباس.

ثالثاً- سرعة الدوران:

يتم تصنيف محركات الديزل تبعاً لسرعة الدوران إلى أربعة طرازات وهي:

أ- محرك بطيء السرعة.

ب- محرك متوسط السرعة.

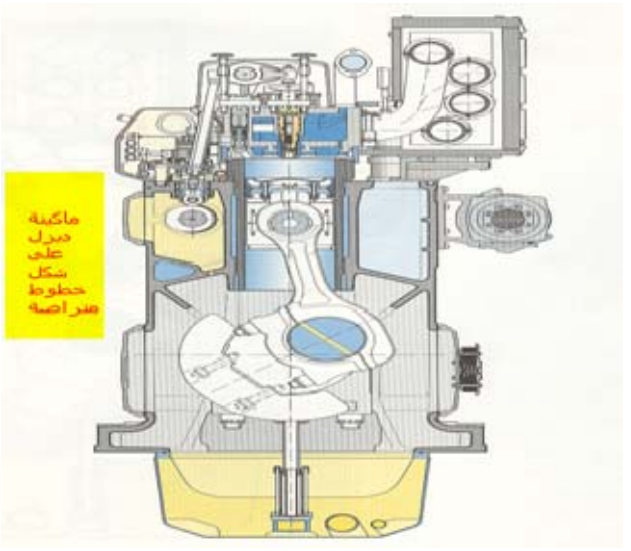
ج- محرك مرتفع السرعة.

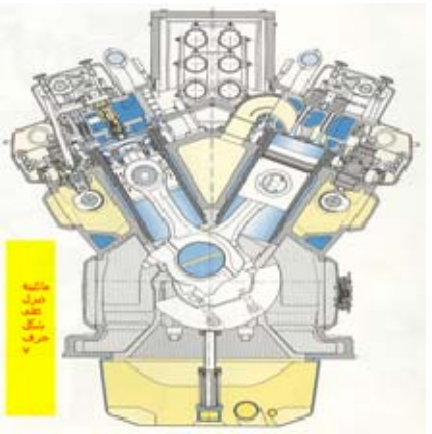
وعلى العموم فإن معرفة الطراز الذي ينتمي إليه المحرك من ناحية السرعة له دلالة هامة في تشغيل المحرك، فكلما كان تصنيف المحرك في عالي السرعة استدعى ذلك زيادة العناية اللازمة للاحتفاظ بالمحرك في أحسن حالات التشغيل وملاحظة كافة التفصيلات الموصى بها في كتيب تعليمات الصانع، ودقة إجراءات التفتيش والصيانة اللازمة للمحرك.

رابعاً- ترتيب الاسطوانات:

ويجري تقسيم المحركات تبعاً لذلك إلى الطرازات الآتية:

1- الاسطوانة المتصافة (في خط واحد) وتكون الاسطوانات ومحاورها في صف واحد أي تكون مراكز الاسطوانات متحاذية وتقع جميعها في خط مستقيم.





2- الاسطوانات على شكل 7 ، ويتكون المحرك حينئذ من ضفتين للاسطوانات يمني ويسري بحيث يلتقي محوري كل اسطوانتين متقابلتين ليشكلا الرقم 7 .

3- الاسطوانات على شكل دلتا وتتقابل محاور الاسطوانات المتواجهة لتشكل ما يعرف بحرف دلتا.

4- الاسطوانات القطرية (النجمة) ونجد في هذا الطراز أن محاور الاسطوانات تكون شكل النجمة.

خامساً- دخول الهواء الجوي: air intake

يتم تصنيف محركات الديزل تبعاً لطريقة دخول هواء الجو في المحرك إلى نوعين:

أ- محركات الشفط المعتاد: وفيه يتم دخول هواء الجو بفعل الشفط الناشئ عن حركة الكباس في الشوط الهابط داخل الإسطوانة ويدخل الهواء للمحرك عند نفس الضغط الجوي تقريباً أو ينخفض قليلاً.

ب- محركات الشحن الجبري والقسري: وفيها يتم إجبار الهواء الجوي على الدخول إلى الإسطوانة بضغط أعلى من الضغط الجوي، وتستخدم وسائل إضافية خاصة لضمان زيادة الضغط ودخوله في توقيت محدود إلى إسطوانات المحرك.

سادساً- طريقة الدوران:

يتم تقسيم محركات الديزل تبعاً لطريقة الدوران إلى نوعين:

أ- ثابت اتجاه الدوران: ويكون دوران المحرك في اتجاه محدد لا يمكن تغييره، سواء كان في اتجاه عقرب الساعة (يمين)، أو في اتجاه عكس اتجاه عقارب الساعة (يسار).

ب- منعكس اتجاه الدوران: ويمكن حينئذ أن يدور المحرك إما في اتجاه اليمين أو في اتجاه اليسار، ولابد لتغيير اتجاه دوران المحرك من إيقافه وتحريك ذراع أو التأثير في آلية معينة، لعكس اتجاه الدوران، وهي خاصية مفيدة في المحركات الرئيسية المستخدمة لتسيير السفن.

ثامناً- نوع الوقود المستخدم:

يمكننا تصنيف محركات الديزل طبقاً لنوع الوقود المستخدم والأجهزة المستخدمة في إحراقه إلى الطرازات الآتية:

أ- محرك بالوقود الغازي: وفيه يتم استخدام الغازات البترولية (أو الطبيعية) لتوليد القدرة بعد احتراقها في إسطوانات المحرك.

ب- محرك بالوقود الديزل: وهو أكثر المحركات شيوعاً في تطبيقات الديزل ويتم فيه استخدام وقود سائل خفيف نسبياً.

ج- محرك بالوقود الثقيل: ويستخدم فيه وقود الغلايات الثقيل (اللزج) لتوليد القدرة عند دوران المحرك بالحمل الكامل

مزايا محركات الديزل:

كما ذكرنا في بداية هذا الفصل يعتبر محرك الديزل من أكثر المحركات الحرارية جودة، ومعنى ذلك أنه يولِّد عند حرق كمية محددة من الوقود، طاقة أكبر مما يمكن للأنواع الأخرى أن تولد من الطاقة.

كذلك يعتبر وقود الديزل أرخص ثمناً من الوقود اللازم لمحرك البنزين ويحقق محرك الديزل وفراً ملحوظاً في الوقود عند دورانه على احتمال جزئية، ومعنى ذلك أن استهلاك الوقود لا يزيد بنفس المعدل الذي يزيد لكل وحدة قدرة في غيره من المحركات إذا دارت بنصف الحمل مثلاً.

يحتفظ المحرك بجودة عالية مهما طالت مدة تشغيله، هذا إذا توفرت له العناية اللازمة أثناء التشغيل والصيانة الدورية اللازمة.

ولا يحتاج محرك الديزل إلى الكميات الكبيرة من المياه التي تستخدم في تشغيل المحطات البخارية لتوليد الطاقة، مما يشجع على استخدامه في المناطق النائية.

وتسهل إدارة المحرك البارد بحيث لا يحتاج إلا إلى بضع دقائق لتشغيل الحمل الكامل، فيلائم توليد الطاقة في أحوال الطوارئ كذلك يسهل عكس اتجاه دوران المحرك في لحظات، وبالإضافة إلى قلة الأيدي العاملة المطلوبة للتشغيل

استخدامات محرك الديزل:

يجرى اختيار النوع المحدد من المحركات على أساس قوة الاعتماد عليه في التشغيل، وثمنه الابتدائي، والوفر في نفقات تشغيله وصيانته ويراعى في كثير من الحالات أن الوفر في نفقات التشغيل والصيانة قد تتوازن في المدى الطويل مع الوفر في الثمن الأولى للمحرك.

وتستخدم محركات الديزل عالية القدرة في الكثير من الأغراض الصناعية مثل محطات توليد القوى الكهربية أو ضخ المياه أو وسائل النقل والمواصلات ، ويراعى أن محركات الديزل عالية القدرة بطيئة السرعة تنافس بجدارة جميع محركات البخار في مدى القدرات حتى خمسين ألف كيلو واط.

وتحد العوامل التالية من إنتاج قدرات أعلى من ذلك في الوقت الحاضر.

1- زيادة وزن الأجزاء الكبيرة في المحرك، وبالتالي يزيد مقدار البري في أسطحه وتتفاقم مشاكل التبريد.
2- تعقد مشاكل التزليق والتزييت والتشحيمlubrication، والمتاعب الخاصة بها.
3- صعوبة إدارة المحرك، وزيادة مشاكل دورة هواء بدء الحركة اللازمة عندئذ.

3- 8 حقن الوقود: fuel injection

تقوم معدات حقن الوقود بعمل بالغ الأهمية، فهي التي تزود المحرك بالوقود اللازم للاحتراق في كل دورة تشغيل، وذلك عن طريق ضخ الوقود بضغط شديد الارتفاع خلال الحاقنinjector حيث يندفع إلى حيز الاحتراق في الإسطوانة عند نهاية مشوار الانضغاط، فيتم الاحتراق باختلاطه مع الهواء الساخن المضغوط.

وسوف يكون الاحتراق سريعاً ومنتظماً في كافة أنحاء غرفة الاحتراق إذا كان ضغط الوقود المحقون عالياً بدرجة تتيح له النفاذ في الهواء المضغوط بحيث يتأكد اندفاعه في ذرات يمكنها اختراق الهواء والاختلاط به.

ويصل الضغط الذي تحققه مضخات الحقن 600 بار أو أكثر، وينبغي أن ينتظم عمل المضخة والحاقن في دفع الوقود عدة مرات في الثانية الواحدة ولمدة طويلة قد تتجاوز أشهراً من الدوران المستمر، ويوضح ذلك ما تحتاجه معدات الحقن من دقة التصميم وسلامة الإنتاج وصحة التشغيل وأهمية الصيانة الدورية حتى يتحقق انتظام الأداء طوال مدد الخدمة.

ولابد أن تتجاوب المضخة في معدل حقنها للوقود مع الحمل الواقع على المحرك، ويقوم حاكم السرعةspeed governor بتغيير معدل الحقن لو في أبسط الحدود، ولابد أن تتجاوب المضخة في التغيير بحساسية شديدة.

3- 8 – 1أنواع مضخات حقن الوقود:

تكون مضخات الحقن الحديثة من الطراز الجاف، أي أنها لا تستخدم الهواء المضغوط في دفع الوقود كما كان الحال في الطرازات العتيقة.

وتختلف التصميمات بين أنواع المضخات وإن كانت جميعها تهدف إلى القدرة على التحكم في كمية الوقود المضخوخ (المدفوع) ميكانيكياً مع ذراع الوقود وآلياً مع حاكم السرعة حتى تناسب الحمل والسرعة اللازمين للمحرك.

ويتم عادة تركيب مضخات الحقن في وضع رأسي حتى يسهل تصريف فقاعات الهواء منها عند تحضير المحرك للدوران.

3- 8-2 تحضير مضخات حقن الوقود: fuel pump priming

عند تجهيز المحرك للدوران، فلابد أن يتم إخراج أي هواء متسرب إلى دورة الوقود، وتعرف عملية استنزاف (استخراج) الهواء هذه باسم التحضير.

ويتم تسرب الهواء إلى ممرات الوقود في المضخة بسبب بعض الصمامات المختلفة أو المعيبة كما يتسرب الهواء من وصلات غير محكمة الرباط أو بسبب نوابضspring (زنبركات) ضعيفة أو غيرها من الأسباب.

والمعروف أن الوقود السائل غير قابل للانضغاط، وتتسبب حركة الدافعة في ضخه إلى الحاقن، في حين أن الهواء قابل للانضغاط. فإذا تسرب إلى ممرات الوقود فإنه يعوق عملية الضخ، وقد يؤدي إلى عدم ضخ الوقود وتصريفه إلى الحاقن، وبذلك لن نتمكن من تشغيل المحرك.

ويتم تحضير المضخة بواسطة تشغيلها يدوياً مع فتح صمامات التحضير التي توجد على خط الطرد (التصريف) وتستمر ملاحظة تصريف الوقود من صمام التحضير إلى أن ينقطع خروج أية فقاعات غازية، وينتظم تدفق الوقود.

ويراعى قبل تشغيل المحرك أن تكون درجة الحرارة للوقود طبقاً لتوصيات المنتج، خصوصاً عند استخدام أنواع الوقود زائدة اللزوجة والتي لابد من تسخينها لنقل لزوجتها إلى الدرجة الموصى باستخدامها.

3- 8 – 3 تشغيل مضخات حقن الوقود :

تقوم دافعةplunger المضخة بمشوار الطرد تبعاً لتأثير الحدبة (الكامة) التي ترفعها لأعلى، ثم يعمل النابض (الزنبرك) على دفع الدافعة لأسفل حتى تتطابق حركتها تماماً مع مسار الحدبة (الكامة)cam، لذلك ينبغي التحقق من أن الدافعات ونوابضها تعمل في وضعها الطبيعي وفي سهولة تامة قبل تشغيل المحرك.

ويلاحظ أن عدم مناسبة الخلوص بين الدافعة وجلبتها يتسبب في صوت (تزييق) معدني وقد يمكن تلافيه بتزييت الدافعة، كذلك يصدر نفس الصوت عند استخدام وقود غير مناسب للمضخات.

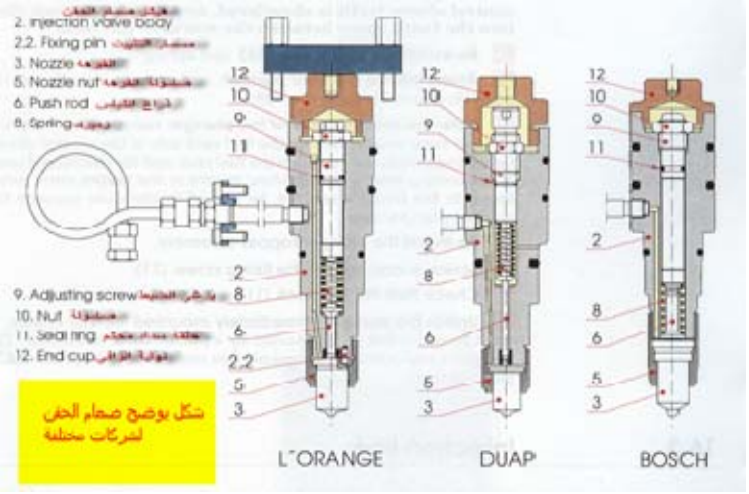
وينبغي إجراء الصيانة الدورية لمرشحات الوقود، وهي التي تحمي الأجزاء الداخلية للمضخة من تسرب الشوائب إليها، وتتسبب الأوساخ والرواسب في إعاقة صمامات المضخة عن الغلق، وتقل بذلك قدرة المحرك، ويتضح لنا ذلك من انخفاض درجات حرارة العادم.

وتحتاج الدورات والحدبات للتزييت (أو التشحيم)، كذلك يراعى تزييت وتشحيم وصلات وتروس التشغيل ومحامل كراسي عمود الحدبات (الكامات).

ومن الضروري أن تتوقف المضخة تماماً عن الحقن عندما يكون ذراع تدوير (مناورة) المحرك في الوضع (stop)، كما يجب أن يتناسب طردها مع وضع ذراع التشغيل في موضع السرعة المطلوبة، ويراعى أن اختلاف كمية الوقود المحقون في أية إسطوانة عن غيرها يتسبب في آثار خطيرة خصوصاً عند بدء الدوران، ويؤدي إلى إجهادات حرارية وميكانيكية قاسية، وقد ينتج عنها شروخ أو كسر في أجزاء المحرك.

ويلزم أن تكون الدفاعاتimpeller متساوية الأقطار ومشوار الرفع في المحرك الواحد كما ينبغي التحقق من قيمة الخلوصات بين المضخة والحدبات أو أذرع الرفع.. إلخ مع مقارنتها بعضها ببعض.

صمامات مضخات حقن الوقود :



شكل يوضح صمام الحقن لشركات مختلفة

ينبغي أن تكون صمامات المضخة حاكمة تماماً على مقاعدهاseates ومانعة للتسرب ويراعى أن الأحماض والشوائب تسبب نقراًpitting في وجه الصمامات أو تجريحاً غير منتظم مما يؤثر على أداء المضخة ويسيء إلى توقيت الحقن مهما كان بسيطاً، لذلك تبذل العناية الفائقة والنظافة التامة عند القيام بصيانة أو صنفرة صمامات المضخة، وقد تؤثر صنفرة الصمام على قيمة الرفع اللازم له ولابد من التتميم والتأكيد على خلوصه الموصى به بعد إجراء الصيانة.

ولابد أن تحظى النوابض (الزنبركات) بما تستحقه من أهمية وأن نتحقق من قوتها المطلوبة، والمعروف أن زيادة قوة النابض تتسبب في زيادة ضغط الضخ وسرعته، مما يسبب سخونة المضخة وتجريح قاعدة الصمام، كما أن انخفاض قوة النابض تؤخر غلق الصمام، وتؤثر على توقيت الحقن.

ويلعب صمام الطرد delivery valveفي مضخة الوقود دوراً هاماً في تأكيد نهاية الحقن بشكل سليم، فهو يمثل صمام لا رجعي (غير رجاع)non return valve يمنع رجوع التدفق الكلي للوقود من مواسير الضغط المرتفع الموصلة بين المضخة والحاقن، كما أنه مصمم بحيث يسحب كمية من الوقود الموجود في الماسورة عندما يغلق، ويتسبب ذلك في هبوط مفاجئ في الضغط، ويتحقق ذلك بالجزء المصمم على هيئة طربوش ملحق بالصمام كما يبينه الشكل ومعنى ذلك أنه يعمل على امتصاص الموجات التضاغطية المرتدة في مواسير الطرد بين صمام الحقن والمضخة عند انتهاء الحقن، أي أنه عندما يغلق صمام الطرد فإنه

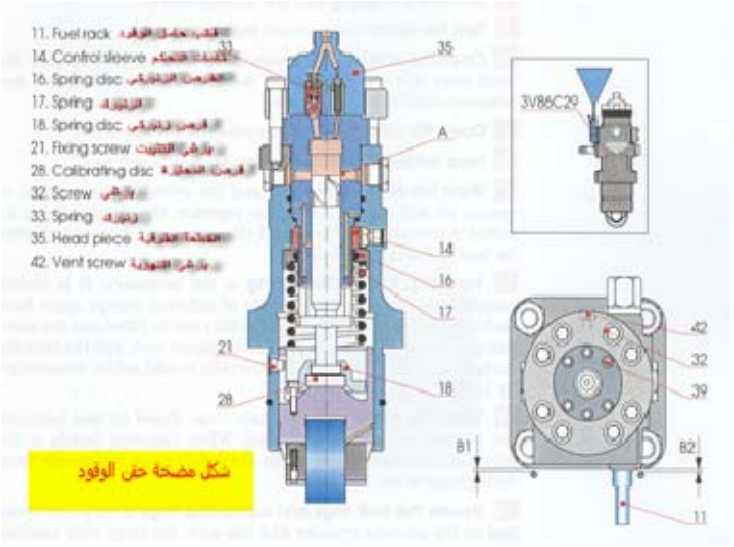
يسمح بهبوط شديد للضغط في خط مواسير الوقود بحيث لا تتسبب موجة الضغط المرتدة في إعادة فتح صمام حقن الوقود وإعادة الحقن مرة ثانية، وهي الظاهرة المعروفة باسم الحقن المختلف أو الحقن الثانوي.

وقد يفسد فعل الصمام إذا استبدلنا ما سورة طرد بين المضخة والحاقن بأخرى غير مساوية لها في الطول أو القطر الداخلين لذلك لابد أن نتأكد من تساوي أطوال المواسير المستبدلة وأقطارها الداخلية مع المواسير الأصلية.

ومن الضروري أن يتم الكشف الدوري والصيانة اللازمة في أوقات منتظمة مع مراعاة النظافة التامة والعناية الفائقة لكل ما يختص بدورة الوقود.

معايرة مضخات حقن الوقود: adjustment

تتنوع المعدات المستخدمة حالياً في ضبط ومعايرة مضخات حقن الوقود، وهي تتفاوت ما بين الأنواع الإلكترونية الحديثة إلى الأنواع اليدوية البسيطة، ويبين الشكل إحداها.



والمقصود بمعايرة المضخة أن نتأكد من تساوي الطرد من كافة وحدات الضخ إلى الحاقنات، وبعد أن يتم تثبيت المضخة على قاعدة جهاز المعايرة فعلينا توصيلها بخزن الوقود المزود في الجهاز مع التأكيد على أهمية استنزاف الهواء من مواسير الوقود والمضخة قبل القيام بخطوات المعايرة اللازمة طبقاً لتوصيات صانع الجهاز.

ومن الضروري مراعاة تطابق اتجاه دوران الجهاز مع الاتجاه الصحيح لدوران المضخة، وإجراء خطوات المعايرة وتسجيل القراءات اللازمة أكثر من مرة،

صمامات حقن الوقود: fuel injection valve

تقوم الحاقنات (الرشاشات أو البخاخات) بعمليتين أساسيتين:

أولاً- فتح ممر الوقود إلى غرفة الاحتراق.

ثانياً- تحويل الوقود بضغطة العالي إلى نافورة، بحيث يتم تذريرهatomisation وتجزئته إلى دقائق صغيرة جداً، حتى يختلط بصورة فعالة مع الهواء المضغوط في حيز الاحتراق.

3- 9 حاكم السرعة: speed governor

تتناسب القدرة الناتجة من محرك الديزل مع كمية الوقود المحترقة داخل اسطواناته، فإذا زادت كمية الوقود بحيث تزيد القدرة البيانية الناتجة عن الحمل الذي يديره المحرك فسوف تزيد سرعة المحرك تبعاً لذلك، أما إذا زاد حمل المحرك عن القدرة البيانية فسوف تقل سرعة المحرك، لدرجة أنه قد يقف تماماً إذا زادت درجة التحميل كثيراً عن القدرة الناتجة من المحرك.

وحتى يعمل المحرك عند سرعة ثابتة مع أحمال متغيرة، فلابد أن يتغير معدل تدفق الوقود المحترق فيه بطريقة تضمن لنا تناسب القدرة الناتجة مع الحمل الواقع عند تلك السرعة المطلوبة.

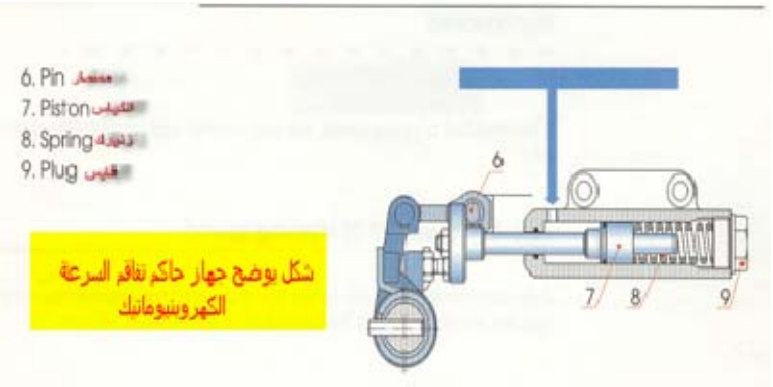
ويعمل حاكم السرعة في المحرك على إتمام هذا العمل تلقائياً بمنتهى السرعة والدقة، فهو يستشعر أولاً أي تغيير في السرعة، ثم يعمل في الحال على ضبط معدل الوقود المحقون في المحرك ليناسب الحمل الواقع مع إبقاء سرعة المحرك على ما هي عليه.

وتنقسم حواكم ضبط السرعة عموماً إلى قسمين:

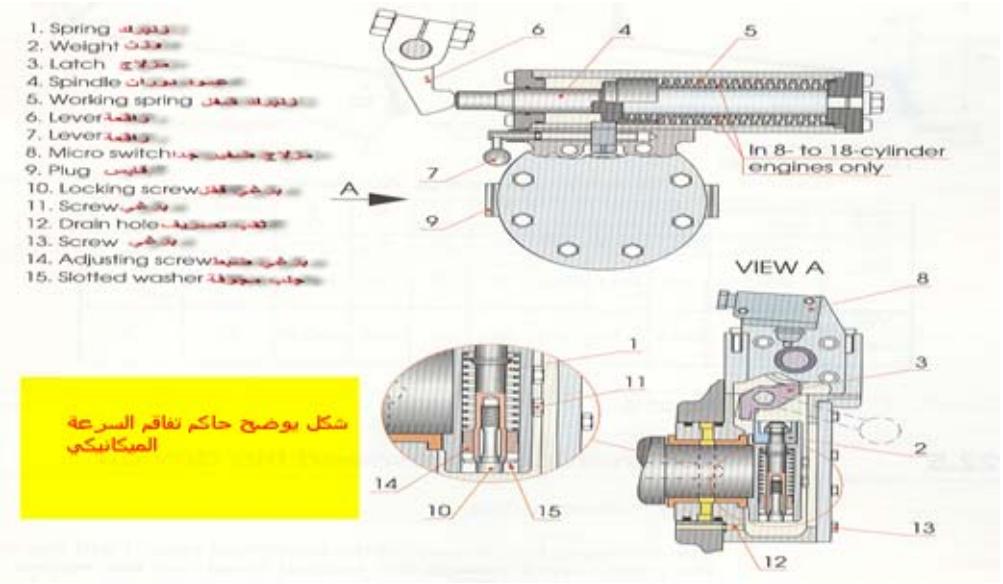
حاكم السرعة الميكانيكي وهو يعمل بتحكم إلى مباشر، وحاكم السرعة الأيدروليhydraulic ويعمل بالتحكم غير المباشر.

حاكم تفاقم السرعة (overspeed governor):

يستخدم هذا الطراز لحماية المحرك من الأخطاء الناشئة عن أي عيب قد ينشأ في حاكم السرعة المعتاد فيعوقه عن القيام بعمله ويتسبب في أن يدور المحرك بسرعة خطيرة، ويبين الشكل إحدى طرازات حاكم تفاقم السرعة.



شكل يوضح جهاز حاكم تفاقم السرعة الكهروشيوماتيك



شكل يوضح حاكم تفاقم السرعة الميكانيكي

وحتى نحقق الحماية القصوى للمحرك، فلابد أن يكون حاكم تفاقم السرعة مستقلاً تماماً عن آليات حاكم السرعة المعتاد، ويتحتم لذلك أن تتم إدارته من موضع مريح بعمود مستقل من المحرك وذلك ليظل مؤثراً حتى ولو انكسرت تروس إدارة الحاكم العادي.

