



بسم الله الرحمن الرحيم



دراسة أنظمة التحكم في محطات القدرة البخارية

بحث تكميلي لنيل درجة بكالوريوس الشرف في الهندسة الميكانيكية

إعداد:

إبراهيم الهادي عبدالله

إبراهيم محمد إبراهيم

سفيان ذوالكفل الجزولي

إشراف :

د/ خالد طه السيد

جامعة الشيخ عبدالله البدري

كلية الهندسة - قسم الهندسة الميكانيكية

أبريل - 2026م

الآية

قال تعالى :

﴿يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ﴾

صدق الله العظيم

(سورة المجادلة - الآية ١١)

الإهداء

إلى من كان دعاؤهم سرّ نجاحي، ونور طريقي،
إلى من غرسا في نفسي حب العلم والطموح...
إلى والديّ العزيزين، حفظهما الله وأطال في عمرهما.
إلى إخوتي وأخواتي، الذين كانوا سنداً ودعماً لي في كل خطوة.
إلى أساتذتي الكرام الذين أناروا دربي بالعلم والمعرفة.
إلى كل من ساندني ولو بكلمة طيبة أو دعوة صادقة...
أهديكم ثمرة جهدي المتواضع.

الشكر والعرفان

الحمد لله أولاً وأخيراً على توفيقه وفضله الذي أعانني على إتمام هذا البحث.

أتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى أستاذي/دكتور (خالد طه) لما قدمه لي من توجيه وإرشاد ومتابعة مستمرة طوال فترة إعداد هذا البحث، فله مني جزيل الشكر والامتنان.

كما أتقدم بالشكر إلى جميع أعضاء هيئة التدريس في (جامعه الشيخ عبدالله البدري) لما بذلوه من جهود في سبيل تعليمنا وإعدادنا علمياً وعملياً.

ولا يفوتني أن أعبر عن عظيم امتناني لأسرتي الكريمة وأصدقائي وكل من قدم لي الدعم والمساندة حتى اكتمل هذا العمل.

سائلةً الله أن يجعل هذا العمل خالصاً لوجهه الكريم، وأن ينفع به.

الملخص

تتناول هذه الدراسة تحليل وتصميم أنظمة التحكم في محطات القدرة البخارية، مع التركيز على تحسين كفاءة التشغيل واستقرار النظام.

تشمل الدراسة استعراضًا لأنواع أنظمة التحكم المستخدمة مثل التحكم في الضغط والتدفق ودرجة الحرارة، بالإضافة إلى تطبيق نماذج رياضية ومحاكاة لاختبار أداء هذه الأنظمة.

كما تُقترح استراتيجيات للتحكم الذكي لتحقيق استجابة سريعة وتقليل الفاقد.

وأخيرًا، تُظهر النتائج إمكانية تحسين الأداء العام للمحطة وزيادة الاعتمادية من خلال دمج تقنيات التحكم المتقدمة.

Abstract

This study focuses on the analysis and design of control systems in steam power plants, emphasizing operational efficiency and system stability.

The study reviews various control systems such as pressure, flow, and temperature control, alongside mathematical modeling and simulation to test system performance.

It also proposes smart control strategies for faster response and reduced losses.

Ultimately, results show potential improvements in overall plant performance and reliability through advanced control integration.

الفهرس

الموضوع	الصفحة
الآية	أ
الإهداء	ب
الشكر والعرفان	ج
الملخص	د
Abstract	هـ
الفهرس	و
الفصل الأول	
مقدمة	٢
الفصل الثاني	
مكونات محطات التوليد البخارية	٦
أجهزة الاحتراق	٨
التوربين البخاري	١٨
المولد الكهربائي	١٩
المكثف	٢٤
الفصل الثالث	
دراسة أنظمة التحكم فى محطات القدرة البخارية	
التحكم فى البخار الداخلى فى التوربين	٣١

٣٢	أنواع أنظمة التحكم
٣٥	النظام المتكامل للتحكم في الغلاية والتوربين
٣٦	استراتيجيات التحكم المتكامل
٣٧	التحديات والظواهر الفيزيائية في التحكم المتكامل
٣٨	مقارنه بين أنظمة التحكم الحديثة والقديمة في محطات القدرة البخارية
٤٣	الخاتمة
٤٤	المراجع

الفصل الأول

مقدمة:-

التوليد الحراري للطاقة الكهربائية هو أكثر طرق إنتاج الكهرباء شيوعاً في العالم ويعتمد على تحويل الطاقة الحرارية الناتجة عن احتراق الوقود مثل الفحم ، النفط ، الغاز الطبيعي إلى طاقة ميكانيكية ثم إلى كهربائية .

تبدأ العملية بحرق الوقود داخل الغلايات لتسخين الماء وتحويله إلى بخار عالي الضغط يقوم بتدوير التوربينات والتي بدورها تشغل المولدات الكهربائية لإنتاج الكهرباء .

ويتميز التوليد الحراري بقدرته على إنتاج كميات كبيرة من الطاقة بشكل مستمر لكنه يرتبط بإستهلاك الوقود الأحفوري وانبعاث الغازات المسببة للتلوث والاحتباس الحراري مما يدفع حالياً للبحث عن بدائل أنظف وأكثر كفاءة.

التوليد البخاري :-

التوليد البخاري هو أحد أهم طرق إنتاج الطاقة الكهربائية حيث يعتمد على استخدام الطاقة الحرارية لتسخين الماء وتحويله إلى بخار عالي الضغط هذا البخار يوجه إلى التوربينات البخارية التي تدور بسرعات عالية فتقوم بتشغيل المولدات الكهربائية وإنتاج الكهرباء .