ومن الضروري أن يتم ضبط حاكم السرعة بحيث يصبح فعالاً عندما تزيد السرعة بنسبة محددة (15٪ مثلاً لوحدات التوليد).

ولابد أن يجري التتميم والتأكيد على فعاليته في فترات دورية للتأكد من أنه في حالة تشغيل فعال، وهذا الإجراء لابد ن مراعاته أيضاً مع غيره من وسائل حماية المحرك.

3- 10 دورة زيوت الوقود لمحرك الديزل:

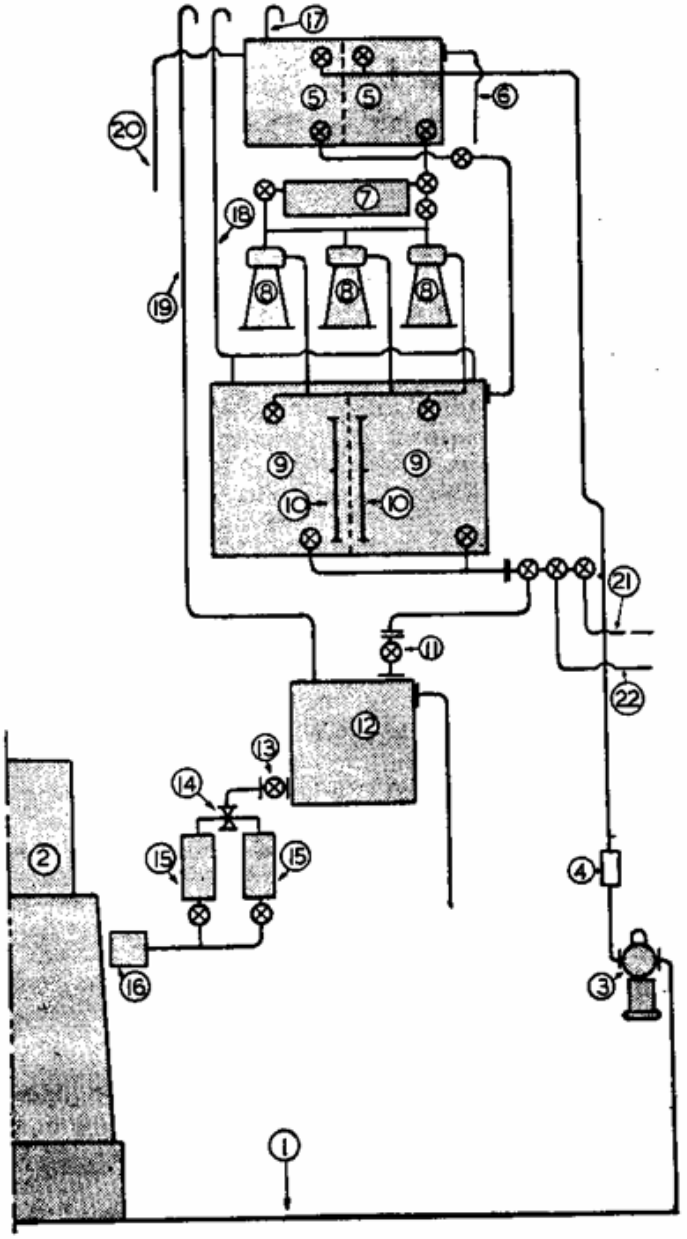
يبين الشكل رسماً تخطيطياً لدورة وقود مبسطة في محرك ديزل، وتقوم مضخة نقل زيت الوقود (3) بسحب الوقود من صهاريج التخزين، حيث يتم تصريفه إلى أحد صهريجي الترسيب (5) وبينما نستخدم أحد الصهريجين، يتم تسخين محتويات الصهريج الثاني بالبخار أو بأي وسيلة أخرى، ولا ينبغي زيادة درجة حرارة التسخين عن 65^{5}م، ويساعد التسخين على تخليص الوقود مما يختلط به من ماء أو شوائب، إذ تترسب إلى القاع، ويزود أسفل الصهريج بمحبس تصفية يمكن بواسطته التخلص من المترسبات إلى صهريج الزيت القذر، ويمكن بعد ذلك نقل الوقود مباشرة إلى صهاريج الخدمة الرئيسية (8)، أو يجوز أن يمر خلال مجموعة تسخين ثانية (7) ومنها إلى فاصل طارد مركزي (8) وبعده إلى صهاريج الخدمة الرئيسية.

ويراعى أن محابس التصريف من صهاريج الترسيب توضع في منسوب أعلى من محابس التصفية التي يتم تصريف الوقود منها خلال مواسير تصفية إلى صهاريج الزيت القذر، وتزود أعلى نقطة في كل صهريج بماسورة تهوية (19 ، 18 ، 17) بقطرة 5سم على الأقل، وتمتد نهاية المواسير إلى مواضع مرتفعة حيث تأمن من عدم اشتعال الأبخرة الصاعدة منها، وتغطي نهاية المواسير بشبكات سلكية، وهي ما تعرف باسم مصيدة اللهب.

ويزود كل صهريج بوسيلة مناسبة لقياس منسوب الوقود فيه، ويتم تصريف الوقود المنقى من صهاريج الخدمة الرئيسية (9) إلى صهريج خدمة المحرك أو المولدات أو الغلايات المساعدة... إلخ.

ويتم دخول الوقود إلى صهريج المحرك (12) خلال صمام بتحكم عوامة.

ولابد أن يزود مخرج الوقود من الصهريج بمحبس غلق سريع (13) يمكن التحكم فيه من بعد ، ويتم تصريف الوقود منه إلى أحد المرشحين (15) بحيث يكون أحدهما في الاستخدام، ويكون الآخر قد تم تنظيفه وأصبح جاهزاً للخدمة ويتم غلق أحدهما وفتح الآخر عن طريق جزرتي تحويل للمدخل وللمخرج أو محابس غلق وفتح مناسبة.



شكل

3- 11 دورة الوقود لمحرك ديزل :

1- صهاريج التخزين (بالقاع المزدوج).
2- المحرك الرئيسي.
3- مضخة نقل الوقود.
4- مرشح.
5- صهاريج الترسيب.
6- الفائض إلى صهاريج التخزين.
7- سخان.
8- منقي الوقود (بالطرد المركزي).
9- صهاريج الخدمة الرئيسية.
10- زجاجات البيان.
11- جزرة ضبط العوامة.
12- صهريج الخدمة للمحرك وله ماسورة فائض وإنذار لانخفاض المنسوب.
13- صمام الغلق السريع، ويتم التحكم فيه من بعد (من السطح).
14- محبس التبديل.
15- مرشحات مزدوجة.
16- مضخة الوقود للمحرك الرئيسي.
17- ماسورة تهوية لصهريج الترسيب.
18- ماسورة تهوية لصهريج الخدمة الرئيسية.
19- ماسورة تهوية لصهريج خدمة المحرك.
20- ماسورة الفائض إلى صهاريج التخزين.
21- ماسورة وقود للمكنات المساعدة.
22- ماسورة وقود للأغراض الثانوية.

مشاكل استخدام الوقود الثقيل :

لعل أكثر المشاكل التي تنتج عن استخدام الوقود الثقيل هي ارتفاع نسبة الكبريت إذ تصل لحوالي 5٪، وتتحول في حالة غازات الاحتراق إلى ثاني وثالث أكسيد الكبريت الذي

يذوب في بخار الماء ليكون أحماض الكبريتيك والكبريتوز فتسبب زيادة البري pitting في قميص الاسطوانةcylinder liner، وتآكل صمامات ومواسير العادم وتلف غلايات العادم إذا كانت مستخدمة.

ويراعى عند استخدام الوقود الثقيل أن الزيوت المعدنية المستخدمة عادة في تزليق أو تشحيم القميص liner والكباس pistonقد لا تناسب أحوال التشغيل الناشئة عندئذ مما يحتم استخدام زيوت خاصة بها إضافات محددة لتلافي تأثير نواتج الاحتراق على أداء المحرك، وسوف يأتي توضيحها عند مناقشة زيوت التزليق أو التشحيم ، وتتعقد كذلك مشاكل، فوهات الرشاشات عند حقن الوقود الثقيل مما قد يسبب انسداد الثقوب، وقد أمكن التغلب على هذا الوضع بتبريد الفوهات nozzles، وبحيث لا نتجاوز حدود التبريد المطلوب حتى لا يتسبب ذلك في تكثف بخار الماء وتكون أحماض الكبريت.

مراعاة أحوال التشغيل بالوقود الثقيل:

يراعى تحقيق مطلبين أساسيين عند استخدام الوقود الثقيل:

أولاً: أن يتم تخليص الوقود تماماً مما به من شوائب أو مياه عالقة ونستخدم في ذلك المنقياتstraineres بالطرد المركزي والأفضل أن تكون من الطراز ذاتي التنظيف.

ثانياً: أن يجري تسخين الوقود إلى درجة حرارة مناسبة بحيث تعطينا اللزوجة المطلوبة قبل وصوله إلى دورة حقن على المحرك، ويستحسن في هذا الصدد أن نتبع بدقة توصيات الصانع عن اللزوجة، ويزودنا الكثير من شركات البترول بالأشكال البيانية اللازمة والتي نستطيع أن نتعرف بواسطتها على درجة الحرارة المطلوبة لخفض زيت وقود معين إلى درجة لزوجة محددة والمتبع أن يتم التسخين بحيث تصبح اللزوجة مماثلة لما هو محدد للوقود الديزل عند درجة حرارة الجو، والمعروف أنه كلما زادت سرعة المحرك كان من الأفضل استخدام الوقود الأقل لزوجة.

ويراعى استخدام زيوت تزليق وتشحيم خاصة تعرف بزيوت الإضافات (أو المذيبات) oil dispersion عند استخدام الوقود الثقيل ولابد من مراعاة الإحكام التام لغازات الاحتراق وعدم السماح بتسرب زيت التزليق إلى حوض المرفق إذا كان الأخير يستخدم نوعاً من الزيت مخالفاً لما هو مستخدم في تزليق الاسطوانات.

خصائص اللزوجة بالنسبة لدرجة الحرارة:

تتأثر لزوجة السوائل بشكل كبير تبعاً لدرجة حرارتها، ومن الحقائق المعروفة أن الزيوت تتدفق بانسيابية أكبر أي تقل لزوجتها عند تسخينها.

ولما كانت اللزوجة هي قياس لمقاومة السوائل الداخلية للتدفق، فإن لزوجة الوقود (وغيره من المواد السائلة) لابد أن تتناقص كلما ارتفعت درجة حرارته والعكس صحيح.

احتراق زيوت الوقود في محركات الديزل:

تتم عملية الاحتراق في إسطوانة محرك الديزل باتجاه الوقود (المجزأ) مع أكسجين الهواء المضغوط في الاسطوانة، والمعروف أن نسبة الأكسجين في الهواء الجوي 23٪ بالوزن والباقي أغلبه نتروجين، ويعتمد وزن الأكسجين اللازم للاحتراق على وزن مكونات الوقود الكيميائية، فمثلاً يحتوي زيت وقود الغلايات على 86٪ كربون، 10٪ إيدروجين، 1-0.5٪ أكسجين و 3- 3.5٪ كبريت.

ويراعى أن الكربون عند احتراقه ينتج ثاني أكسيد الكربون ويحتاج إلى 2.66 ضعف وزنه من الأكسجين (وينتج 33.7 ميجاجول حرارياً للكيلو جرام من الكربون) فإذا كان الاحتراق غير تام وكانت نواتج الاحتراق هي أول أكسيد الكربون فسوف ينقص الأكسجين المستخدم إلى النصف. .

ويمكن عندئذ حساب وزن الهواء المطلوب للاحتراق الجيد، مع مراعاة أن كثافة الهواء تتغير إلى حد كبير تبعاً لدرجة حرارته لذلك تتضح أهمية تبريد الهواء قبل دخوله الإسطوانة فإذا لم يكن التبريد لكمية الهواء المطلوبة سليماً فقد لا يحقق وزن الهواء المطلوب خصوصاً في ظروف الأجواء الحارة كأجوائنا، ويتسبب ذلك في احتراق غير تام ويقلل من كمية الحرارة المنبعثة وبالتالي تنقص قدرة المحرك المعدل اللازم مع خفض درجة الحرارة في بداية شوط الانضغاط وهي أيضاً غير مرغوبة لأنها تقلل من الجودة الحرارية للمحرك.

وينتج عن الاحتراق الكامل ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء وكمية بسيطة من ثاني أكسيد الكبريت ويتم تحديد المكونات الفعلية للاحتراق باستخدام جهاز "أورسات" لتحليل غازات العادم.

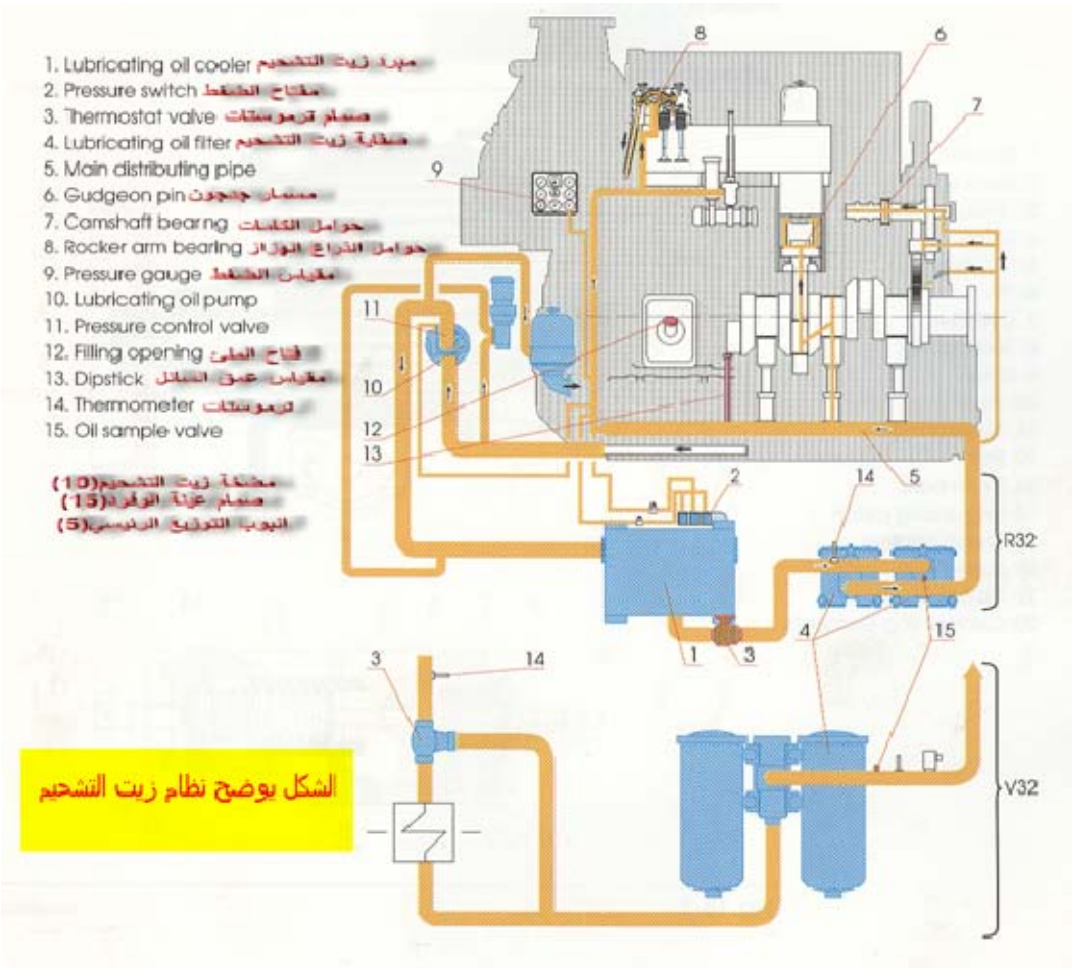
أما المتبع عملياً فهو أن تجري مراقبة غازات العادم عند خروجها من المدخنة ويعتبر الاحتراق مرضياً إذا كان لون العادم صافياً، أما إذا لوحظ دخان قاتم فذلك دلالة على الاحتراق غير التام وقد لا يكون تغير لون العادم بسبب الاحتراق غير التام، فإن زيادة معدل التزييت تضفي لمسة زرقاء اللون لغازات العادم كما أن بخار الماء يسبب وجود اللون الأبيض في العادم.

ويراعى أن الزيادة البالغة في طرد الكربون والرماد تدل على زيادة الشوائب والمخلفات sludg المتراكم في مجموعة العادم وقد تعني أيضاً أن تنقية الوقود بالطرد المركزي لا تتم بصورة فعالة أو أن تشغيلها لا يتم بطريقة صحيحة ولابد دائماً من اتخاذ الخطوات السريعة لتصحيح الحالة وملافاة الخلل الناشئ.

ويلاحظ في العادة أن تغير درجة حرارة العادم هي أول بيان لتغير أحوال الاحتراق في الاسطوانة، وعندما يكون التغير طفيفاً فقد لا يستلزم اتخاذ إجراء معين ولكن لابد من تتبع الخلل وإجراء التقتيش الدقيق على أحوال التشغيل إذا كان التغير في درجة الحرارة للعادم كبيراً ولابد من اكتشاف الأسباب ومعالجتها في الحال.

زيت التشحيم (التزليق) Lubrication :

تنقسم أنواع الزيوت بوجه عام إلى زيوت حيوانية ونباتية ومعدنية، ويقصد بالزيوت المعدنية تلك المستخرجة بعمليات التقطير لخام البترول، وهي المستخدمة عموماً في تزليق أجزاء محركات الديزل، ولا يخفى أن الشحوم التي قد تستخدم في التزليق هي أساساً مخلوطات من الزيوت المعدنية والصابون، وهو المادة التي تكسب الشحم قوامه الصلب، وعلى ذلك يمكن اعتبار الشحم كصابون يحمل كمية من الزيت هي التي تقوم أساساً بعملية التزليق (التزييت أو التشحيم).



الشكل يوضح نظام زيت التشحيم

وتستحق مشاكل التزليق اهتماماً أكثر مما تحظى به في الوقت الحاضر، إذ أن جودة التزليق وصحة تطبيقاته تتسبب في توفير القدرة الضائعة وتقليل نفقات الصيانة بالإضافة إلى الوفر في استهلاك الزيت.

وظائف زيت التزليق في المحرك الديزل:

يقوم زيت التزليق بالعديد من وظائف في محرك الديزل، فهو يعمل على تقليل التآكل الناشئ بين الأسطح المحتكة بتقليل معامل الاحتكاك بينها وهو بالتالي يطيل من عمر الأجزاء المتحركة، ويتوقف على دقة التزليق معدل استهلاكها واستبدالها.

كذلك ينشأ عن تقليل معامل الاحتكاك سهولة الحركة في مختلف الأجزاء وتقليل القدرة المفقودة (أي زيادة الجودة الميكانيكية)، وهي إحدى العوامل الهامة عند اعتبار تشغيل المحرك.

كما يعمل زيت التزليق على نقل الحرارة الناشئة في مختلف الأجزاء، ويحملها معه إلى المبادلات الحراريةheat exchanger للتخلص منها، وهو بذلك يؤدي وظيفة هامة في تقليل الإجهادات الحرارية داخل أجزاء المحرك، ويعمل الزيت أيضاً على امتصاص أحمال الصدم الناشئة من التغيرات المفاجئة أثناء بدء التشغيل وخلال فترات التحميل المختلفة، ونجد أن زيت التزليق المستخدم في قميص الإسطوانة يؤدي وظيفة هامة في ذلك الموضع وهي زيادة الحبكseal بين جدار القميص وحلقات الكباسpiston ring وبذلك يساعد على زيادة انضغاط الهواء والاستفادة القصوى بضغوط الاحتراق، وذلك مما يزيد من الكفاءة الحرارية للمحرك.

وقد استحدثت في الأسواق أخيراً أنواع زيوت الخدمة الشاقة أو زيوت الإضافات وتعمل تلك الإضافات على تحسين وظيفة الزيت في نظافة أجزاء المحرك وحمايته من آثار الصدأ أو الكربون والرماد وغيرها من الشوائب الصلبة التي تتسبب في زيادة تآكل المعدن.

وتتوالى التحسينات في هذا المجال حتى يؤدي الزيت وظائفه السابقة بفعالية كاملة.

استخدامات الزيوت المعدنية في محرك الديزل:

لا يقتصر استخدام الزيوت المعدنية في محرك الديزل بغرض التزليق فحسب، سواء كان ذلك بين القميص والكباس أو بين المحاور (المرتكزات)journals والكراسيbearing، بل قد يستخدم بالإضافة لما سبق في أغراض أخرى مثل تبريد الكباسات أو الدوائر الإيدروليةhydraulic، كدورة بدء الإدارة وعكس الحركة أو نقل الحركة أو حماية المحرك عند انقطاع التبريد أو التزليق.. إلخ.

وقد يكون استخدام الزيت في كل دورة من الدورات السابقة منفصلاً كما يجوز أن يستخدم الزيت في دورتين أو أكثر من الدورات السابق تحديدها.

وقد تتعارض خواص الزيت المستخدم بغرض معين لخواصه عند استخدامه في غرض مزدوج، وتلك عموماً من الملامح الهامة التي ينبغي مراعاتها عند تقرير مناسبة استخدام زيت معين لأحد المحركات.

تحضير دورة الزيت: oil cycle priming

لابد من استنزاف (استخراج) الهواء من دورة الزيت قبل تشغيل المحرك بعد وقوف طويل، وذلك بفتح محابس تصريف الهواء عند أعلى مرشح الزيت أو المبردcooler، وقد تستخدم مضخة يدوية أو وحدة تحضير تدار بمحرك كهربي لدفع الزيت في دورة التغذية الجبرية للزيت قبل دوران المحرك وقيام المضخة الملحقة بعملها في ضخ الزيت.

وتكون تغذية حاكم اللفات وتروس التوقيتtiming gear بالزيت جبرياً، حيث يتساقط الزيت منها إلى حوض المرفقcrank case، فإذا كانت هناك غيرها من نقط التزليق الجبري فلابد من التأكد من وصول الزيت إليها قبل دوران المحرك.

وقد تحتاج في كثير من الظروف إلى تسخين دورة الزيت قبل بدء ضخه في الدورة والمعتاد أن يقتصر على استخدام البخار في التسخين خلال صهاريج الزيت أو تستخدم مجموعة التنقية للقيام بهذا الغرض.

تغيير الزيوت أو استبدالها:

لا توجد مدد قياسية محددة لكل أحوال التشغيل بحيث يتحتم عندها تغيير الزيت، وتختلف تلك الفترات (المدد) باختلاف نوع المحرك والوقود المستخدم ودرجة التحميل ونوع الخدمة وأحوال التشغيل والصيانة وكمية الغبار والأتربة في الهواء المستخدم ودرجة كفاية الترشيح والتنقية، ودرجة الحرارة التي يعمل المحرك في مداها.

وحتى يمكن أن نكون فكرة سليمة عن المدد الدورية اللازمة لتغيير الزيت فلابد من سحب عينات وإرسالها لمعمل التحاليل من فترة لأخرى.

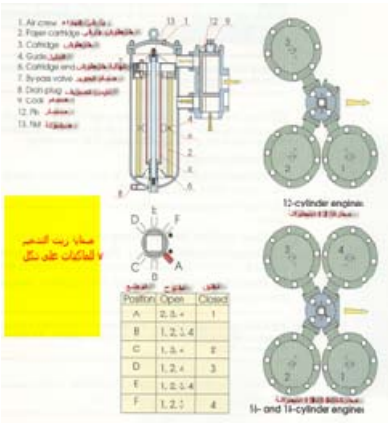
ويحتاج المحرك في بداية دورانه إلى تغيير الزيت بعد أول 200- 250 ساعة ثم يجري تغييره بعد 400- 500 ساعة ثم لا يصبح بعد ذلك تغييره إلا طبقاً لاستهلاك الزيت وأحوال التشغيل والصيانة من نصف المدة إلى ضعف المدة.

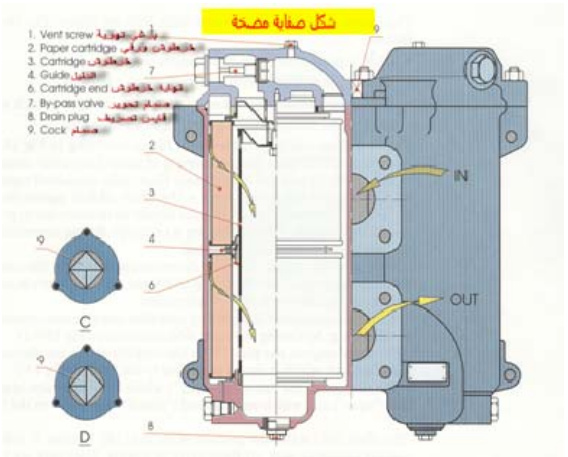
ويتحتم تغيير الزيت إذا دلت التحاليل المعملية على فساده، خصوصاً بعد اختلاطه بالماء أو زيادة نسبة الوقود أو المياه أو الشوائب به، مع مراعاة العمل على معالجة سبب تسرب الملوثات إليه وقطعها في الحال.

ويوصى عند القيام بتغيير الزيت أن يتم تفريغه والمحرك ساخن، ثم يجري تنظيف حوض المرفق وصهريج التخزين في نفس الوقت مع ضرورة نفض مسالك الزيت والمواسير بالهواء المضغوط،

إعادة استخدام الزيوت القديمة:

لا يصح مطلقاً إعادة استخدام الزيوت القديمة في الدورة الأساسية للتغذية الجبرية، وقد يجوز بعد إجراء التنقية اللازمة لها والتأكد من صلاحيتها أن تستخدم للخلط مع زيوت جديدة في بعض الاستخدامات الثانوية.





3- 12 معدات حقن الوقود:

لابد أن يتم التحضير اللازم لخطوط حقن الوقود حتى لا تتسبب الفقاعات الهوائية التي قد تتسرب من الوصلات في إفساد عمل المضخة، ويلزمنا التتميم على حالة المرشحات الموجودة على خط مواسير الوقود للمحرك، وكذلك التحقق من حالة صمامات الأمان على مضخة الوقود.

كذلك لابد أن تتم تصفية صهاريج الوقود من محابس التصفية للتحقق من حالة الوقود في الصهريج مع المحافظة دائماً على المنسوب اللازم للتشغيل.

ملاحظة: قد يلزم تشغيل الشاحن الدوراني الاحتياطي قبل دوران المحرك إذا كان موجوداً.

كذلك يلزمنا الفحص على دورات التشغيل الآلية:

أولاً- دورة تبريد الاسطوانات: cylinder cooling

من الضروري أن تكون كافة محابس دخول المياه لتبريد الاسطوانات مفتوحة على آخرها، بحيث يتم ضبط درجات الحرارة بواسطة محابس الخارج.

ثانياً: دورة تبريد الكباسات: piston cooling

ينبغي أن نراقب معدل تدفق الماء الراجع من كل كباس مع مقارنته بباقي الكباسات كما يهمنا التحقق من عدم وجود أي تسرب لوسط التبريد من الوصلات خصوصاً داخل حوض المرفق، ومن اللازم أن نتحقق من معدل منسوب صهريج التبريد، فإذا كان الزيت مستخدماً في التبريد فمن المهم أن يتم تسخينه عن طريق البخار في دورة التنقية، ولابد أن يتم التحكم في حالة التبريد عن طريق محابس الخارج.

ثالثاً- دورة التزييت (التزليق):

يجب أن يتم تشغيل دورة التزييت قبل التشغيل بمدة كافية (من ساعة إلى 4 ساعات)، مع التحقق من نظافة المصافي والمرشحات وتدويرها يدوياً إذا لم تكن من الطراز ذاتي التنظيف، ويلزمنا تسخين الزيت إلى حوالي 35م لتسهيل فصل الشوائب عند تشغيل المنقيات

وتحقيق درجة لزوجة مناسبة لسريان الزيت إلى كافة نقطة التزييت وبحيث لا يصح أن ترتفع درجة حرارته عن 60م.

ويراعى أن تشغيل المنقيات أثناء دوران المحرك تعتبر ضرورة هامة بحيث تتم نظافته كل 4 ساعات إذا لم يكن من الطراز ذاتي التنظيف.

رابعاً- دورة الوقود: fuel cycle

من الضروري أن تكون جميع المحابس مفتوحة على خط الوقود بين المنقي وصهريج الخدمة اليومية وكذلك بين الصهريج والمحرك، وكذلك ينبغي التتميم والتأكيد على مصافي ومرشحات الوقود على الخط وتنظيفها إذا لزم الأمر.

خامساً- دورة هواء البدء وعكس الحركة :

ينبغي أن تكون إسطوانات الهواء ممتلئة إلى الضغط النهائي اللازم لبدء التشغيل ويراعى ضرورة تصفية الماء والرواسب الناتجة أثناء تشغيل ضاغط الهواء بفتح محابس التصفية من وقت لآخر، مع مراجعة وسائل الأمان والتحقق من حالتها.

ولابد من تزييت الأجزاء والوصلات المتحركة في دورة المناورة circulationكالأذرع والجلبsleeve والدورات (العجلات) إلخ.

ويستحسن تجربتها بعد غلق صمام الهواء للتأكد من أنها سهلة الحركة وليس هناك ما يعوقها.

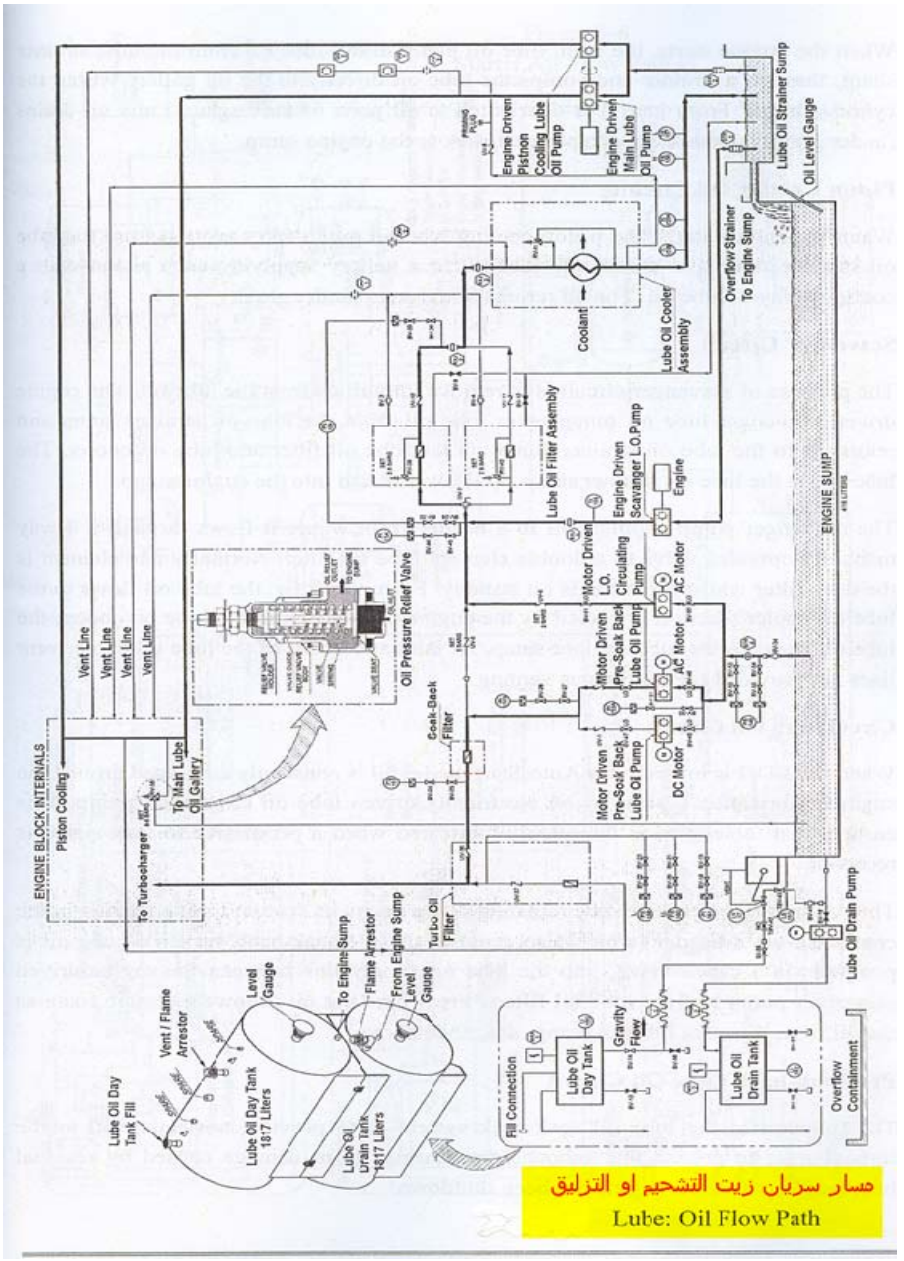
سادساً- تزييت الاسطوانات والكباسات بالحقن الجبري:

يجب تشغيل المزايت يدوياً والتحقق من أنها تحقن كميات متساوية مع عدم وجود أي تسرب في المواسير بينها وبين صمام حقن الزيت في الاسطوانة.

سابعاً- كرسي الدفع thrust bearingوحاكم السرعة:

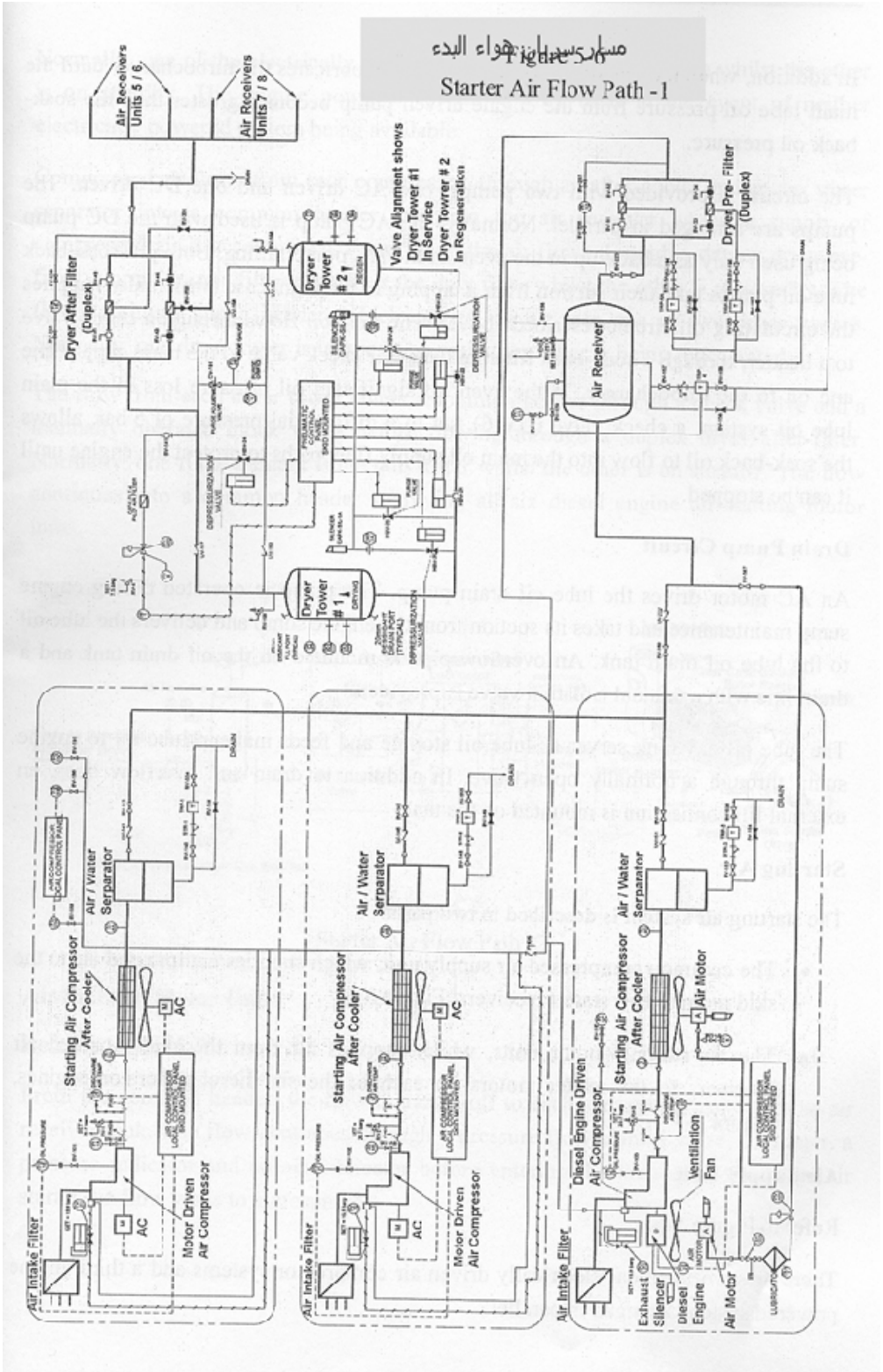
يلزمنا مراقبة حالة التزييت لكرسي الدفع وحاكم السرعة قبل إجراء أي محاولة لتشغيل المحرك، ويلاحظ أن عمود الدوران في محاملهbearing خلال نفق الرفاصpropeller يحتاج أيضاً إلى التزليق اللازم.

1

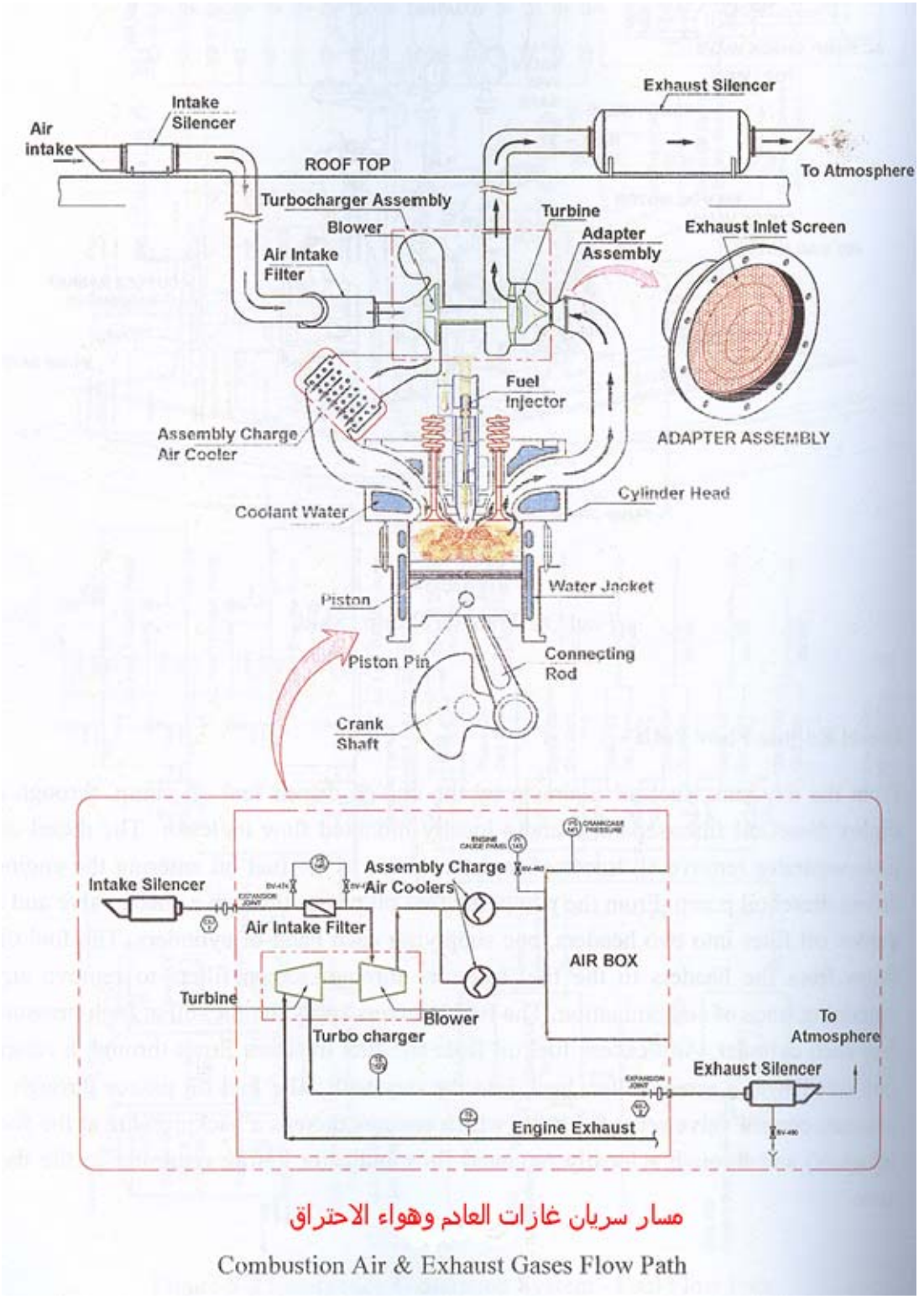

مسار سريان زيت التشحيم او التزليق
Lube: Oil Flow Path
ENGINE BLOCK INTERNALS
Piston Cooling
Vent Line
Vent Line
Vent Line
Vent Line
To Turbocharger
To Main Lube Oil Gallery
Oil Pressure Relief Valve
Soak-Back Filter
Turbo Oil Filter
Lube Oil Filter Assembly
Engine Driven Pistnon Cooling Lube Oil Pump
Engine Driven Main Lube Oil Pump
Coolant
Lube Oil Cooler Assembly
Lube Oil Strainer Sump
Oil Level Gauge
Overflow Strainer To Engine Sump
Engine Driven Scavanger L.O.Pump
Engine
ENGINE SUMP
Motor Driven L.O. Circulating Pump
AC Motor
Motor Driven Pre-Soak Back Lube Oil Pump
AC Motor
Motor Driven Pre-Soak Back Lube Oil Pump
DC Motor
Lube Oil Drain Pump
To Engine Sump
Flame Arrestor
From Engine Sump Level Gauge
Level Gauge
Vent / Flame Arrestor
Lube Oil Day Tank Fill
Lube Oil Day Tank 1817 Liters
Lube Oil Drain Tank 1817 Liters
Fill Connection
Lube Oil Day Tank
Gravity Flow
Lube Oil Drain Tank
Overflow Containment

2

3


مسار سريان هواء البدء
Figure (1)
Starter Air Flow Path -1
Air Receivers Units 5 / 6
Air Receivers Units 7 / 8
Dryer After Filter (Duplex)
Dryer Tower # 2
Dryer Tower # 1
Valve Alignment shows Dryer Tower #1 In Service Dryer Towrer # 2 In Regeneration
Air Receiver
Dryer Pre- Filter (Duplex)
Air / Water Serparator
Starting Air Compressor After Cooler
AC
Motor Driven Air Compressor
Air Intake Filter
Diesel Engine Driven Air Compressor
Air Motor
Ventilation Fan
Exhaust Silencer
Diesel Engine
Air Motor

1
2


Exhaust Silencer
Intake Silencer
Air intake
ROOF TOP
To Atmosphere
Turbocharger Assembly
Blower
Turbine
Adapter Assembly
Exhaust Inlet Screen
Air Intake Filter
Fuel Injector
Assembly Charge Air Cooler
ADAPTER ASSEMBLY
Cylinder Head
Coolant Water
Water Jacket
Piston
Piston Pin
Connecting Rod
Crank Shaft
Intake Silencer
Assembly Charge Air Coolers
Air Intake Filter
AIR BOX
Turbine
Blower
Turbo charger
To Atmosphere
Exhaust Silencer
Engine Exhaust
مسار سريان غازات العادم وهواء الاحتراق
Combustion Air & Exhaust Gases Flow Path

1
2

أسئلة وتمارين :

السؤال الأول :

- اشرح طرق البدء للتوربينة الغازية.

السؤال الثاني :

- ما هي الاحتياطات والاختيارات المطلوبة قبل بدء تشغيل التوربينة الغازية؟

السؤال الثالث:

- ارسم v-curv للتوربينة الغازية .

السؤال الرابع :

- لماذا تحدث الاهتزازات في التوربينات البخارية ؟وما هي عواقبها؟

السؤال الخامس:

- ما هي أهمية تزييت وتشحيم محامل التوربينة البخارية ؟

السؤال السادس:

- اذكر المكونات الأساسية للتوربينة مع الرسم؟

السؤال السابع :

- اشرح واذكر أنواع الصمامات الأساسية في التوربينات البخارية؟

السؤال الثامن:

- ما هي أنواع الحاكمات في التوربينات البخارية ؟مع الرسم واشرح لكل نوع.

السؤال التاسع:

- ما هي أهم الأعطال في التوربينة البخارية التي يمكن أن تحدث لها؟

السؤال العاشر:

- اذكر أنواع محركات الاحتراق الداخلي لمحطات الديزل.

السؤال الحادي عشر:

- اشرح آلية عمل المحركات ذات الأشواط الأربعة.

1

2

3

4

5

6

الوحدة الثالثة

المولـد الكهــربائي

الوحدة الثالثة

المولد الكهربائي Electrical generator

3- 1مقدمة:

تستخدم المولدات الكهربائية التزامنية في محطات التوليد لتحويل القدرة الميكانيكية إلى قدرة كهربائية . يوصل كل مولد كهربائي بتوربين (فلنأخذ التوربين البخاري مثلاً) عبر عمود لنقل الحركة ليدور بنفس السرعة . تكون هذه السرعة ثابتة ولا تتغير مع تغير الأحمال نتيجة لوجود نظام التحكم في السرعة الذي ذكرناه في الجزء السابق . يتناسب التردد تناسباً طردياً مع سرعة دوران المولد (أو التربين)ولذلك يتم تحديد السرعة مسبقاً وتثبيتها للحصول على تردد ثابت للطاقة الكهربائية الناتجة، كما أن لذلك علاقة بعدد أقطاب المولد ، والقانون التالي يوضح تلك العلاقة.

$$\omega_m = \frac{120}{p} f$$

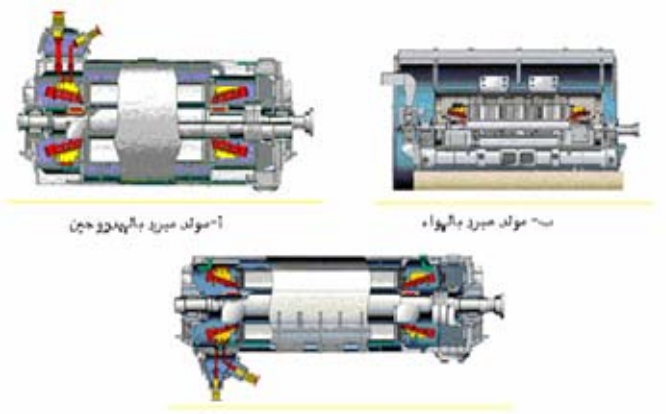
حيث ω_m (rpm) : سرعة دوران المولد بالدورة في الدقيقة:

P(poles): عدد أقطاب المولد التزامني.

f(HZ) : تردد التيار الكهربائي بالهرتز.

إذا كان التردد المطلوب 60HZ كما هو الحال عندنا في المملكة وعدد الأقطاب في المولد P=2 كما هو الحال في أغلب المحطات الحرارية فمن الضروري أن تكون سرعة المولدات في هذه المحطات3600 دورة في الدقيقة أما إذا كان عدد الأقطاب أربعة فالسرعة تكون النصف أي 1800 دورة في الدقيقة .

ترتفع حرارة المولد عند التشغيل إلى درجة كبيرة مما يستدعي استخدام نظام للتبريد ذي كفاءة عالية .يختلف نظام التبريد من مولد إلى آخر حسب حجم وقدرة المولد .تعتمد المولدات ذات القدرة المنخفضة والمتوسطة على نظام التبريد بالهواء فيما يستخدم الهيدروجين السائل في المولدات الكبيرة ذات القدرات العالية ،بعض هذه المولدات يستخدم نظام مزدوج للتبريد يعتمد على الهواء والهيدروجين في نفس الوقت .

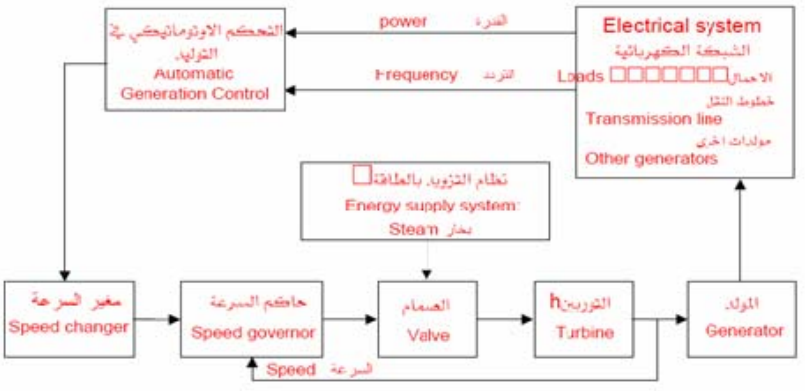


أ- مولد مبرد بالهيدروجين
ب- مولد مبرد بالهواء
ج- مولد مبرد بالهواء والهيدروجين

مختلف انواع نظم التبريد للمولدات الكهربائية

3- 1 نظام التحكم في التردد والقدرة للمولد التزامني :

يوضح الشكل أدناه نظام للتحكم الأوتوماتيكي في التردد في محطات البخار وذلك بالتحكم في سرعة التربين . يتم التحكم في هذه السرعة عن طريق ضغط البخار عبر الصمام المخصص لذلك .يتلقى هذا الصمام الإشارة بالفتح أو بالغلق حسب الحاجة من وحدة التحكم الأوتوماتيكي للمحطة . تحدد هذه الوحدة إشاراتها من خلال القياسات الآنية للتردد عند خرج المولد وما تم تحديده مسبقاً كمعطيات ثابتة للمحطة . كما يؤمن هذا النظام التحكم في القدرة الفعالة المتبادلة مع الشبكة بعد الربط.

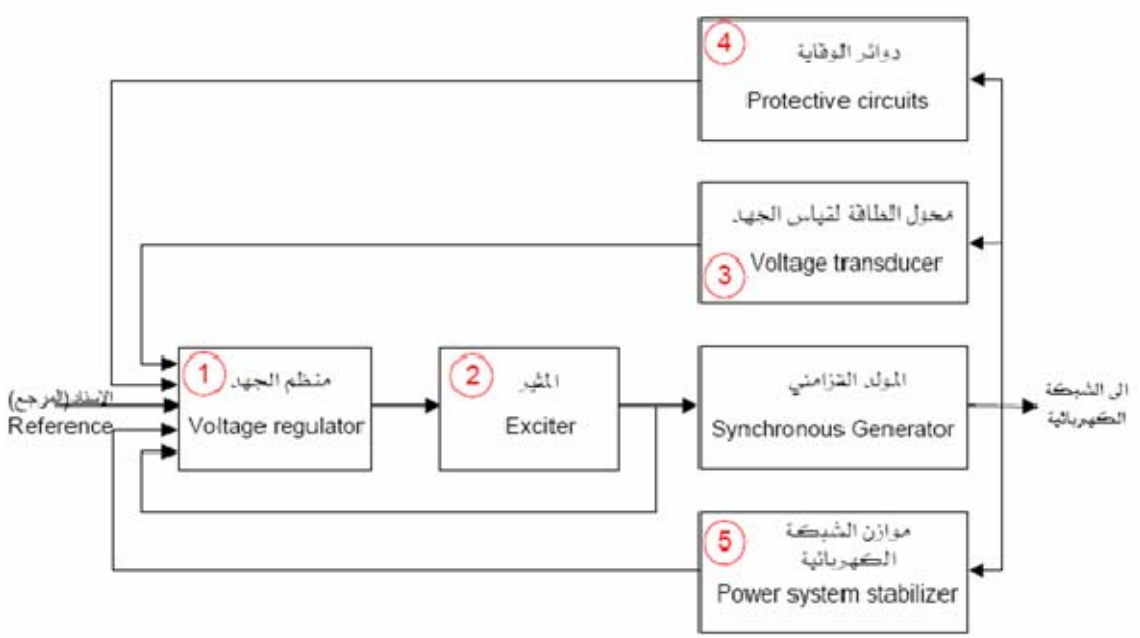


الرسم التخطيطي لنظام التحكم في التردد والقدرة في محطات التوليد الحرارية

3- 2 نظام التحكم في الجهد ومعامل القدرة للمولد التزامني :

يحتاج المولد إلى مصدر للتيار المستمر لتأمين المجال المغناطيسي وتحويل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية حسب نظرية لينز، ويسمى هذا النظام بنظام الإثارة أو المثير

EXCITER يؤمن هذا النظام عملية التحكم في قيمة الجهد الكهربائي عند خرج المولد وذلك بالتحكم في قيمة تيار المجال كما هو واضح في الشكل أدناه يمكننا تثبيت جهد المولد عبر هذا النظام عند المستوى المطلوب لربطة بالشبكة كما يمكننا المحافظة على معامل القدرة عند قيمة واحد بعد الربط .



الرسم التخطيطي لنظام التحكم في الاثارة للمولد التزامني

(1)**المثير EXCITER** : هو عبارة عن مصدر للتيار المستمر يغذي ملفات المجال للمولد التزامني ويسمى تيار المجال ، حيث يتحكم في كمية الفيض المغناطيسي الناتج وبالتالي في الجهد.

(2)**المنظم REGULATOR**: يقارن تيار المجال المطلوب مع تيار الإثارة الموجود ويضخم إشارة التحكم لإعطائها القدرة الكافية على التحكم في المثير

(3)**محول الطاقة TRANSDUCER**: يعمل على تخفيض الجهد عند خرج المولد وتحويله إلى جهد مستمر ليتسنى مقارنته مع المرجع الذي يمثل الجهد المطلوب إنتاجه وذلك عبر المنظم،

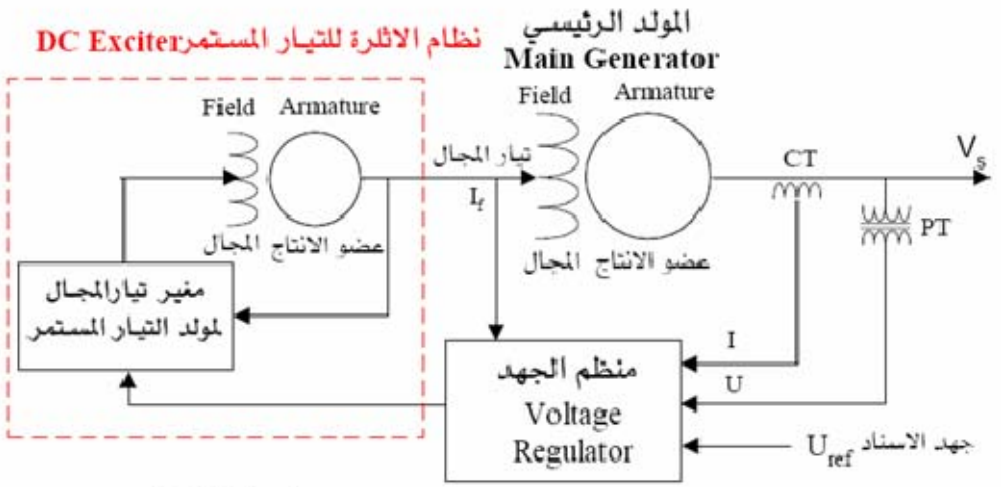
(4) موازن الشبكة **POWER SYSTEM STABILIZER**: يعطي إشارة تحكم إضافية للمنظم لمضاءلة الهزات الحاصلة في الشبكة عند الحالات العابرة وتثبيت الجهد عند قيمة معينة.

(5) دوائر الوقاية **PROTECTIVE CCT.** : دورها يتمثل في حماية المولد ودوائر الإثارة بحيث يراعى القدرة القصوى لكل منهما ولا يتجاوزها .

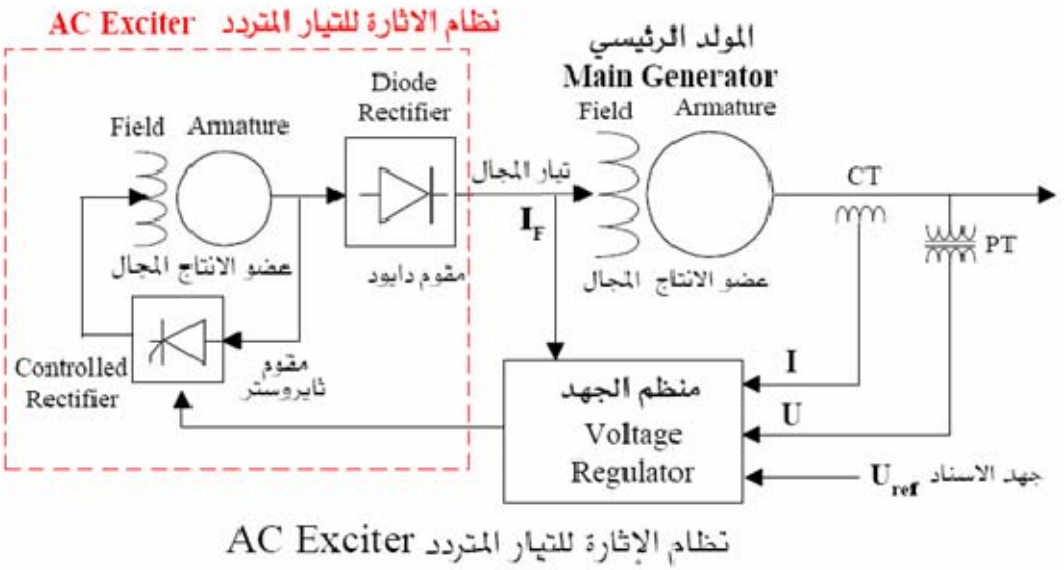
نظم الإثارة للمولدات التزامنية:

نظام الإثارة أو المستثير هو عبارة عن مصدر متغير للتيار المستمر يوفر للمولد تيار المجال ويمكن تصنيفه إلى ثلاثة أنواع :

- نظام الإثارة للتيار المستمر DC exciter كما في الشكل (ا)
- نظام الإثارة للتيار المتردد AC exciter كما في الشكل (ب)
- نظام الإثارة الساكن static exciter كما في الشكل (ج)

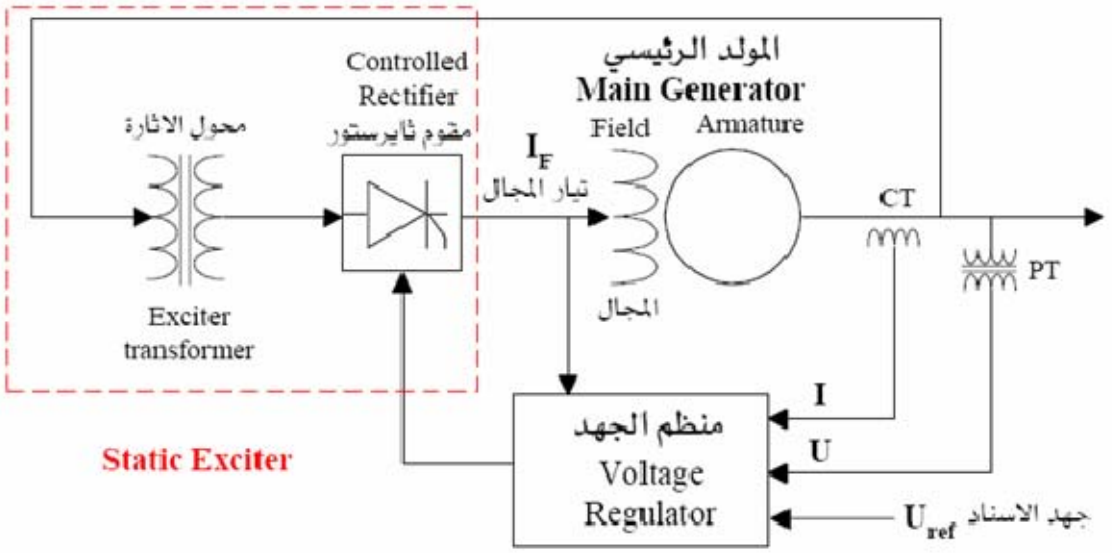


نظام الإثارة للتيار المستمر DC Exciter



نظام الإثارة للتيار المتردد AC Exciter

1



الشكل (ج) : نظام الإثارة الساكن Static Exciter

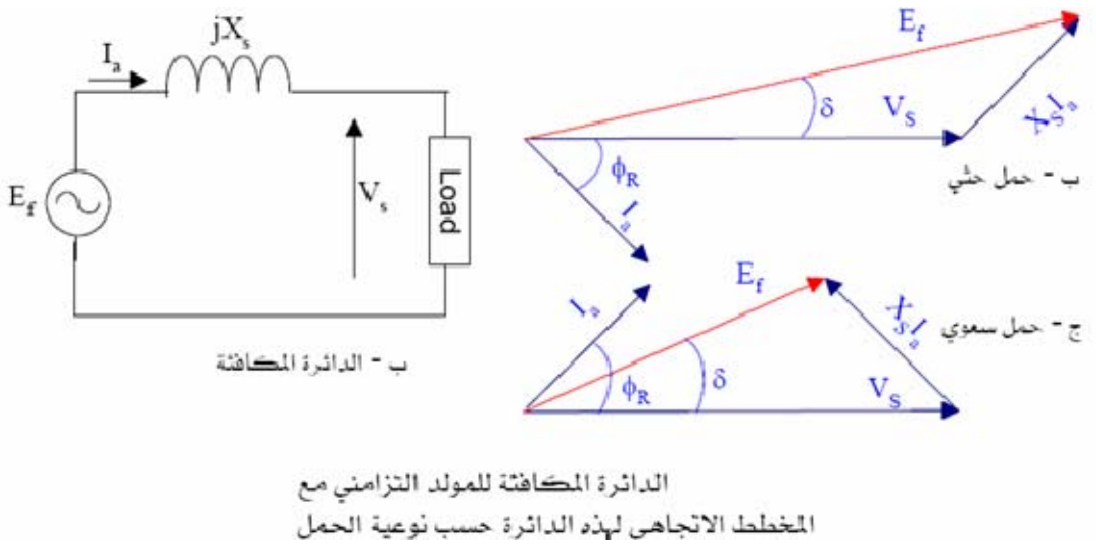
2

3

4

الدائرة المكافئة للمولد التزامني مع الحمل:

إذا اعتبرنا الأطوار الثلاثة في حالة توازن فيمكننا تمثيل المولد بدائرة كهربائية بسيطة كما هي مبين بالشكل التالي:



الدائرة المكافئة للمولد التزامني مع
المخطط الاتجاهي لهذه الدائرة حسب نوعية الحمل

ويمكننا عندها حساب جهد الطور عند خرج المولد *Vs* والقدرة الفعالة الناتجة Pout وكذلك القدرة المفاعلة Qout

3-3 تشغيل المولدات :-

أ- مولد أحادي (Single generator)

كما نعلم أن المولدات عادة تعمل على التوازي ، هناك الكثير من المولدات تعمل على نفس النظام الكهربائي في نفس الوقت . ومع ذلك سنبدأ بالنقاش على فالمولد واحد يغذي بلدة واحدة .

سنفرض بأنه لا **يوجد** طلب على الطاقة في المساء ولذا المولد في حالة إغلاق مساء - هذا فرضاً -

- في الصباح - تعمل الغلاية قبل طلب الحمل ويجب على المولد أن يعمل حتى يصل إلى السرعة المطلوبة والاستعداد للحمل .

أولاً: تعمل التوربينة عند وصول الآلة أو قريباً من سرعة التشغيل الاعتيادية فإن مفتاح الإثارة (Excitation) يغلق ، ويحدث عندها بأنه سوف يزود التيار المستمر (DC) إلى العضو الدوار (Rotor) وينتج عندها المجال المغناطيسي الدوار (Rotating magnetic field) عند السرعة العادية 3600 rpm يجب أن تكون قراءة تردد المولد 60 HZ في الثانية ويضبط عندها الجهد كمثال 15 K.V يمكن ضبط الجهد يدوياً بواسطة ضبط الإثارة (Excitation) وعندها يمكن أن نضع منظم الجهد (Voltage Regulator) على وضعية التحكم الأوتوماتيكي للجهد .

عند هذه **النقطة** يكون المولد مستعد لالتقاط الحمل ، القاطع الرئيسي طبعاً مغلق وسيغذي قضيب التوزيع أو الموزع (Bus bar) بالطاقة وجميع دوائر التوزيع المرتبطة به إلى البلدة .

عند زيادة طلب **الحمل** على الطاقة حسب متطلبات البلدة ستلاحظ زيادة الميجا وات (MW) وكذا التيارات (Amps) على لوحات البيان الخاصة بالمولد .

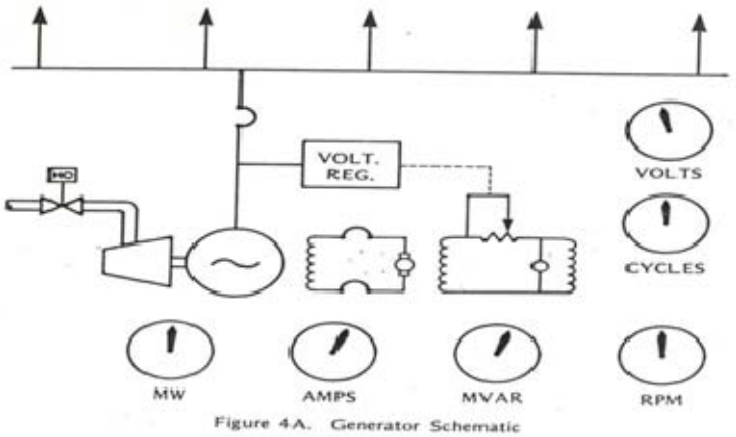


Figure 4A. Generator Schematic

بالرجوع إلى الرسم (4A) لمراجعة خطوات بداية التشغيل .

أولاً- تبدأ الغلاية بالعمل وتبدأ بتكوين أو تأسيس البخار المطلوب للتشغيل الحالة في العادية . وبعد عمليات التنظيف والاستعداد لمسار البخار .

نقوم بعدها بفتح صمام البخار(Steam Valve) الهوائي إلى التوربينة.

- تسخن التوربينة تصاعدياً حتى تصل إلى سرعة التشغيل العادية (3600 rpm) . المولد أيضاً هو يتحول إلى سرعه (3600 rpm) طبعاً يمكن التأكد من هذا باستخدام موضح أو مبين جهاز القياس الخاص بسرعة الدوران في الدقيقة (rpm) . بعدها نقوم بإثارة المولد وهذا سيعطي تيار مباشر للعضو الدوار (Rotor) . التيار القادم من المثير يتم التحكم به بواسطة المثير الإرشادي أو الموجة (Pilot exciter) وهو عبارة عن تحكم في المقاومة المتغيرة لدائرة المثير الموجة .

- نضبط نظام الإثارة للحصول على الجهد المناسب (15 K.V) ويتم معرفة وفحص هذه بقراءة جهاز الفولتميتر والتأكد أن التردد هو 60 ذبذبه ومعرفة هذا عن طريق قراءة جهاز تردد المولد.

- حالما يكون المولد جاهز لاستقبال الحمل تقفل قاطع الدائرة للمولد حتى يتم توصيل المولد لنظام التوزيع ومع ذلك لازال لا يوجد حمل على المولد (هذا المثال يفترض أنه لا يوجد حمل في نظام التوزيع).

- وأخيراً نضع منظم الجهد على الوضع الأوتوماتيكي . منظم الجهد يحس بالجهد الخارج من المولد ويتعرف بناءً على تلك الحساسية فإذا كان الجهد الخارج من المولد يختلف عن (15 K.V) فإن المنظم يقوم بالتكيف مع هذا ليغير وضع المقاومة المتغيرة حتى يعيد الجهد إلى وضعه الطبيعي.

إذا زاد طلب الحمل فإن التيار والقدرة (MW) سوف تزيد ولكن عدد من القراءات سوف يختلف ، كيف تختلف؟ ولماذا؟ سنناقشه بعد قليل .

هناك عدة معاملات وكميات تتغير عند زيادة الحمل . لو اعتبرنا زيادة طلب الحمل هو حمل مادي حيث هذا يعني عدم مشاركة أو تدخل MVAR .

في حالة زيادة الطلب فإن الاستجابات التالية سوف تظهر على الأجهزة الخاصة للمولد:

- زيادة MWs .
- زيادة Amps .
- نقصان الجهد volts ثم يعود إلى 15 K.V .

- نقصان السرعة speed ثم يعود تقريباً إلى السرعة العادية .
- نقصان التردد frequency ثم يعود تقريباً إلى وضعه العادي .

في زيادة الحمل فإن سرعة المولد سوف تبدأ بالنقصان نتيجة الحمل الكبير على المولد هذا النقصان في السرعة سوف يكتشف بواسطة حاكم التوربينة (Turbine governor) والذي بدوره سيقوم بفتح صمام التحكم للبخار وهذا يسمح بمرور بخار أكثر للتوربين وهذا يمكّن التوربينة من تحويل طاقة ميكانيكية أكبر إلى المولد وبالتالي ستزداد الطاقة الخارجة من المولد ، ومع أن السرعة لا تعود إلى القيمة المضبوطة عندها (Original setting) .

وهذا بسبب هبوط السرعة (Speed drop) وهو داخل ضمن خصائص حاكم مولد التوربينة

ولهذا فإن هبوط السرعة (Speed drop) يساعد على ثبات استقرارية التحكم في المولدات التوربينة(هبوط السرعة من الضروري الرجوع لها عند دراسة المولدات التوربينة بشكل أكبر) .

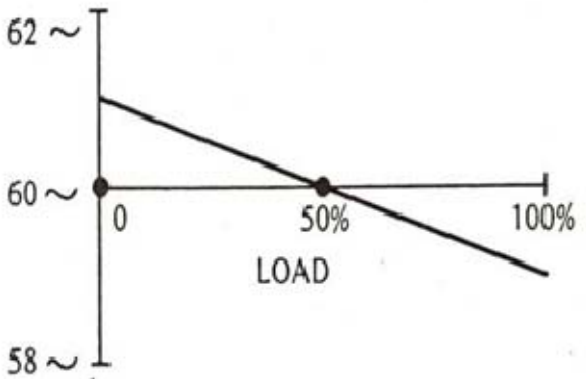


Figure 4B. Governor Characteristic

الشكل (4B) يوضح خصائص نموذج نمطي للحاكم (governor) إذا لم يكن هناك ضبط فإن سرعة المولد- التوربينة ستنقص بنسبة 4% أو 5% في حالة زيادة الحمل .

في حالة الحمل الأقصى على المولد فإن صمامات البخار تكون مفتوحة تماماً للسماح ببخار كافي للمرور خلال المعدّة لتغذية الحمل الأقصى . ولكن الحاكم يتحكم في السرعة عند 4% أو 5% أقل من السرعة الطبيعية أو العادية ، وهذا وضع غير مرغوب فيه . كثير من المعدات مثل الساعات سوف تبطئ سرعتها نتيجة ذلك ولا تعمل بكفاءة في تردد أقل من 60 ذبذبة/ثانية ، ولهذا ومن أجل الحفاظ على تردد ثابت فإن قيمة الضبط للحاكم (governor set point) تتغير بناء عليه لتعيد السرعة وبالتالي التردد إلى 60 ذبذبة/ثانية ، عملية ضبط هبوط السرعة يتم إما يدوياً بواسطة ضبط ترس السرعة للحاكم أو أوتوماتيكياً بواسطة محكم التردد الأوتوماتيكي (Automatic frequency control) .

ماذا لو حاولنا المشاركة في زيادة حمل البلدة بواسطة الدفع بأحمال أكبر على خط التغذية ؟

إذا حاولنا زيادة حمل المولد بواسطة السماح بمرور بخار أكبر للتوربينة ببساطة نحن نزيد من سرعة النظام . يزداد معه التردد ، هذه الزيادة في السرعة تكتشف بواسطة الحاكم(governor).

يقوم الحاكم بالغلق قليلاً وتدريجياً لصمام التحكم بالبخار بهدف تقليل كمية البخار إلى التوربينة . وعليه ستعود سرعة التوربينة إلى وضعها الطبيعي وفيه تعود إلى الحالة العادية .

افرض أنا الحمل في البلدة ازداد مرة أخرى ولكن هذه المرة الأحمال ليست مادية فقط ولكن حثيه كذلك يعني أن هناك مصنعاً أبدء بالعمل ويطلب تغذية بـ MVARs (MVARs طبعاً هامة جداً لتغذية المحركات بالتيارات المغنطة اللازمة لتشغيلها أن نتوقع زيادة في الأحمال المادية كما في السابق ولكن تتوقع زيادة أيضاً في MVARs . إذا زاد الطلب على MVARs فإنه يتطلب سحب تيار زيادة من المولد وبالتالي يبدأ الجهد بالنقصان . يحسن منظم الجهد هذا النقصان في الجهد ويقوم بزيادة نظام الإثارة للمولد . هذه الزيادة في نظام الإثارة بدورها تنتج أكثر MVARs لتغطية الطلب على MVARs ويعود بالمولد إلى وضعه الطبيعي . ولكن هذا في الحالة الطبيعية والعادية ، فإن المولد ينتج الكمية المطلوبة من الطاقة الفعالة والغير فعالة (MVARs) المطلوبة من المستهلكين بمعنى آخر الإنتاج يجب أن يساوي الطلب .

ولكن ماذا لو حاولنا زيادة القدرة الغير فعالة (MVARs) ودفعنا بها إلى الخط ؟ ماذا لو يدوياً زدنا الإثارة ، سيزداد الجهد ولكن منظم الجهد سيعيد الجهد إلى وضعه الطبيعي . ولكن لا نستطيع أن ندفع إلى الخط أكثر قدرة غير فعالة (MVARs) من التي سحبها المستهلكون . ومرة أخرى الإنتاج يساوي الطلب .

3- 4 **التزامن** (Synchronizing) :-

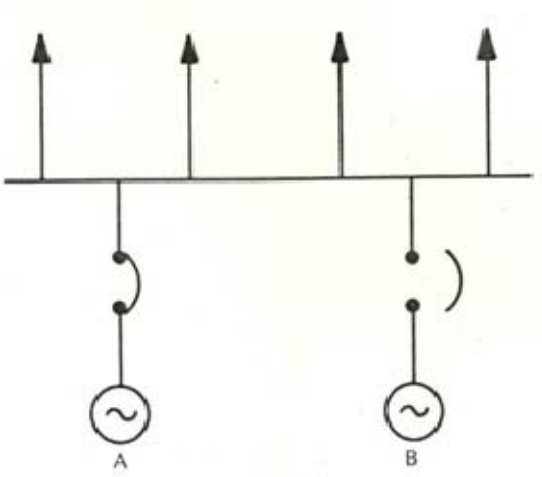


Figure 4C. Parallel Generators

الآن البلدة بدأت تنمو كثيراً ويتطلب مولد آخراً ، المولد الجديد B تم تركيبه وجاهز للتشغيل الشكل (4C)

المولد A في الخدمة يزود قضيب التوزيع أو الموزع بالطاقة ويجابه الطلب للمستهلكين ، بينما المولد B يدور بسرعة وفي مرحلة التجهيز للعمل بالتوازي مع الوحدة A . القاطع الكهربائي للمولد B مفتوح . قبل أن نغلق القاطع (هذا هو تزامن المولد B)

ثلاث حالات يجب توازيها :

- جهد الخرج للمولد B يضبط ليتساوى مع جهد الموزع أو قضيب التوزيع (Bus bar)
- سرعة أو تردد المولد B يساوي تردد الموزع أو قضيب التوزيع .
- المولد B والموزع يجب أن يكونا في نفس الطور أو التتابع ألطوري (In phase)

النقطة الثالثة السابقة هامة جداً ربما المولد B يدور بسرعة أو تردد مشابه لقضيب التوزيع ،ولكن خرج المولد خارج الطور . هذه الحالة في الشكل (4 D)

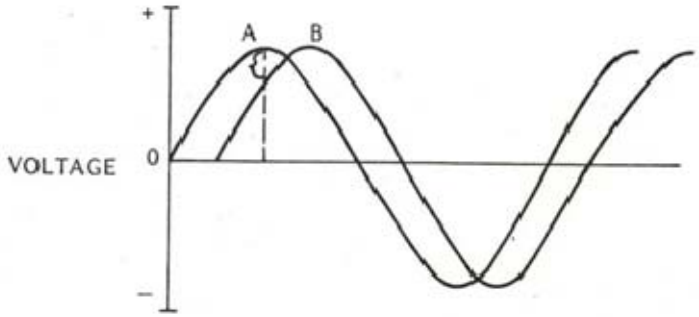


Figure 4D. Out-of-Phase Sine Wave

لاحظ أن الموجتين الجيبيتين A ,B لها نفس التردد ولكن ليس في طور أو تتابع واحد . في الواقع في أي وقت فإن هناك اختلاف في الجهد كبير جداً . إذا كان قاطع المولد B في هذا الوقت مغلق ، فإن هذا سيسبب خسارة ويؤذي المولدات بتيار دفعي (Surge) . إذا كان المولد خارج الطور فإن الخسارة أو الأذى لا يطال ملفات المولد فقط ولكن ملفات المحول و الأجهزة المرتبطة به .

الاختلاف في الجهد يظهر عبر أطراف القاطع الرئيسي للمولد B بينما القاطع مفتوح . بواسطة فحص الاختلاف في الجهد على أطراف القاطع نستطيع أن نرى على الآلات في نفس الطور أم لا .

إحدى الطرق القديمة لفحص المزامنة (Synchronism) هو وضع لمبة عبر الأطراف كما في الشكل (4 E)

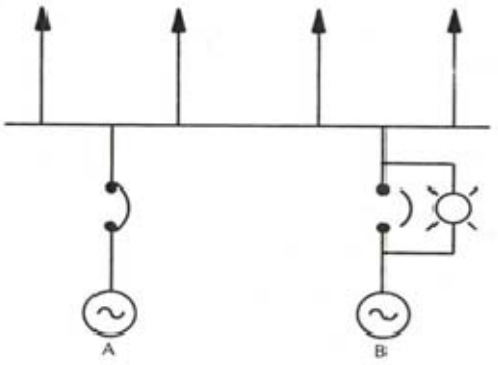


Figure 4E. Synchronizing Lamp

عند اشتداد الإضاءه في اللمبه يعني ان هناك فرق جهد كبير بين المولدين ووصل إلى أعلى قيمة لهما وهذا يوضح أن المولدين ليسا في نفس الطور وعندما تبدأ اللمبة بالخفوت أي تقل شدة الإضاءة فيها وهذا يوضح أنها بدأت في الاقتراب من التتابع الطوري بينهما حتى تخفت إضاءة اللمبة نهائياً ويصبح فرق الجهد صفراً وعندها تصبح الآلتان في تزامن وعندها نستطيع أن نغلق القاطع ، في الوقت الراهن هناك جهاز التزامن (Synchroscope) يستخدم بدل اللمبة وهو يقوم بفحص المزامنة بين المولدات .

وهذا الجهاز عبارة عن نوع خاص من المحركات وهو يقيس الفرق بين المجال الدوار للمولد الداخل للخدمة والمجال الدوار للموزع .

العضو الدوار في جهاز التزامن (Synchroscope) موصل بالمؤشر إذا كان هذا المؤشر ثابت بمعنى أن المولد هو نفس تردد الموزع وهذا لا يعني أن المولد في طور مع الموزع إلا إذا كان المؤشر على الوضع الساعة 12 .

كمثال / إذا كان مؤشر جهاز التزامن (Synchroscope) ثابتاً على وضعية الساعة 3 فهذا يعني أن المولد والموزع متطابقان في التردد ولكن بـ 90 درجة فرق طوري .

إذاً المؤشر يدور ببطء وهذا يعني أنا هناك فرق في التردد . إذاً المؤشر أكمل دورته فسيعبر نقطة الصفر(zero) في هذه اللحظة المولد والموزع في حالة تزامن .

الطريقة المتبعة لتزامن مولد يدخل للخدمة ، أولاً تضبط السرعة بواسطة تنظيم نقطة ضبط الحاكم (Set point) ولهذا يتحرك مؤشر جهاز التزامن ببطء عادة (اتجاه عقارب

الساعة) عندما يقترب المؤشر إلى وضعية الساعة 12 نقوم بغلق القاطع الرئيسي ، في الحالة النموذجية نبدأ بالغلق تقريباً الساعة 12 إلا خمس دقائق . حالما يتم التزامن بهذه الطريقة فإن المولد الداخل للخدمة يبقى مغلقاً في حالة تزامن مع المولد الآخر وتكون الترددات للمولدين في حالة تطابق .

في حالة التزامن هذه ، إذا كانت توربينة المولد B لا يوجد لها بخار كاف للحفاظ على السرعة ، فإن المولد سيسحب تيار من الموزع حتى يستمر في الدوران بسرعة تزامنية .

من الطبيعي أن يكون هنالك بخار إضافي لتوربينات المولدات الداخلة في مرحلة التزامن حتى تحافظ على سرعة المولد أكبر قليلاً من التردد المطلوب . للمولدات الأسرع قليلاً فإن جهاز التزامن سيتحرك باتجاه أسرع والآن حالما المولد في حالة تزامن فإنه يبدأ بالتقاط الأحمال وتبدأ السرعة تنخفض حتى تتطابق مع تردد الشبكة أو النظام

3- 5 تقاسم أو تشارك الحمل (load sharing) :-

حالما يتزامن المولد مع الموزع فإنه سوف يدور دائماً بنفس السرعة مع المولدات الأخرى في كافة النظام .

جميع المولدات في النظام تدور بسرعات كهربائية (electrical speed) متماثلة ولكن السرعات الفيزيائية ربما تختلف . المولدات ذات الأربع أقطاب سوف تدور عند 1800 rpm ولكن ثنائية الأقطاب تدور عند سرعة 3600 rpm إلا أنها كلها مغلقه (locked) مع بعضها وفي حالة تزامن إضافة أن التردد متطابق جميعاً .

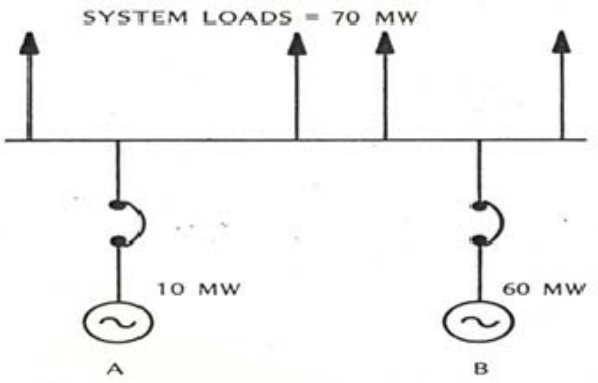


Figure 4F. Load Sharing

الشكل (4F) يوضح الرسم التخطيطي لمولدين A - B متزامنين ويغذيان حمل مقداره 70 MW ، المولد A يغذي الحمل بـ 10 MW بينما المولد B يغذي الحمل بـ 60 MW .

كلا المولدين يدوران بسرعة كهربائية متماثلة وبنفس التردد وكلا المولدين في نفس الطور لتوليد متماثل، العامل الذي سمح للمولد B بالتحميل أكثر ليس عامل السرعة ولكن زاوية الحمل(Load angle) .

لفهم مفهوم زاوية الحمل ، يجب علينا أولاً معرفة كيفية انتقال الطاقة الميكانيكية من التوربين إلى العضو الثابت (Stator) للمولد .

الطاقة الميكانيكية لدوران التوربينة تتحول أو تنتقل للعضو الدوار (Rotor) للمولد بواسطة عمود الدوران (Shaft) هذه الطاقة الميكانيكية تنتقل إلى العضو الثابت بواسطة المجال المغناطيسي الذي يتمدد ليعبر الثغرة الهوائية بين العضو الدوار والعضو الثابت . المجال المغناطيس هذا لا يولد ولا ينشئ طاقة ولكنه ناقل فقط . ينقل الطاقة الميكانيكية إلى العضو الثابت والتي تتحول هناك إلى طاقة كهربائية .

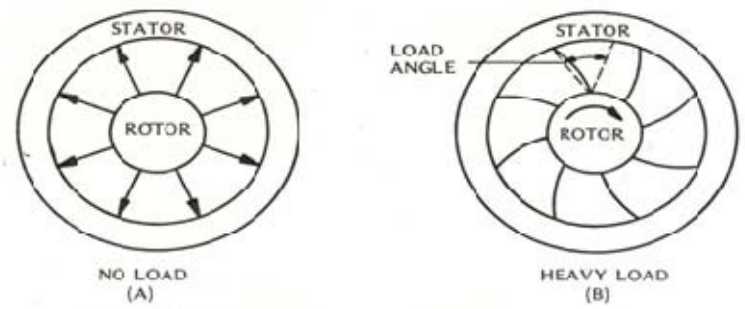


Figure 4G. Magnetic Flux

الشكل (4G) يمثل مجال مغناطيسي بين العضو الثابت والعضو الدوار عندما يكون المولد في حالة اللاحمل (Zero Load) .

إذا زاد البخار الداخل للتوربينة .فإن التوربينة تحاول أن تدور بسرعة . ونحو تحرك أمامي للعضو الدوار فإن خطوط القوى للمجال المغناطيسي سوف تتمدد كما في الشكل السابق

(4G (b)) عندما تتمدد خطوط القوى المغناطيسية فإنها سوف تنقل طاقة أكثر وبناءً عليه المولد ينتج طاقة كهربائية أكبر .

كلما كبرت الزاوية بين العضو الدوار والعضو الثابت فهذا يعني تمدد أكبر للفيض المغناطيسي وبالتالي المولد يزداد إنتاجه للطاقة الكهربائية . تذكَّر أن العضو الدوار لن يكون أسرع من أي عضو دوار في النظام الكهربائي هو فقط متقدم قليلاً في الزاوية هذه الزاوية تسمى زاوية الحمل (Load angle)، وهي زاوية الحمل التي تحسب أو تقيم أي اختلافات في الأحمال على المولدات التي تعمل في سرعة كهربائية متماثلة في النظام الكهربائي .إذا كانت الأحمال على المولدات مختلفة وبالتالي زاوية الحمل الخاص للمولد سوف تختلف كذلك .

دعونا نفحص ثلاثة مولدات تعمل بالتوازي وتزود نظام توزيع معين بالطاقة الكهربائية كما بالشكل (4H)

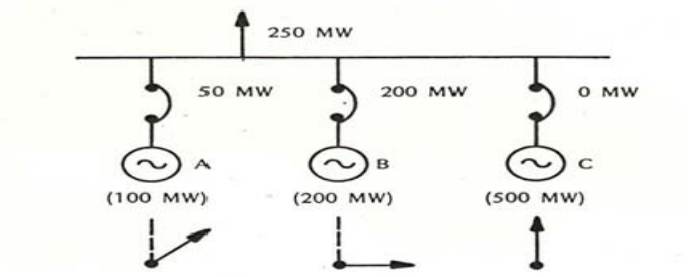


Figure 4H. Three Generators in Parallel

الطلب على الطاقة 250 MW .

المولد A المقنن له 100 MW . ويغذي 50 MW ،

المولد B المقنن له 200 MW . ويغذي 200 MW ،

المولد C المقنن له 500 MW . ولكنه لا يغذي أي حمل ولكنه متزامن معهم .

زاوية الحمل لأي مولد تعتمد على النسبة المئوية لمقنن الحمل (Rated Load) والتي يعمل عندها المولد .

مثلاً المولد A تقريباً نصف الحمل المقنن وزاوية الحمل له تقريباً 45 درجة ،

المولد B في أقصى حمل له وزاوية الحمل له تقريباً 90 درجة ،

المولد C متزامن عند حمل صفري ولهذا زاوية الحمل صفر .

نعلم أن هناك حدود معينه لتمدد المجال المغناطيسي والتي لا يستطيع أن يستمر بعدها وهذا يحصل عند الوضع 90 درجة .إذا زادت زاوية الحمل عن 90 درجة فإن المجال المغناطيسي في هذه الحالة يتغلب أو يعوق تسارع العضو الدوار ويصبح المولد عندها غير مستقر وليس في حالة اتزان (unstable). عدم الاستقرارية تلك تسبب إزعاج وربما فصل للمولدات الأخرى بسبب الحمل وموجات الجهد العابرة

(Transients).

في نظام مشترك يكون فيه مولدات كثيرة تعمل على التوازي جميع الأعضاء الدوارة(Rotor) تتسارع (acc.) وتقلل سرعتها (dece.) بدرجات قليلة بالنسبة لبعضها

البعض وهذا يسبب نقل عزم التزامن من وإلى الآخر وبالتالي يستمر النظام بتقاسم الحمل بهذه الطريقة .جميعها طبعاً تتحول على نفس السرعة متماثلة بواسطة عزم المجال المغناطيسي .

نفرض أننا نرغب أن المولد C في مثالنا حسب الشكل (4H) يلتقط حمل بواسطة ضبط نقطة الضبط للحاكم (governor set point) نستطيع أن نفتح صمام التحكم للتوربينة وهذا يؤدي إلى زيادة الطاقة في المولد . ولكن أين تذهب .؟

هذه الزيادة سوف يتم اكتشافها بواسطة المولدات الأخرى في الشبكة محكماتهم سوف تغلق صمامات البخار قليلاً وببطء لتقليل الطاقة الخارجة وهذا يؤدي ويحافظ على أن مجموع الطاقة المولدة تساوي مجموع الطلب على الطاقة .

إذا زودنا الحمل على المولد فأننا نتسبب بتقليل الحمل على المولدات الأخرى إلا إذا زودنا ورفعنا الإنتاج بالتطابق والتوافق مع زيادة الطلب من المستهلكين .

في تشغيل النظام أو الشبكة الكهربائية المتغيرات المرتبطة هي :-

- ضبط يدوي للحمل (Manual adjustment of load) .
- ضبط الحمل بواسطة التحكم في الحاكم (Governor control) .
- ضبط التحكم في التردد بواسطة نقط ضبط (Set point) حاكم التوربينة .
- تنوع واختلاف طلب المستهلكين على الطاقة .

جميع ما سبق تحدث في نفس الوقت و باختصار عندما تكون المولدات في حالة تزامن فجميعها تعمل عند تردد متشابه وسرعة كهربائية متشابهة.

عند زيادة الحمل يتطلب زيادة البخار المار إلى التوربينة وهذا يتسبب في زيادة تسارع العضو الدوار للمولد وبالتالي زيادة زاوية الحمل وبالتالي طاقة أكبر منقولة إلى ملفات العضو الثابت ومن ثم تزداد الطاقة الخارجة من الوحدة .

المولدات في الشبكة تحمّل بأحمال مختلفة ليس بسبب أن هناك اختلاف في السرعة بينهم ولكن بسبب الاختلاف في زيادة الحمل (Load angles)

3- 6 التحكم في الجهد :-

عند عمل المولدات على التوازي يجب أن تتشارك في إنتاج كلا الطاقتين الفعالة والغير فعالةMVARs وMWs .

فيما لو أردنا أن نقلل القدرة الغير فعالة MVARs على المولد إلى صفر، طبعاً سيزداد معامل القدرة إلى واحد وهذا سيزيد من كفاءة المولد.

ولكن الذي يحدث هو أننا رحلنا القدرة الغير فعالة إلى مولدات أخرى في الشبكة ، إذا زاد الطلب على MVARs فإن الجهد يقل وعندها ويجب أن تزيد تغذية الإثارة (excitation) بهدف تغذية MVARs وفي نفس الوقت نعيد الجهد إلى وضعة الطبيعي .

الحالة العكسية ربما تحدث في المساء . عندما تكون المولدات تعمل عند حمل خفيف جداً، وبسبب أن خطوط النقل والكابلات عالية الجهد لديها السعات كبيرة جداً (Capacitance) .

إذا كانت الشبكة أو النظام محمل بحمل خفيف فإن تأثير هذه السعات تكون واضحة ومميزة وبالتالي يقل الطلب للقدرة الغير فعالة الإيجابية (Positive MVARs)

وبالتالي ينشأ الطلب على الغير فعالة السلبية (Negative MVARs)

وهذا يسبب زيادة عالية في الجهد وتستطيع أن تلاحظ جهد المولد وجهد الموزع أو قضيب التوزيع يتزايد وكذلك معامل القدرة يقترب من الواحد.

نتيجة لهذا فإنه يجب تقليل إثارة المولد بواسطة منظم الجهد الأوتوماتيكي (AVR) وهذا يضعف المجال المغناطيسي .

تذكر أن المجال المغناطيسي مرن وممغنط ويبقى المولد في حالة تزامن إذا كان هذا الضعف في المجال المغناطيسي كبير فإن المولد يصبح في حالة اللاتزامن . وهذه حالة خطرة وربما يخل بعمل المولدات الأخرى العاملة نتيجة زيادة التموجات الفجائية (Surges) .

وربما في النهاية يتسبب أو يعيق وربما فصل النظام الكهربائي وتسمى هذه الحالة حالة عدم الاستقرار (instability) .

لمنع حدوث عدم اللاستقرارية يجب عليك أن تلاحظ قيمه الحد الأدنى للإثارة (lower limits) .

[معامل القدرة السلبي والقدرة الغير فعالة السلبية Negative P.F + Negative)] (MVAR والموضحة لك في خطوات التشغيل للمولد . خلال أوقات النهار الحالة العكسية ربما تحدث مع زيادة الحمل وزيادة الطلب على MVARs فإن الجهد يميل إلى جانب الانخفاض.

وهناك بعض الأمور والتعاريف الهامة والواجب معرفتها أثناء التشغيل :-

1- طرح الأحمال Load Shed :-

عند تعطل أحد المولدات أو زيادة الأحمال بصورة مفاجئة في الشبكة والتي لا يمكن تغطيتها بالاحتياطي الدوار ، يحدث اختلال في تردد الشبكة وعليه لابد من فصل بعض الأحمال ليعود التردد إلى وضعه الطبيعي ويعرف هذا الفصل بطرح الأحمال ويلاحظ أن عملية الفصل تتم لبعض الأحمال الغير حساسة في الشبكة كالمرافق العامة وبعض القرى والمشتركين العاديين ويتجنب فصل أحمال المستشفيات والمطارات والمرافق الحيوية الأخرى وتستمر عملية الفصل إلى أن يتم تأهيل الشبكة ومن ثم إعادة التيار الكهربائي للمشتركين المفصول عنهم ، وقد تحدث عملية الفصل هذه بطريقة آلية أو يدوية.

2- الاحتياطي الدوار (ASR) Actual Spining reserve :-

وهي قدرة التوليد والحمل الاحتياطي الموجود في ماكينة التوليد أثناء عملها ، حيث إن ماكينة التوليد يجب أن يتوافر فيها هذا الاحتياطي الدوار فمثلاً ماكينة تنتج (45 ميجاوات) والحمل الفعلي عليها(35 ميجاوات)

فالاحتياطي الدوار 10 ميجاوات ويستفاد من هذا الاحتياطي عند حدوث عطل في أحد المولدات وخروجه من الخدمة أو عند زيادة أحمال الشبكة بصورة مفاجئة ، فعندئذ يستفاد منه في سد هذه الأحمال وذلك بإدخاله في الخدمة على صورة توليد .

3- الخروج الكلي Black-out :-

هو انقطاع التيار الكهربائي عن مناطق كبيرة نسبياً كالمدن أو أجزاء كبيرة من المدن وللخروج لعدة أسباب أهمها :-

- حدوث خلل أو عطل في محطات التوليد الرئيسية أو أحد محطات التمويل الكبيرة .
- حصول انقطاع في عدة خطوط نقل ذات جهد عالٍ بسبب أحد الكوارث الطبيعية (رياح ، صواعق ، أمطار وسيول) .

4- أوامر الفصل والتوصيل Shut-down :-

عند الحاجة للصيانة الدورية وبعد نقل الأحمال إلى معدات أخرى ضمن المدى المسموح به في عملية التشغيل تسمى هذه العملية shut-down ولها آلياتها سوى العادي منها أوفي حالة الطوارئ ومنها اليدوي أو الآلي حسب ظروف الإطفاء .

أسئلة وتمارين

السؤال الأول:

- اشرح كيفية التحكم في التردد والقدرة للمولد التزامني .

السؤال الثاني:

- اشرح المقصود بأنظمة الإثارة للمولدات مع الشرح .

السؤال الثالث:

- كيف يمكن التحكم في جهد المولد؟

السؤال الرابع:

- ما هي شروط التزامن للمولدات التي تعمل بالتوازي؟

السؤال الخامس:

- اشرح المقصود بالاحتياط الدوار وكذلك خرج الأحمال.

1

الوحدة الرابعة

قراءة مخططات النظام (الرسومات البيانية)

الوحدة الرابعة

قراءة مخططات النظام (الرسومات البيانية)

4- 1 مقدمة

في حالات تعطل نظام المحطة، يعتبر المشغل مسؤولاً عن تحديد مصدر المشكلة واتخاذ الخطوات الضرورية من أجل استعادة النظام إلى وضع التشغيل العادي. وحيث تختلف أنظمة المحطة من محطة إلى أخرى، تشتمل غالبية المحطات على مخططات تمثل كل نظام من الناحية التخطيطية. وتعرف هذه المخططات باسم *مخططات النظام (الرسوم البيانية للنظام) أو مخططات تمديد الأنابيب وتوزيع الآلات (مخططات تمديد الأنابيب وتوزيع الآلات P&I)*. ومن خلال دراسة مخططات تمديد الأنابيب وتوزيع الآلات، يتمكن المشغلون من التعرف على الأنظمة وتحديد أي مشكلة تظهر في النظام بمنتهى الدقة والكفاءة. إن الهدف من هذا الجزء الأول هو تزويدك بالمفاهيم الأساسية لكيفية توضيح أنظمة المحطة على مخططات (الرسومات البيانية) النظام.

ويعرض هذا الجزء بعض الرموز الشائعة الخاصة بالمحابس (الصمامات)ومشغلي المحابس. وبنهاية هذا الجزء، يجب أن يكون بإمكانك التعرف على رموز المحابس ومشغلي المحابس على مخطط نظام المحطة.

4- 2 مخططات تمديد الأنابيب وتوزيع الآلات (P&I Diagrams)

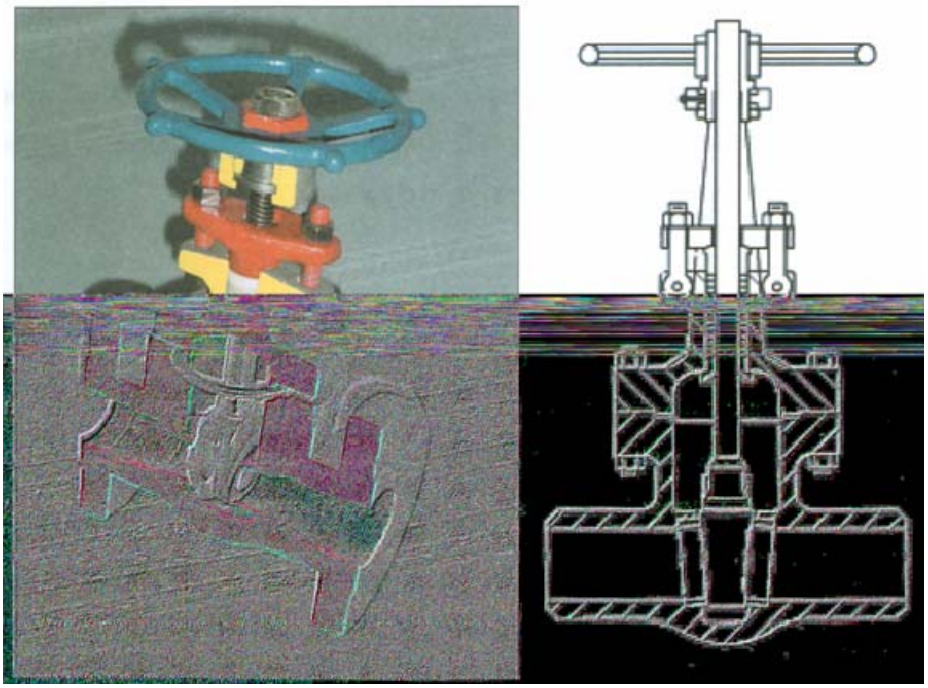
توضح مخططات تمديد الأنابيب وتوزيع الآلات مكونات النظام وكيفية توصيل هذه المكونات. ويتم توضيح كل من هذه المكونات على مخططات تمديد الأنابيب وتوزيع الآلات برمز ما. وبالرغم من إمكانية تنوع الرموز من مخطط لآخر، تستخدم العديد من المخططات رموزاً مشتركة (شائعة). ويركز هذا الجزء على الرموز الشائعة الخاصة بالمحابس ومشغلي المحابس.

4- 3 المحابس ورموز المحابس (الصمامات):

يعتبر المحبس جهازاً يستخدم في تشغيل أو إيقاف أو تنظيم تدفق السائل داخل النظام. وتحت ظروف التشغيل العادية، قد ينفتح المحبس أو ينغلق أو يختنق (أي ينفتح جزئياً) في نظام محدد. وعندما يكون المحبس في وضع الاختناق، ينحصر تدفق السائل من خلال المحبس

بشكل جزئي. ويعتمد وضع المحبس على النظام بذاته الذي يتواجد فيه المحبس وكذلك وظيفة المحبس في هذا النظام. وتوضح رموز المحابس نوع المحبس وموضع المحبس أثناء وضع التشغيل العادي للنظام. بالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام الأحرف بالقرب من رمز المحبس من أجل تحديد ما إذا كان المحبس مفتوحاً أو مغلقاً بشكل عادي. وتحدد الحروف NO أن المحبس مفتوح في الوضع العادي. وتحدد الحروف NC الموجودة بالقرب من رمز المحبس أن المحبس مغلق في الوضع العادي.

يوضح الشكل رقم (1- 1) محبس بوابة في وضعية الإغلاق. وتستخدم محابس البوابة إما في مواضع الفتح أو مواضع الإغلاق؛ وليس المقصود بتصميمها الحد الجزئي أو التحكم الجزئي لتدفق السائل. ويؤدي إغلاق محبس البوابة إلى إيقاف تدفق السائل وبذلك يعزل أجزاءً من النظام. وتوضح الرموز المبينة على الشكل رقم (1- 2) محبس بوابة مفتوح تحت ظروف التشغيل العادية (NO) وكذلك استخدام محبس البوابة في وضع الإغلاق تحت ظروف التشغيل العادية (NC).

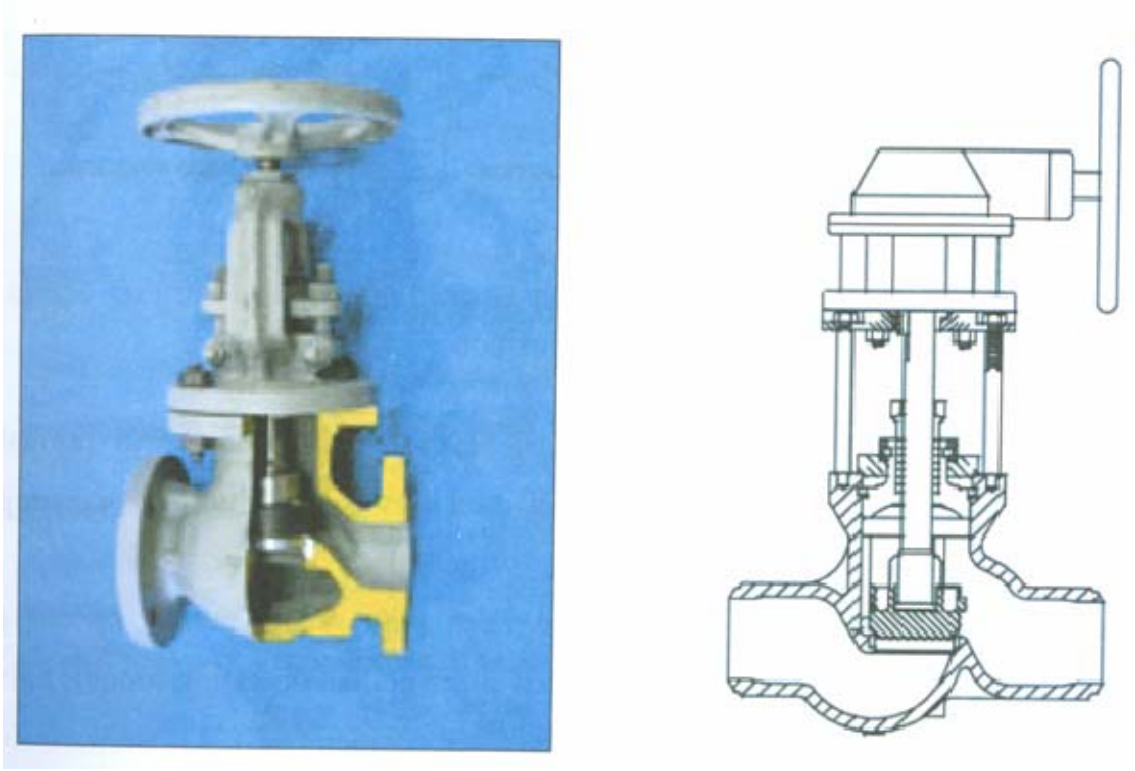


(الشكل رقم 1- 1)

محبس بوابة بغطاء مثبت

الشكل رقم (1- 2)

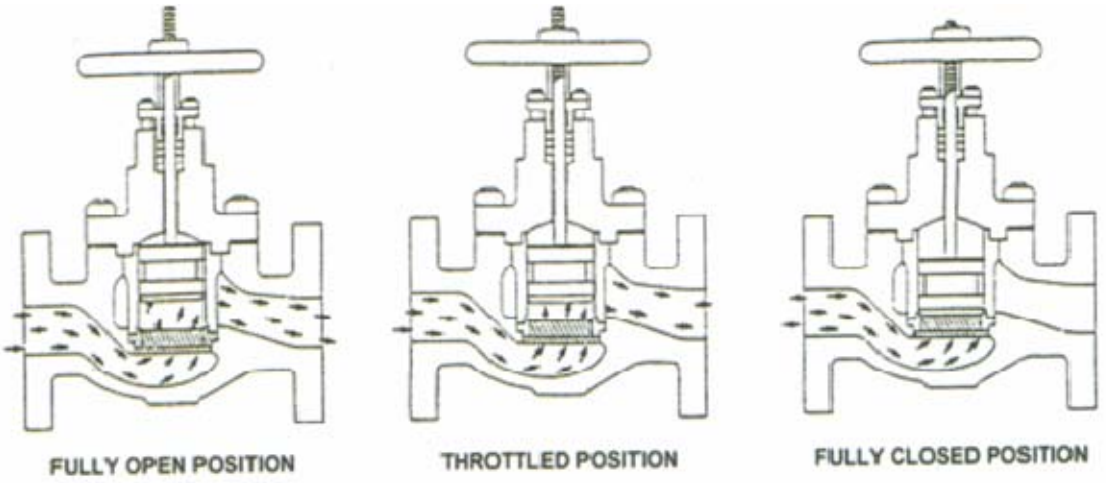
الرموز الخاصة بمحبس البوابة في وضع الفتح العادي NO وفي وضع الإغلاق العادي NC.



الشكل رقم (1- 3)

محبس كروي في وضعية الإغلاق

يوضح الشكل رقم (1- 3) المحبس الكروي في وضعية الإغلاق. ويمكن استخدام المحبس الكروي في الفصل – أي لبدء أو إيقاف تدفق السائل. بالإضافة على ذلك، يتم في الغالب خنق المحابس الكروية من أجل التقييد الجزئي لتدفق السائل. الشكل رقم (1- 4).



الشكل رقم (1- 4)

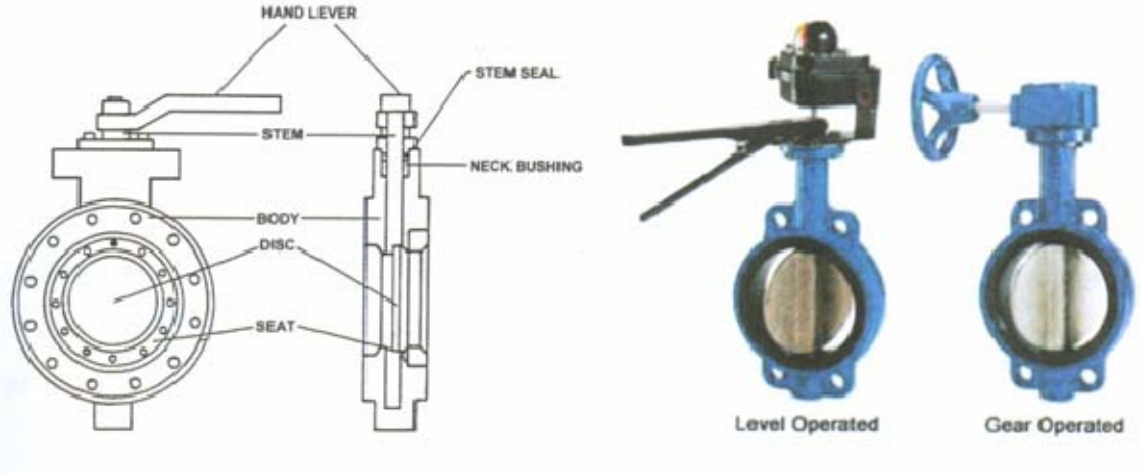
محبس كروي في وضع الفتح الكامل، وفي الوضع المفتوح جزئياً أو المختنق (مسدود) جزئياً وفي وضع الإغلاق الكامل.

وتوضح الرموز المبينة على الشكل رقم (1- 4) محبس كروي في وضع الفتح تحت ظروف التشغيل العادية NO، وكذلك في حالة استخدام المحبس الكروي في وضع الإغلاق تحت ظروف التشغيل العادية NC.

وتم توضيح الرمز الشائع للمحبس الكروي في وضع الفتح NO تحت ظروف التشغيل العادية في الشكل رقم (1- 5)، وتم توضيح وضع المحبس في حالة خنقه تحت ظروف التشغيل العادية في الشكل رقم (1- 6). وفي حالة استخدام المحبس الكروي في وضع الإغلاق NC، تم توضيح ذلك على مخطط تمديد الأنابيب وتوزيع الآلات كما في الشكل رقم (1- 7).

الشكل رقم (1- 5) الشكل رقم (1- 6) الشكل رقم (1- 7)

ويوضح الشكل رقم (1- 8) محبس خانق. وقد حصلت المحابس الخانقة على هذا الاسم من الجناح مثل حركة قرص التحكم في التدفق الذي يقوم بالفتح والإغلاق عند الزاوية اليمنى من أجل السماح بالتدفق. وهي تستخدم في وضع الفتح الكامل وفي وضع الإغلاق الكامل من أجل عزل جزء من النظام. وتستخدم أيضاً هذه المحابس في وضع متوسط من أجل خنق تدفق السائل. وهي تستخدم في الغالب في المواسير ذات الأقطار الكبيرة مع معدلات تدفق متوسطة إلى كبيرة مع ضغط منخفض في نظام تمديد المواسير.



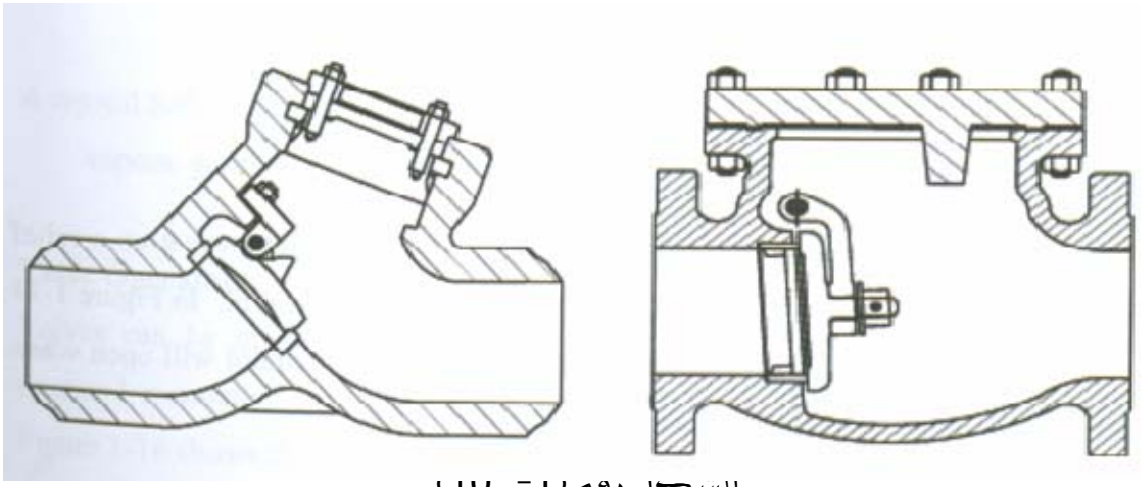
الشكل رقم (1- 8)

محابس خانقة في وضعيات الإغلاق والخنق.

الشكل رقم (1- 9)

رمز محبس خانق بحسب المبين على مخطط تمديد الأنابيب وتوصيل المعدات

ويسمح المحبس الغير مرجع بتدفق السائل في اتجاه واحد. ويوضح الشكل رقم (1-10) محابس غير مرجعة نموذجية. وتمثل النقطة الموجودة على الرمز موضع مفصلة قرص المحبس. ويحدد اتجاه هذه المفصلة اتجاه تدفق السائل خلال المحبس. وفي هذه الحالة، يتدفق السائل من اليسار إلى اليمين فقط.



الشكل رقم (1- 10)

محبس غير مرجع لسد الضغط

محبس غير مرجع متأرجح

الشكل رقم (1- 11)

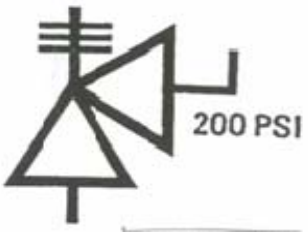
رمز المحبس الغير مرجع. تدفق عادي للسائل من اليسار إلى اليمين.

ويوضح الشكل رقم (1- 12) مجموعة من محابس التخفيف (التنفيس) ومحابس السلامة. وتستخدم محابس التخفيف ومحابس السلامة في الوضع المغلق غالباً. ويشتمل كل محبس على نقطة تصلب (نقطة تحديد). وعندما يتعدى الضغط في النظام نقطة التحديد الموجودة في المحبس، يقوم المحبس بالفتح لتخفيف النظام من الضغط الزائد.

الشكل رقم (1- 12)

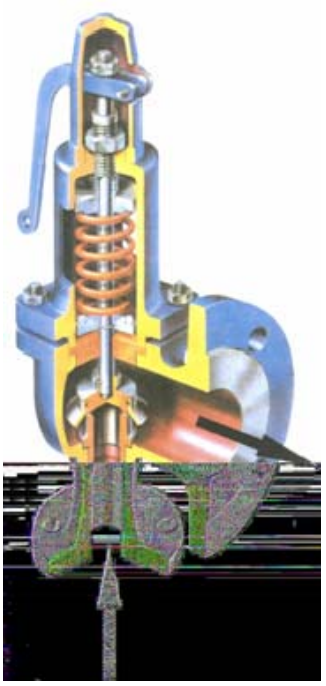
محابس تخفيف ومحابس سلامة نموذجية.

ويوضح الشكل رقم (1- 13) الرمز الشائع المستخدم إما في محبس السلامة أو في محبس التخفيف. ويتم تحديد نقطة التصلب (نقطة التحديد) في الغالب بجانب المحبس. ونجد في الشكل رقم (1- 13) أن نقطة التحديد هي 200 باوند/بوصة مربعة. وينفتح المحبس الممثل بهذا الرمز عندما يتعدى ضغط النظام 200 باوند/البوصة المربعة.



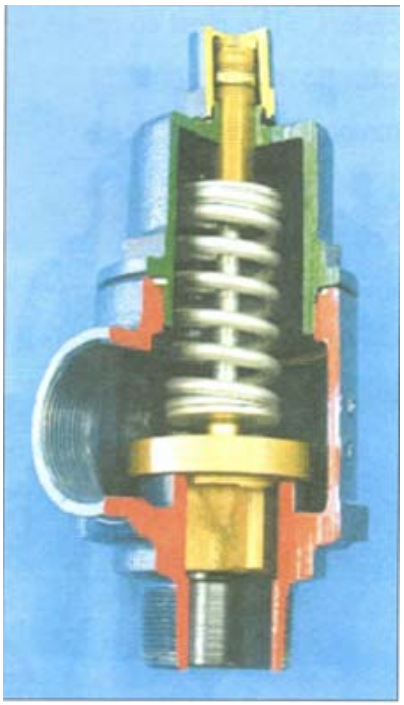
الشكل رقم (1- 13)

رمز محبس السلامة أو محبس التخفيف.



الشكل رقم (1- 14)

محبس سلامة يستخدم من أجل البخار والغازات والبخار والسوائل المضغوطة



الشكل رقم (1- 15)

محبس سلامة نموذجي يستخدم للسوائل

4- 4 مشغلي المحابس (الصمامات):

يمكن تشغيل المحبس يدوياً أو أوتوماتيكياً أو عن بعد. وعند تشغيل المحبس يدوياً، يتم توضيح رمز المحبس فقط على مخطط النظام. ويوضح الشكل رقم (1- 16) الرمز الخاص بمحبس بوابة في وضع الفتح العادي يعمل يدوياً.

الشكل رقم (1- 16)

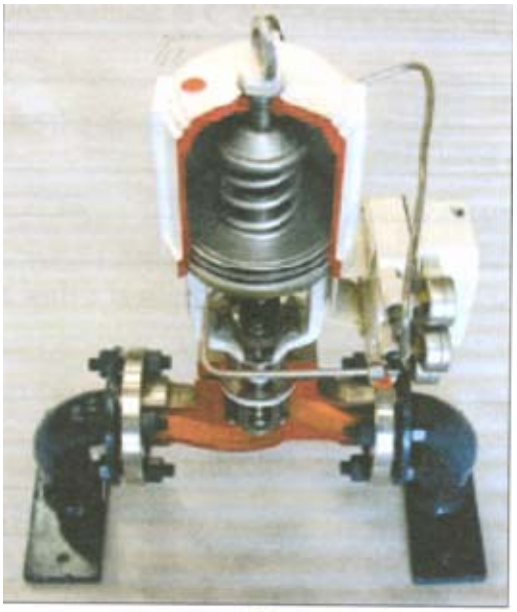
رمز محبس بوابة في وضع لفتح العادي يعمل يدويا.

وتستخدم الرموز في توضيح الأنواع المتعددة من مشغلي المحابس الأوتوماتيكية والتشغيل عن بعد. وأكثر أنواع مشغلي المحابس الأوتوماتيكية والتشغيل عن بعد شيوعاً هي المحركات والأغشية الهوائية والاسطوانات الهيدروليكية والملفات اللولبية. ويوضح الشكل رقم (1- 17) الرموز الشائعة لهذه الأنواع من أجهزة التشغيل (المشغلين).

وعند تشغيل المحبس أوتوماتيكياً أو عن بعد، يتم إلحاق الرمز الخاص بمشغل المحبس إلى رمز المحبس. ومثال على ذلك، كما في الشكل رقم (1- 18)، تم إلحاق الرمز الخاص بمشغل الغشاء الهوائي إلى الرمز الخاص بمحبس كروي مفتوح بشكل عادي.

الشكل رقم (1- 17)

الرموز الخاصة بأجهزة التشغيل الأوتوماتيكية وأجهزة التشغيل عن بعد



الشكل رقم (1- 18)

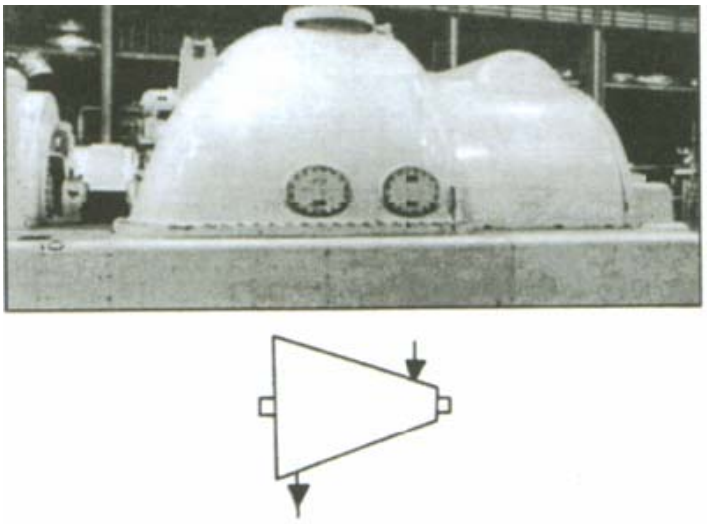
غشاء هوائي خاص بتشغيل محبس كروي في وضع الفتح العادي والرمز الخاص به.

4- 5 الرموز الخاصة بالمكونات الرئيسية ومكونات تمديد الأنابيب:

في هذا الجزء، سوف تتعلم بعضاً من الرموز الشائعة المستخدمة في مخططات النظام والخاصة بالمكونات الرئيسية ومكونات تمديد الأنابيب. بالإضافة إلى ذلك، سوف تتعلم كيفية استخدام هذه الرموز من أجل توضيح أجزاء النظام.

التوربينات :

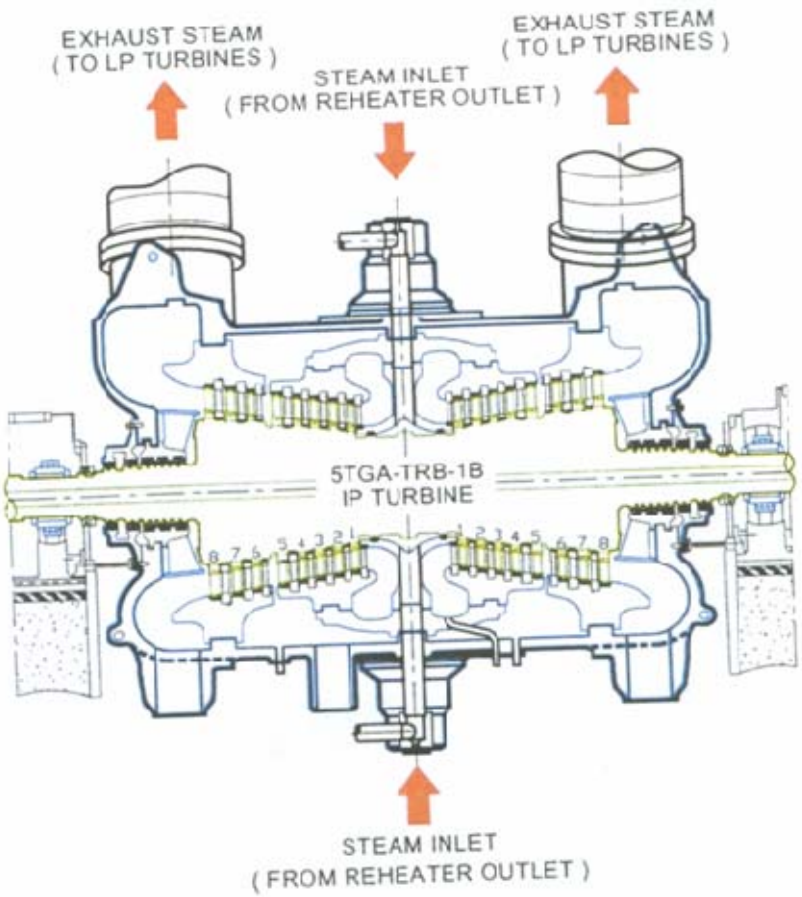
يعد التوربين واحداً من المكونات الأساسية للمحطة. ويوجد في الأساس نوعين من التوربينات المستخدمة في المحطات: وهي توربينات تدفق فردية وتوربينات تدفق مزدوجة. ويوضح الشكل رقم (1- 19) توربين تدفق فردي والرمز الشائع المستخدم في توضيح التوربين. وتحدد الأسهم الموجودة على الرمز من أين يدخل البخار ويغادر التوربين.

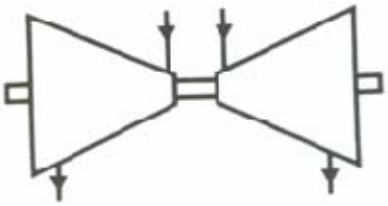


الشكل رقم (1- 19)

توربين تدفق فردي والرمز الخاص به.

ويوضح الشكل رقم (1- 20) تربين تدفق مزدوج والرمز الشائع الخاص به. ويعد توربين التدفق المزدوج أحد أنواع التوربينات التي يدخل البخار إلى مركز غطائها (غلافها) وبعد ذلك يتدفق نصف حجم البخار في كل من الاتجاهين. وتحدد الأسهم المبينة على الرمز من أين يدخل البخار ومن أين يغادر.





الشكل رقم (1- 20)

توربين مزدوج التدفق والرمز الخاص به.

المضخات:

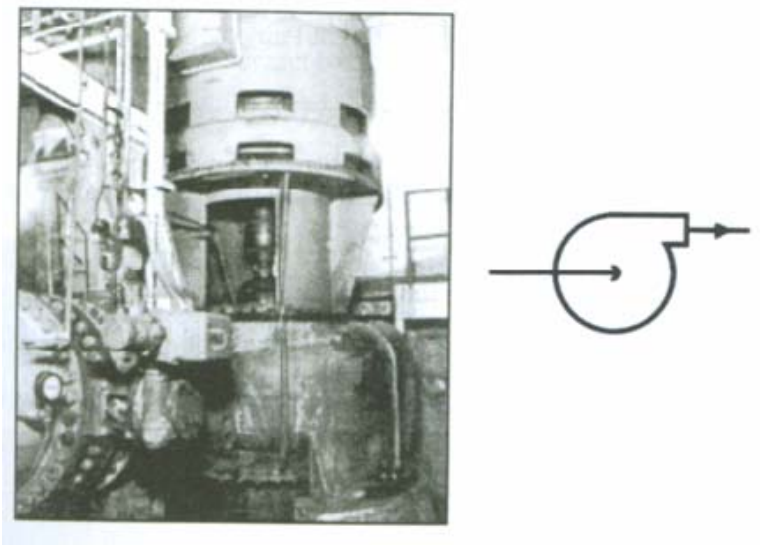
تعتبر المضخات من المكونات الرئيسية في أي أنظمة محطة. ويوجد في الأساس نوعين من المضخات المستخدمة في غالبية المحطات:

1- مضخات نابذة (طرد مركزي)

2- مضخات إزاحة موجبة

يوضح الشكل رقم (1- 21) مضخة نابذة نموذجية والرمز الشائع للمضخة النابذة (الطرد المركزي). وتحدد الأسهم المبينة على الرمز تدفق السائل خلال المضخة.

يوضح الشكل رقم (1- 22) رمز مضخة الإزاحة الموجبة النموذجية. ويستخدم هذا الرمز في الغالب في تمثيل مضخات الإزاحة الموجبة الترددية (التبادلية). ويحدد السهم اتجاه تدفق السائل.



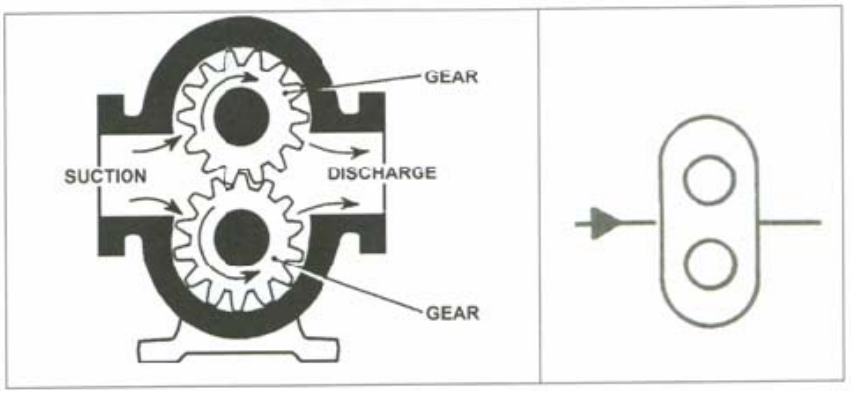
الشكل رقم (1- 21)

مضخة نابذة (طرد مركزي) والرمز الخاص بها.

الشكل رقم (1- 22)

مضخة إزاحة موجبة نموذجية والرمز الخاص بها.

يوضح الشكل رقم (1- 23) نوعاً آخر من مضخات الإزاحة الموجبة – النوع الدوار – وكذلك الرمز الشائع المستخدم في مثل هذا النوع من المضخات.

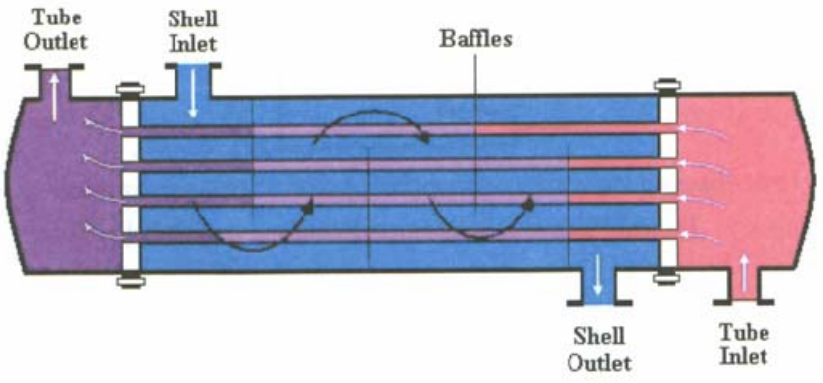


الشكل رقم (1- 23)

مضخة إزاحة موجبة نموذجية والرمز الخاص بها.

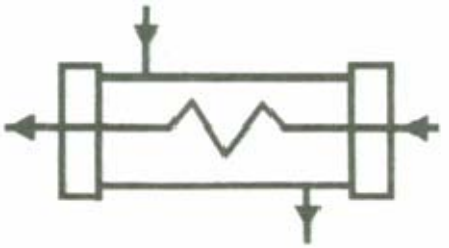
المبادلات الحرارية وخزانات التخزين:

تستخدم المبادلات الحرارية في أنظمة المحطة من أجل تسخين أو تبريد أو تكثيف أو تبخير السوائل. يوضح الشكل رقم (1- 24) أنبوب مستقيم نموذجي وغلاف ومبادل حراري أنبوبي. وأثناء التشغيل، يتدفق سائل واحد من خلال الأنابيب بينما يمر السائل الآخر من خلال غلاف المبادل الحراري. ويوضح الشكل رقم (1- 25) الرمز الخاص بغلاف ومبادل حراري أنبوبي نموذجي. وتحدد الأسهم المبينة على الرمز اتجاه تدفق السائل في هذا الجانب من الأنبوب. ويتدفق سائل آخر حول الأنابيب من الخارج. وتحدد الأسهم كذلك اتجاه السائل في هذا الجانب من الأنبوب. ويمثل الرمز الموضح في الغالب مبادل حراري أحادي الاتجاه.



الشكل رقم (1- 24)

أنبوب مستقيم أحادي الاتجاه والغلاف والمبادل الحراري الأنبوبي.



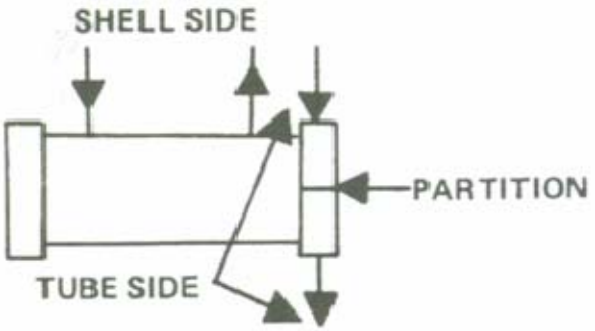
الشكل رقم (1- 25)

الرمز الخاص بالغلاف والمبادل الحراري الأنبوبي النموذجي.

يوضح الشكل رقم (1- 26) نوعاً آخر من الغلاف والمبادل الحراري الأنبوبي، وهو النوع ثنائي الاتجاه حيث يتلاقى السائل الموجود في الأنابيب مرتين مع سائل الغلاف. لاحظ الأسهم المبينة على الرمز الخاص بهذا النوع كما في الشكل رقم (1- 27). وبالنسبة للجانب الأنبوبي على شكل حرف يو U، يدخل السائل ويغادر من نفس صندوق الماء ويوجد تقسيم (حاجز) في هذا الصندوق المائي.

الشكل رقم (1- 26)

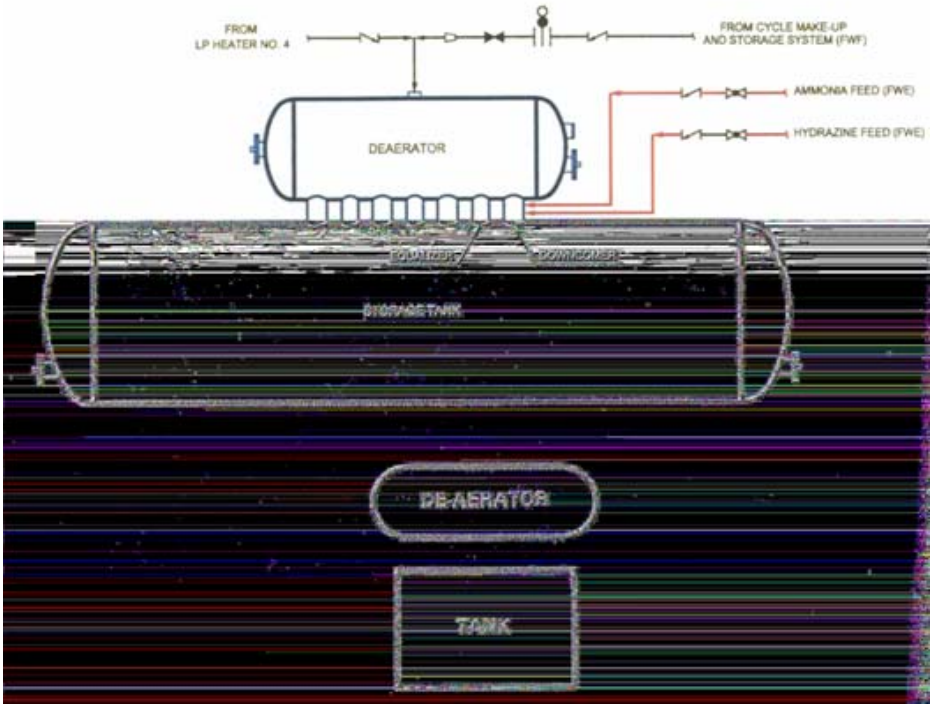
أنابيب على شكل حرف يو U ذات اتجاهين والغلاف والمبادل الحراري الأنبوبي.



الشكل رقم (1- 27)

مبادل حراري نموذجي ذو اتجاهين، والغلاف والمبادل الحراري الأنبوبي.

يوضح الشكل رقم (1- 28) نوعاً آخر من المبادلات الحرارية – مبادل حراري مباشر الاتصال وخزان للتخزين. وفي هذه الحالة، يتم غالباً تصنيف الرمز الخاص بالمبادلات الحرارية ذات الاتصال المباشر ونازع الهواء (مزيل الهواء) وخزانات التخزين من أجل التعرف عليها بسهولة.

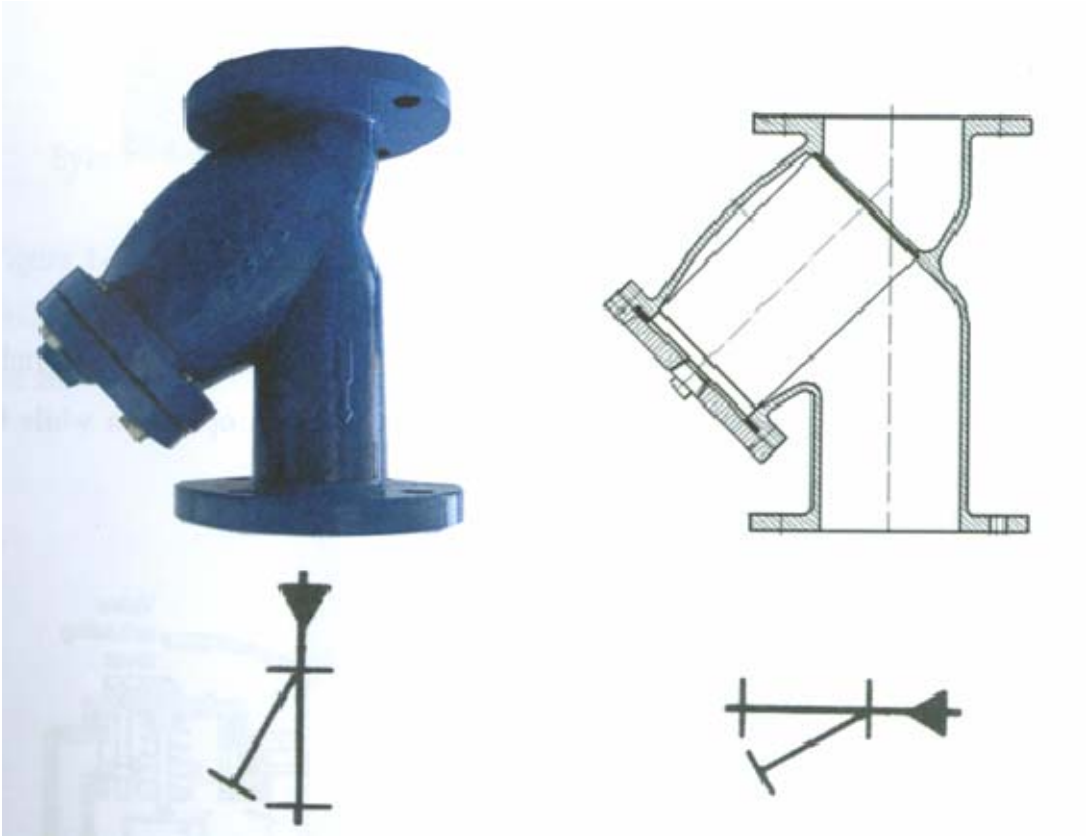


الشكل رقم (1- 28)

مبادل حراري مباشر التوصيل نموذجي و خزان التخزين والرموز الخاصة بهما.

ملحقات تمديد الأنابيب:

تحتوي العديد من أنظمة المحطات على مكونات تمديد أو ملحقات التمديد. وتم تمثيل كل نوع من مكونات التمديد على مخطط النظام برمز محدد. على سبيل المثال، يوضح الشكل رقم (1- 29) مصفاة من النوع واي Y وتفاصيلها الداخلية والرمز الشائع لهذه المصفاة. وتستخدم المصفاة من نوع واي Y في ترشيح (فلترة) مقادير صغيرة من الشوائب الصلبة من السائل في نظام تمديد الأنابيب. وتحدد الأسهم المبينة على الرمز اتجاه تدفق السائل خلال المصفاة.



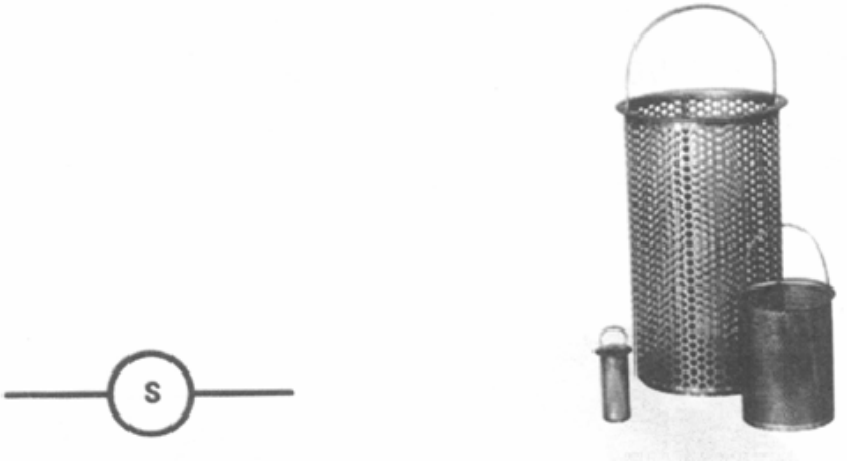
الشكل رقم (1- 29)

مصفاة من نوع واي Y نموذجية والرمز الخاص بها

تتعرض بعض أنظمة المحطة إلى كميات كبيرة من الشوائب الصلبة. وفي مثل هذه الأنظمة لا تعد المصافي من نوع واي Y كافية لترشيح الشوائب من السائل، ولذلك تستخدم مصافي سلال في الغالب. ويوجد نوعان من مصافي السلال شائعة الاستخدام في أنظمة المحطات:

1- مصافي سلال فردية
2- مصافي سلال مزدوجة (ذات سلتين).

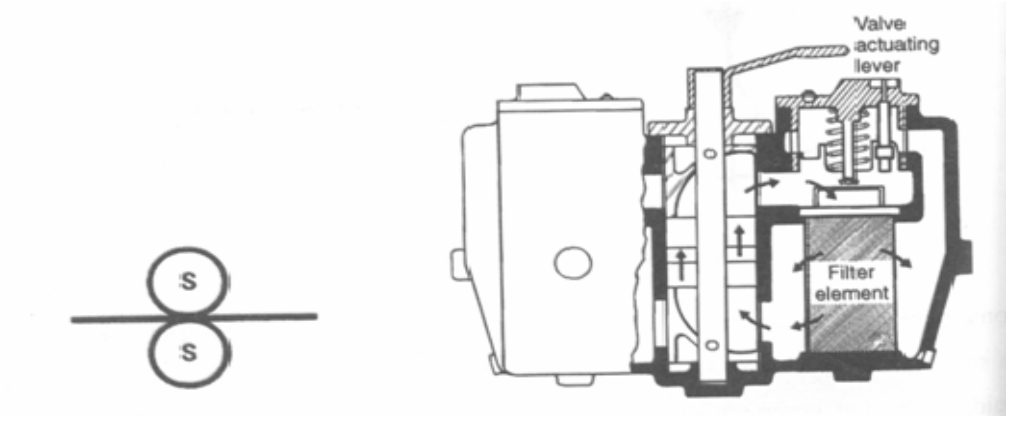
يوضح الشكل رقم (1- 30) مصفاة سلة فردية نموذجية والرمز الشائع لهذه المصفاة.



الشكل رقم (1- 30)

مصفاة سلة فردية نموذجية والرمز الخاص بها

يوضح الشكل رقم (1- 31) مصفاة سلة مزدوجة (ذات سلتين) والرمز الشائع المستخدم في تمثيل هذه المصفاة. وتسمح المصافي المزدوجة بتشغيل سلة واحدة بينما يتم إيقاف السلة الأخرى من أجل التنظيف.

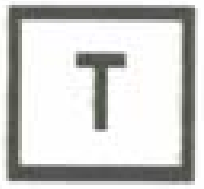


الشكل رقم (1- 31)

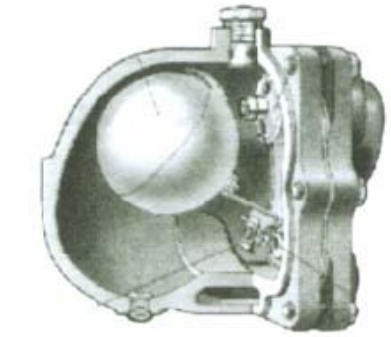
مصفاة سلة مزدوجة (سلتين) نموذجية والرمز الخاص بها

والنوع الآخر الشائع من ملحقات التمديد هو المصيدة. وتسمح المصيدة للسائل بالمرور من خلالها بينما تقوم باصطياد البخار أو العادم. ويوضح الشكل رقم (1- 32) الرمز الخاص بالمصيدة النموذجية. ولأهميتها ولأشكالها المتعددة في المحطات ناقشناها بالتفصيل في الفصل التالي؛

يوضح الشكل رقم (1- 33) التفاصيل الداخلية لمصيدة ميكانيكية.



الشكل رقم (1- 32)



الشكل رقم (1- 33)

رمز مصيدة بخار نموذجية

المكونات الداخلية لمصيدة بخار ميكانيكية

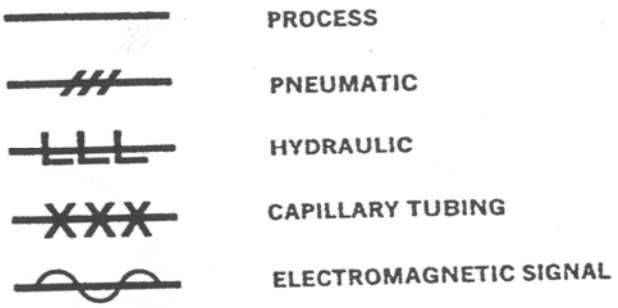
يوضح الشكل رقم (1- 34) تصريف قمعي نموذجي والرمز المستخدم في تمثيل هذا النوع من التصريف. وتسمح البواليع القمعية للسائل بالتصريف خارج النظام. وتنفتح البواليع القمعية مع الجو، ويمكن رؤية تدفق السائل من خلال البالوعة.

تصريف قمعي نموذجي والرمز الخاص به.

تمديد الأنابيب:

يقوم التمديد بتوصيل المكونات المتعددة في العديد من أنظمة المحطة. وبحسب الموضح في الشكل رقم (1- 35)، تم تمثيل التمديد بشكل نموذجي عن طريق خطوط تعمل على توصيل رموز المكونات مع بعضها البعض.

وتسمى هذه الخطوط في الغالب بـ رموز الخط.



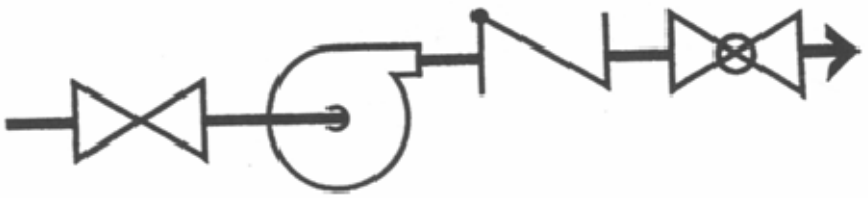
الشكل رقم (1- 35)

رموز خط نموذجية

4- 6 قراءة مخططات نظام بسيط:

يتطابق كل رمز على مخطط (الرسم البياني) النظام مع مكون فعلي في نظام المحطة. وأثناء قراءة مخطط النظام، من الجيد البدء أولا بتحديد اتجاه تدفق السائل داخل النظام. وتعتبر الأسهم الموجودة على المخطط دلالة واضحة على طريق تدفق السائل خلال النظام.

على سبيل المثال، يوضح الشكل رقم (1- 36) مخططاً خاصاً بجزء من نظام يحتوي على مضخة نابذة (طرد مركزي) والمكونات الخاصة بها. ويحدد السهم الموجود على المخطط أن اتجاه تدفق السائل من اليسار إلى اليمين. والطريقة المنطقية لقراءة هذا المخطط هي البدء من الجانب الأيسر والاستمرار من خلال كل من المكونات على امتداد اتجاه التدفق. والمكون الأول هو محبس بوابة يعمل يدوياً وفي وضع الفتح العادي. ويسمى محبس امتصاص لأنه موضوع عند امتصاص المضخة. ويتدفق السائل من خلال هذا المحبس إلى داخل المضخة النابذة (الطرد المركزي). ومن المضخة، يتدفق السائل من خلال محبس عدم الرجوع وبعد ذلك من خلال محبس التفريغ الذي يعمل يدوياً، ومحبس البوابة في وضع الفتح العادي.



الشكل رقم (1- 36)

مخطط الجزء الخاص بالنظام مع مضخة نابذة (طرد مركزي).

قراءة مفتاح المصطلحات:

سوف تتعلم في هذا الجزء ما هو المفتاح وأنواع المعلومات المشتملة في مفاتيح المصطلحات. بالإضافة إلى ذلك، سوف تتعلم ما هي مجموعة العنوان *Title Block* والمعلومات المشتملة في مجموعة العنوان.

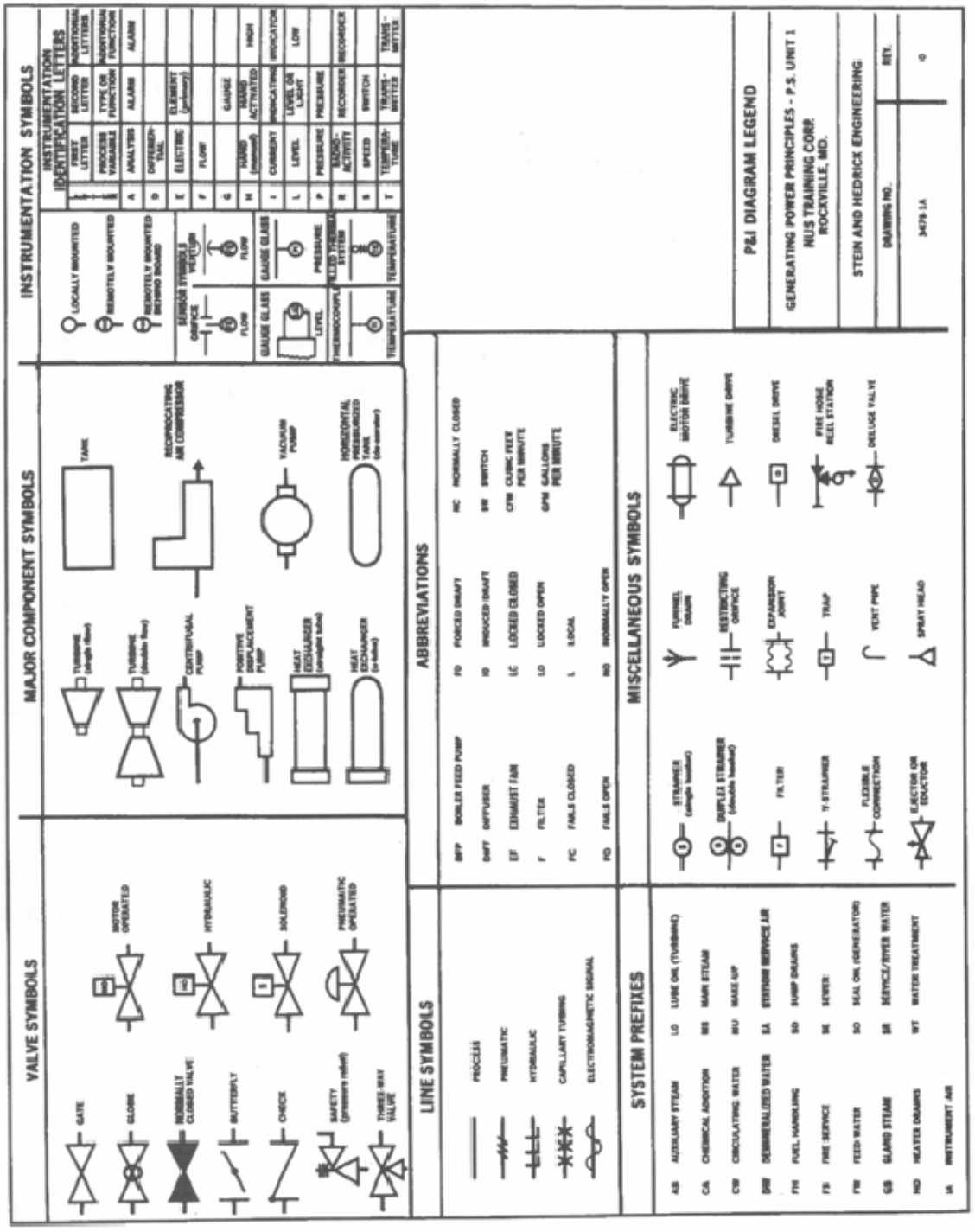
مفاتيح المصطلحات:

يسجل مفتاح المصطلحات في مخطط تمديد الأنابيب وتوزيع المعدات P&ID المكونات والرموز المستخدمة في مجموعة من التمديدات والمعدات. ويتواجد مفتاح المصطلحات في الغالب في بداية مجموعة المخططات. وفي الغالب تتجمع المكونات المسجلة في المفتاح في أقسام طبقاً لنوع المكون. والشكل رقم (1- 37) يوضح مثالاً لمفتاح مصطلحات مثالي. وهو مقسم إلى الأقسام التالية: رموز المحبس، ورموز المكونات الرئيسية، ورموز التوزيع، ورموز الخط، والاختصارات، وبادئات النظام، والرموز المتنوعة.

ويسجل القسم الخاص بـ رموز المحبس جميع المحابس وأجهزة تشغيل المحابس الممثلة على مخططات التمديد والتوزيع. ويتم توضيح الرمز الخاص بكل من هذه المكونات إلى جوار اسم المكون. ويسجل القسم المسمى المكونات الرئيسية جميع المكونات الرئيسية مثل التوربينات، حيث تظهر في المخططات وتمنح رمزاً لكل من هذه المكونات. ويتم توضيح المعدات ورموزها في القسم الخاص بـ رموز توزيع المعدات. وتشتمل رموز الخط على تلك الرموز التي تمثل التمديد.

وتستخدم العديد من مخططات النظام الاختصارات، والتي تبدو في الغالب على مفتاح المصطلحات في القسم الخاص بـ الاختصارات. بالإضافة إلى ذلك، تختصر العديد من المخططات أسماء الأنظمة وتستخدم هذه الأنظمة كبادئات خاصة بالنظام من أجل تعريف مكونات النظام. وتم إدراج هذه الاختصارات في القسم المسمى بـ بادئات النظام. ويسجل القسم الخاص بـ الرموز المتنوعة أي مكونات مستخدمة في المخططات وغير متضمنة في الأقسام الأخرى. على سبيل المثال، يمكن تضمين مكونات التمديد مثل المصافي والمصائد والبواليع في هذا القسم.

وتوجد مجموعة العنوان في الجزء السفلي من الجانب الأيمن في غالبية مفاتيح الاختصارات.



الشكل رقم (1- 37)

مفتاح اختصارات نموذجي

يوضح الشكل رقم (1- 38) مجموعة عنوان نموذجية. وتشتمل مجموعة العنوان في الغالب على عدد من الرسومات من أجل أغراض التعريف والمرجعية. وتوجد معلومة أخرى في مجموعة العنوان وهي رقم المراجعة. وأثناء العمل مع أي من التصاميم، من المهم استخدام أحدث نسخة؛ وإلا ، قد لا تكون المعلومات الموضحة على الرسم دقيقة.

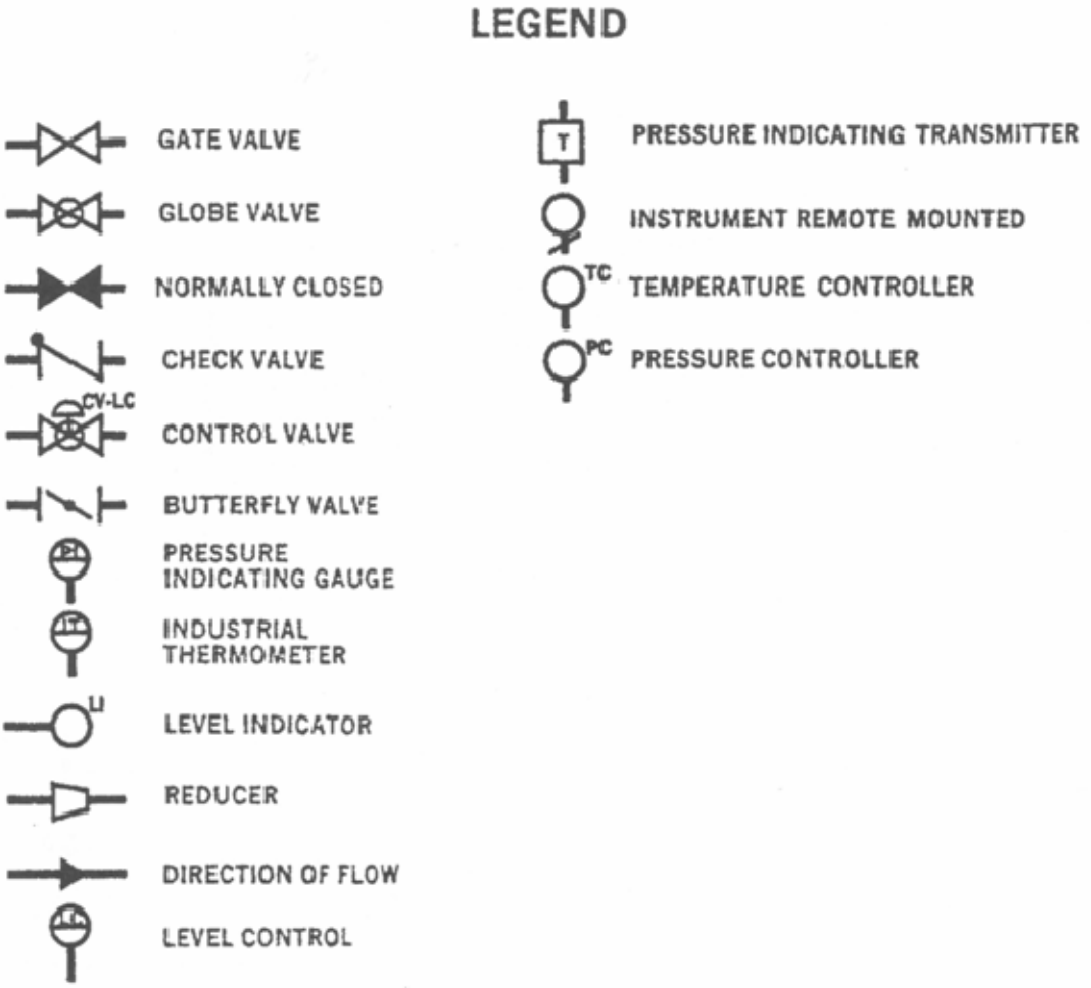
مفتاح مخطط التمديد والتوزيع	
مبادئ توليد الطاقة – وحدة P.S نس ترينج كوربوريشن روكفيل – إم دي	
ستيك & هدريك للهندسة	
رقم التصميم	المراجعة
3478- 1أيه	0

الشكل رقم (1- 38)

مجموعة عنوان نموذجية

مفاتيح المخطط الفردي:

بالإضافة إلى المفتاح العام الموجود في مقدمة مجموعة مخطط التمديد والتوزيع P&ID، تشتمل العديد من المخططات على مفاتيح اختصارات أصغر موضوعة على المخططات بحد ذاتها. وتسجل هذه المفاتيح رموزاً خاصة مستخدمة في المخطط الفردي. ويوضح الشكل رقم (1- 39) المفتاح بحسب ما قد يبدو مع مخطط النظام في كتاب مخطط التمديد والتوزيع. وتتواجد أي مكونات للمخطط والغير موضحة على هذا المفتاح، على المفتاح العام.



الشكل رقم (1- 39)

مفتاح مخطط نظام فردي نموذجي

أمثلة على مخططات النظام :

سوف نتعرض في هذا الجزء لمثالين من مخططات النظام:

1- مخطط نظام مياه خدمة نموذجية

2- مخطط نظام مياه تبريد مغلق نموذجي

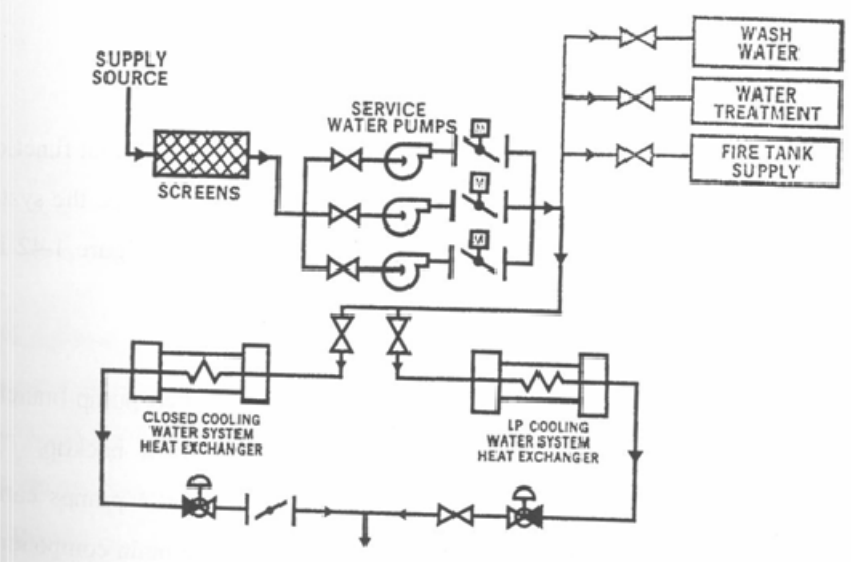
وبالنسبة لهذين النظامين، سوف تتعلم كيفية استخدام مخطط النظام من أجل تحديد المكونات وتتبع اتجاهات التدفق.

مخطط نظام مياه خدمة نموذجي:

يعتبر نظام محطة المياه مثالاً للنظام المفتوح، وهو نظام لا تتم إعادة تدوير السائل من خلاله. ووظائف نظام مياه الخدمة هي تبريد المكونات داخل المحطة. ويمكن كذلك استخدامه كمصدر تزود لجميع الأنظمة الأخرى في المحطة.

على سبيل المثال، يمكن أن يقوم هذا النظام بتوفير المياه لنظام مياه الغسيل في المحطة، ونظام تنقية المياه داخل المحطة، ونظام الوقاية من الحريق داخل المحطة. وفي الغالب يتم توفير مياه نظام مياه الخدمة عن طريق النهر أو خزان المدينة أو من خلال قناة مياه أو أي مصدر مياه كبير آخر. ويمكن الإشارة إلى أنظمة مياه الخدمة بالاسم الخاص بمصدر مياهها. على سبيل المثال، في المحطات التي تستخدم مياه البحر كمصدر للمياه، يمكن الإشارة إلى النظام باسم نظام مياه البحر.

ويعرض الشكل رقم (1- 40) مخطط نظام مبسط لنظام مياه الخدمة. وتتدفق المياه في هذا النظام من مصدر المياه خلال الأنابيب ومن خلال الحواجز إلى ثلاثة فروع للمضخة. وتقوم الحواجز بتنقية (فلترة) الشوائب الكبيرة والنفايات حيث تقوم باحتجاز الأجسام الصلبة من المياه. وتوجد ثلاثة فروع للمضخة في هذا النظام، كل منها يحتوي على مضخة نابذة (طرد مركزي).



الشكل رقم (1- 40)

مخطط مبسط لنظام مياه الخدمة

وتعتبر المكونات في كل فرع للمضخة متطابقة. ونجد المكونات من اليسار إلى اليمين بحسب التالي:

- محبس بوابة في وضع الفتح العادي، يعمل يدوياً.
- مضخة نابذة (طرد مركزي).
- محبس خانق يعمل بمحرك.

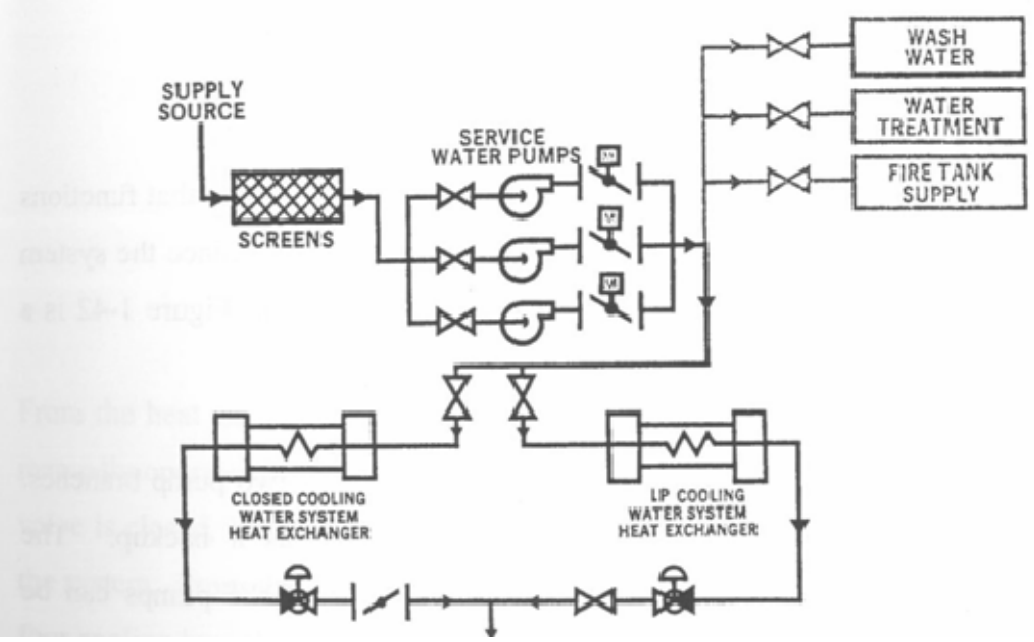
ويعتبر محبس البوابة هو محبس الامتصاص الخاص بالمضخة والمحبس الخانق هو محبس التفريغ الخاص بالمضخة. ويمكن إغلاق هذه المحابس من أجل عزل المضخة لأغراض الصيانة. وبالنسبة لهذا النظام، من الضروري تشغيل مضختين اثنتين فقط من بين المضخات الثلاث من أجل المحافظة على تشغيل النظام بشكل عادي. وتستخدم المضخة الإضافية كمضخة دعم. وفي حالة تعطل أي من المضخات الأخرى عن العمل بشكل صحيح، يمكن أن تبدأ مضخة الدعم في العمل من أجل المحافظة على ضغط التشغيل العادي للنظام بينما يتم تصحيح المشكلة. وكذلك وعند الضرورة، يمكن تشغيل مضخة الدعم بالتزامن مع

المضختين الأخريين من أجل زيادة معدل التدفق لتوفير المزيد من المياه لتبريد المبادلات الحرارية وإلى المستخدم الثالث لمياه الخدمة.

ومن فروع المضخة، تتدفق المياه من خلال المزيد من التمديدات، وبعد ذلك ينقسم اتجاه التدفق إلى اتجاهين عموميين. وينقسم الاتجاه الموضح في الشكل رقم (1- 41) إلى ثلاثة فروع لتوفير المياه للأنظمة الأخرى للمحطة:

- نظام مياه الغسيل.
- نظام معالجة المياه.
- نظام الوقاية من الحريق.

ويوجد محبس بوابة في وضع الفتح العادي يعمل يدوياً في كل فرع. وعندما يكون من الضروري عزل أي فرع من الفروع، يمكن إغلاق محبس البوابة الخاص بهذا الفرع.



الشكل رقم (1- 41)

مرور التدفق من فروع المضخة

وينقسم اتجاه التدفق الآخر المبين في الشكل رقم (1- 41) إلى فرعين اثنين. ويتلاقى الماء الذي يمر من خلال هذه الفروع عند نقطة مشتركة ويتدفق من خلال التمديدات إلى برج التبريد أو إلى بركة التبريد أو يعود إلى مصدره الأصلي. ويقوم واحد من المصادر بتوفير سائل التبريد للغلاف والمبادل الحراري الأنبوبي، الذي يعد جزءاً من نظام مياه التبريد السفلي الذي يقوم بتبريد المكونات مثل المبردات التي تعمل بالمحرك الخاص بمضخة تغذية غلاية المعزز (المنشط) والأغلفة المائية الخاصة باسطوانة ضاغط الهواء. وتشتمل مكونات هذا النظام على محبس بوابة في وضع الفتح العادي يعمل يدوياً، ومحبس كروي خانق يعمل بغشاء هوائي ومحبس بوابة في وضع الفتح العادي يعمل يدوياً. وتستخدم محابس البوابة في هذا النظام من أجل عزل المبادل الحراري. ويقوم المحبس الكروي بتنظيم التدفق خلال المبادل الحراري.

ويقوم الفرع الآخر بتوفير سائل التبريد من أجل الغلاف والمبادل الحراري الأنبوبي والذي يعد جزءاً من نظام مياه التبريد المغلق الخاص بالمحطة، حيث يقوم بتبريد المكونات مثل مبردات زيت التزليق ومبردات الازدواج الهيدروليكية التي تعمل بمراوح الحث الأولية. وتشتمل مكونات هذا النظام على محبس بوابة في وضع التشغيل العادي يعمل يدوياً، ومحبس كروي خانق يعمل بغشاء هوائي ومحبس خانق في وضع الفتح العادي يعمل يدوياً. ويستخدم كل من محبس البوابة والمحبس الخانق في عزل المبادل الحراري. ويقوم المحبس الكروي بتنظيم التدفق خلال المبادل الحراري.

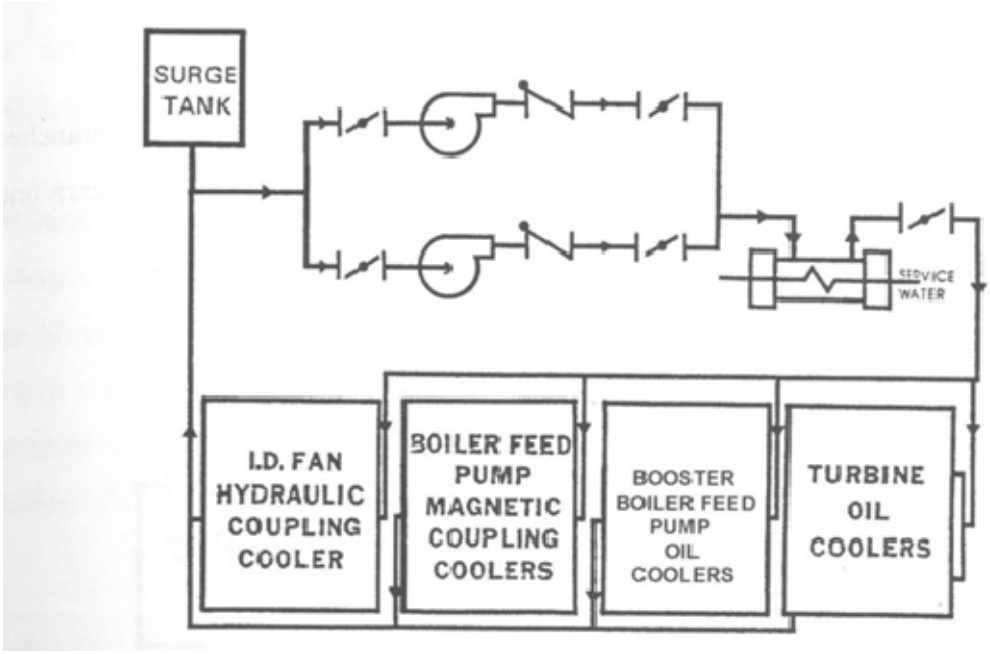
المخطط الخاص بنظام مياه التبريد المغلق النموذجي:

يعتبر نظام مياه التبريد المغلق غالباً نظام تبريد عالي الضغط يعمل على تبريد زيت التزليق الخاص بالمكونات مثل التوربينات والمضخات. وحيث يعتبر النظام مغلقا، تتم إعادة تدوير السائل بشكل مستمر داخل النظام. ويعد الشكل رقم (1- 42) مخططاً مبسطاً لنظام مياه تبريد مغلق.

ويحتوي نظام مياه التبريد المغلق المبين في الشكل رقم (1- 42) على فرعين للمضخة. وبشكل نموذجي، تعمل واحدة من المضختين بينما تستخدم المضخة الأخرى في الدعم. وتعتبر مكونات كل فرع متطابقة مع الفرع الآخر بحيث يمكن تشغيل أي من المضختين بدون تغيير

ضغط النظام أو معدل التدفق. والمكون الأساسي في كل فرع هو مضخة نابذة (طرد مركزي). ويوجد في مدخل كل مضخة محبس امتصاص؛ وهو عبارة عن محبس خانق (فراشة) يعمل يدوياً في هذا النظام. وفي هذا النظام يوجد محبس غير مرجع، يمنع ارتداد التدفق إلى المضخة.

والمكون الأخير في كل فرع للمضخة هو محبس خانق (فراشة) آخر يعمل يدوياً. وهو محبس تفريغ. وعندما يكون من الضروري عزل المضخة، يمكن إغلاق المحبس الخانق الموجود في فرع المضخة. ويتدفق الماء الذي يمر خلال المضخة عبر التمديدات إلى جانب الغلاف والمبادل الحراري الأنبوبي. ويتدفق ماء الخدمة خلال جانب الأنابيب الخاصة بالمبادل الحراري، ولذلك فإن المبادل الحراري أحد المكونات في كل من نظام مياه الخدمة ونظام مياه التبريد المغلق.



الشكل رقم (1- 42)

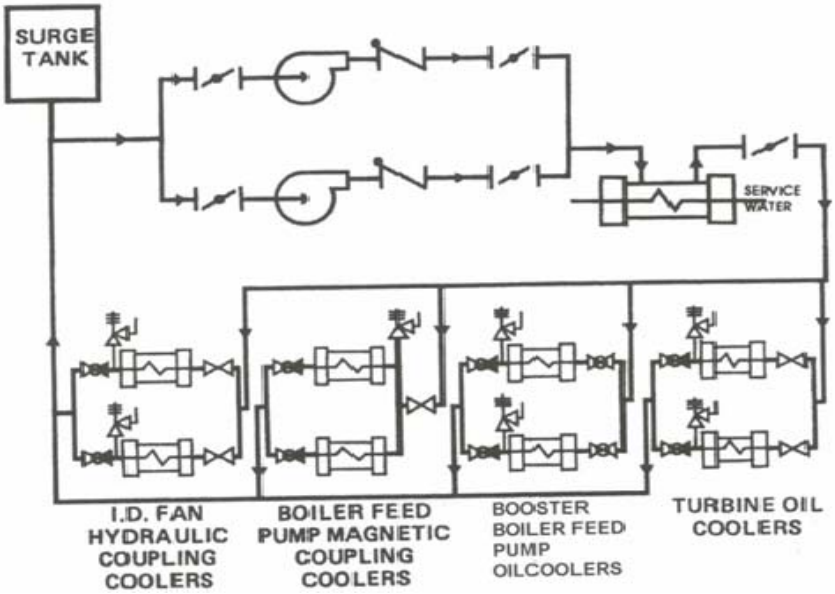
مخطط مبسط لنظام تبريد مياه مغلق

ومن المبادل الحراري، تتدفق مياه نظام التبريد المغلق خلال التمديدات إلى محبس خانق يعمل يدوياً، وهو المحبس الخاص بإغلاق (قطع) النظام. وعندما يتم إغلاق محبس القطع، فيقوم بعزل فروع المضخة والمبادل الحراري عن بقية النظام. ومن محبس القطع، تتدفق المياه من خلال العديد من التمديدات داخل فروع التبريد الأربعة الخاصة بالنظام. وتقوم فروع التبريد بتبريد زيت التزليق الخاص بالتوربين ومضخات تغذية غلاية البركة، والمزاوج المغناطيسي لمضخة تغذية الغلاية، ومبردات الازدواج الهيدروليكية التي تعمل بمراوح الحث الأولية. وبعد المرور من خلال فروع التبريد تلك، تتدفق المياه من خلال التمديدات عائدة إلى المضخات.

وفي هذا النظام النموذجي، يوجد خزان تموج *surge tank* موضوع عند مدخل فروع المضخة. ويسمح خزان التموج بالتغييرات في حجم المياه في الخزان. وعندما يزيد حجم مياه الخزان، يتدفق الماء الزائد داخل الخزان. وعندما تنقص المياه، يتدفق الماء من الخزان عائداً إلى النظام. وهذه الطريقة تحافظ على إبقاء النظام مملوءاً بالمياه.

نظام تبريد المياه المغلق وحل المشكلات:

في هذا الجزء سوف نتعرض بشكل أقرب للمكونات في فروع التبريد الخاصة بنظام مياه التبريد المغلق الذي تم توضيحه أمامك في الجزء (1- 5). بعد ذلك سوف تتعلم إحدى طرق حل مشكلات نظام المحطة.



الشكل رقم (1- 43)

نظام مياه التبريد المغلق

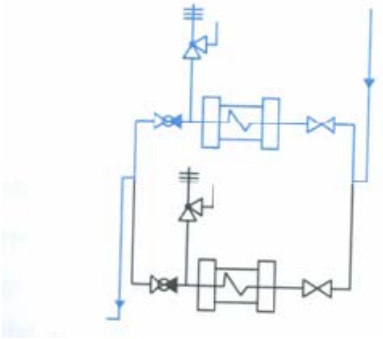
ويوضح الشكل رقم (1- 43) مخطط للنظام الخاص بنظام تبريد المياه المغلق الذي تعرضت له فيما سبق. ويحدد هذا المخطط المكونات المشتملة في فروع التبريد الفردية وكذلك اتجاه التدفق حلال النظام. وبحسب المبين في الشكل، فإن فروع التبريد الخاصة بالنظام من اليسار إلى اليمين هي: فرع تبريد زيت التوربين و مضخة تغذية غلاية البركة، وفرع تبريد الزيت للمزاوج المغناطيسي الخاص بمضخة تغذية الغلاية و فرع تبريد الزيت للمزاوج الهيدروليكي الذي تعمل بمراوح الحث الأولية.

ويوجد اتجاهان للتدفق لكل من فروع التبريد. وتتشابه مكونات كل فروع التبريد:

- محبس بوابة في وضع الفتح العادي، يعمل يدوياً.
- غلاف ومبادل حراري أنبوبي.
- محبس تنفيث (تخفيف) الضغط.
- محبس كروي خانق يعمل يدوياً.

مكونات النظام:

وحيث إن مكونات كل فروع التبريد متماثلة، تم توضيح مكونات فرع واحد في الشكل رقم (1- 44). وتم توضيح الرمز المستخدم في تمثيل هذه المكونات بخطوط بلون داكن في المخطط. ويتدفق الماء الخاص بنظام التبريد المغلق من خلال جانب الأنبوب الخاص بالمبادل الحراري، ويتدفق زيت التزليق من التوربين من خلال جانب الغلاف.



الشكل رقم (1- 44)

مكونات اتجاه تدفق فرع تبريد زيت التوربين.

وتحتوي فروع التبريد الأخرى على مكونات واتجاهات تدفق مماثلة لتلك التي تم توضيحها في الشكل رقم (1- 44). بالرغم من ذلك، وبالرغم من أن الرموز متماثلة، قد يختلف مقاس واتجاه المكونات في الفروع الأخرى.

حل مشكلات نظام المحطة:

وبصفة مشغل، سوف تكون مسؤولاً عن مراقبة العديد من الأنظمة في محطتك والوصول إلى المعلومات المتعلقة بتشغيل هذه الأنظمة. بالإضافة على ذلك، سوف تكون مسؤولاً عن التأكد من تصحيح المشكلة بسرعة وكفاءة عند تعطل النظام. إن معرفتك بالأنظمة المختلفة في محطتك وقدرتك على قراءة مخططات النظام بكفاءة سوف يساعدك كثيراً في هذه المهمة.

وعند حدوث مشكلة في نظام المحطة، توجد العديد من الخطوات التي لابد أن يقوم بها المشغل: أولا، تحديد المشكلة واتخاذ إجراء لمنع تلف النظام. على سبيل المثال، في حالة إصدار صوت تنبيه بانخفاض الضغط وتوجد مضخة دعم في النظام، عليك تحديد أفضل طريقة تمنع تلف النظام وهي تشغيل مضخة الدعم من أجل المحافظة على ضغط النظام. وفي كل حالة، سوف يحدد نوع النظام ووظيفته نطاق العمل الوقائي المطلوب القيام به.

الخطوة التالية هي مراعاة الأسباب المحتملة للمشكلة. وتعتبر مخططات النظام مفيدة في هذه الخطوة من أجل تحديد المواضع المحتملة وأسباب المشكلة في النظام. بعد ذلك لابد من فحص النظام وتعيين السبب الحقيقي للمشكلة. وبمجرد تحديد سبب المشكلة، لابد من اتخاذ الإجراء التصحيحي من أجل إعادة النظام إلى وضع التشغيل العادي.

وباختصار، فيما يلي الخطوات العامة المستخدمة في حل مشكلة النظام:

1- تحديد المشكلة.
2- اتخاذ الإجراء الوقائي.
3- النظر في الأسباب المحتملة للمشكلة.
4- فحص النظام.
5- تصحيح المشكلة.

ويمكن اتخاذ نظام تبريد المياه المغلق الذي تمت مناقشته في هذا القسم مثالاً لحل مشكلة النظام. وقد تم تحديد المشكلة على أنها انخفاض في ضغط النظام.

1- تحديد المشكلة (انخفاض الضغط في نظام تبريد المياه المغلق).

2- اتخاذ إجراء وقائي (بدء تشغيل مضخة الدعم فوراً من أجل منع تلف النظام).

إن بدء تشغيل مضخة الدعم يجعل الضغط في وضع عادي بشكل كاف بحيث يستمر النظام في العمل ما لم يتم تحديد سبب المشكلة.

وتم استخدام مخطط النظام من أجل المساعدة على تحديد السبب المحتمل للمشكلة. ثم بعد ذلك تم فحص النظام.

3- النظر في الأسباب المحتملة للمشكلة. أثناء عملية الفحص، اكتشف أن *المحبس الكروي* الخانق الموجود في فروع التبريد كان مفتوحًا إلى حد كبير. وقد تسبب موضع المحبس في إحداث انخفاض في ضغط النظام.

بالرغم من ذلك، كانت مواضع المحبس الكروي مفتاحاً فقط للمشكلة الحقيقية. وكانت مواضع هذه المحابس دلالة على زيادة تدريجية في درجات حرارة النظام.

4- فحص النظام. أوضح الفحص الكامل للنظام أن درجة حرارة المخرج الخاصة بالمبادل الحراري للنظام كانت مرتفعة للغاية.

وقد تحدد أن السبب في ذلك كان تصاعداً تدريجياً لدرجة حرارة أنابيب المبادل الحراري.

5- تصحيح المشكلة: تقرر استخدام مضخة الدعم من أجل المحافظة على تشغيل النظام إلى أن يتم إبلاغ الصيانة بالمشكلة واتخذا الإجراء التصحيحي.

وهذه طريقة واحدة فقط في حل مشكلة النظام. وقد تتعرض محطتك لمواقف مختلفة، لذلك يعد من الأفكار الجيدة القيام بفحص إجراءات المحطة مع المشرف الخاص بك قبل القيام بمحاولة حل مشكلة النظام على طريقتك الخاصة.

المراجع

اسم المرجع (Name of the reference)	المؤلف (Author)
Electrical Machines Devices and power Systems	
Electrical power Systems	J.M. Harison
Gas Turbines Mannal GE	
Power plants	D avid FEmanal
• المرجع العربي للغلايات – الهيئة العربية للكهرباء 1995.	منشورات المركز التدريبي لتحلية المياه المالحة الجبيل- المملكة العربية السعودية.