تعتبر محطات القدرة البخارية هي الأكثر استخداماً في مجال التوليد الحراري وذلك لعدة أسباب هي:-

١ - المرونة العالية في استخدام انواع متعددة من الوقود:

يمكن للمحطات البخارية العمل على مجموعة واسعة من الوقود مثل الفحم الغاز الطبيعي الزيت الثقيل،
الوقود الحيوي، وحتى النفايات الصلبة هذه المرونة تقلل من اعتماد المحطة على مصدر وقود واحد
وتسمح باختيار الوقود الأقل تكلفة في السوق.

٢ - الكفاءة الحرارية العالية عند استخدام دورات مركبة :

عند دمج التوربين الغازي مع التوربين البخاري يمكن تحقيق كفاءة حرارية تصل إلى ٦٠% فأكثر ، وهي
من أعلى الكفاءات بين تقنيات التوليد الحراري حتى في الدورات البخارية التقليدية الكفاءة معقولة [٣٠ -
٤٠%].

٣ - القدرة على انتاج كميات ضخمة من الطاقة :

محطات البخار مناسبة جدا للمشاريع العملاقة قد تصل إلى ١٠٠٠ ميغاواط أو أكثر لكل وحدة ، مما
يجعلها مثالية لتلبية الطلب الأساسي المستمر على الكهرباء في الشبكات الوطنية .

٤ - موثوقية التشغيل والعمر الطويل :

التصميم البسيط نسبياً للتوربين البخاري مقارنة بمحركات الاحتراق الداخلي يجعله أقل عرضة للأعطال
عمرها الافتراضي طويل (٣٠-٤٠) سنة مع صيانة دورية.

٥ - التكنولوجيا الناضجة والمجربة :

هذه التكنولوجيا معروفة منذ أكثر من ١٠٠ عام ، وهناك خبرة تراكمية هائلة في تصميمها تشغيلها ،
وصيانتها. هذا يقلل من مخاطر التشغيل والتكاليف غير المتوقعة.

٦ - السيطرة على الانبعاثات :

أنظمة معالجة غازات العادم مثل أجهزة إزالة الكبريت FGD والمرشحات الكهروستاتيكية يمكن تركيبها بشكل أكثر فعالية في المحطات البخارية الكبيرة للتحكم في تلوث الهواء.

٧- استخدامات مشتركة للحرارة الطاقة :

يمكن استخدام البخار المستنقذ من التوربين في تطبيقات صناعية مثل التسخين في المصانع أو تحلية المياه ، مما يرفع الكفاءة الكلية للنظام إلى أكثر من ٨٠%. والهدف من هذا المشروع هو دراسة أنظمة التحكم في محطات القدرة البخارية.

الفصل الثاني

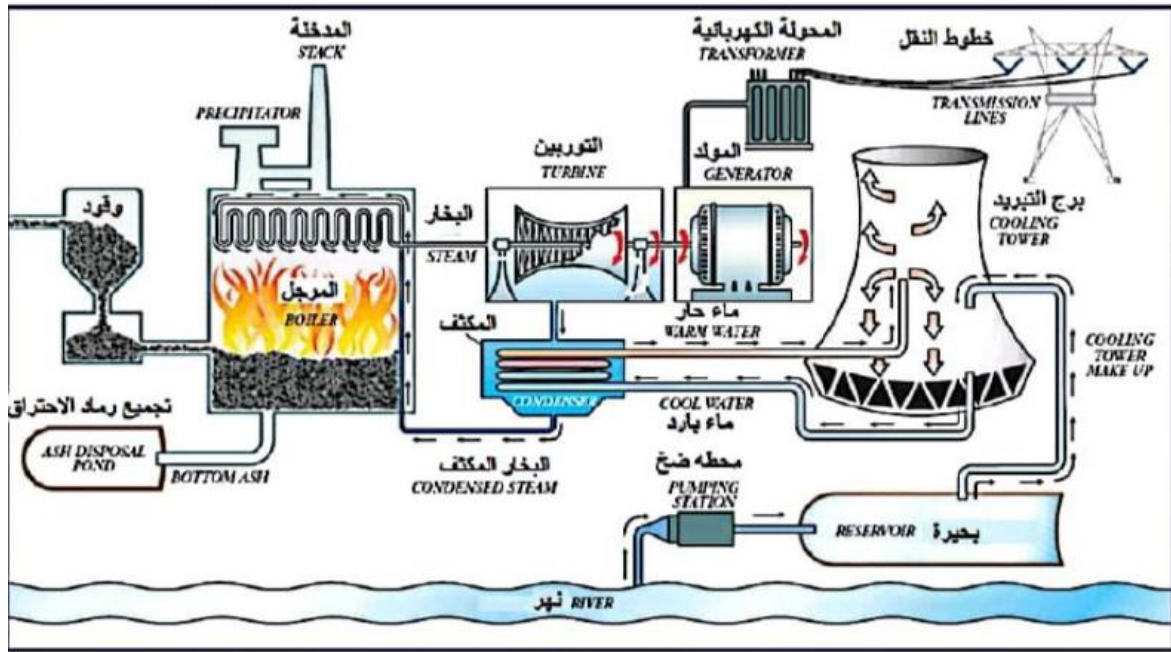
مكونات محطات التوليد البخارية

تتألف محطات التوليد البخارية بصورة عامة كما هو مبين في الشكل (٢-٢) من الأجزاء الرئيسية التالية:

١-٢ الفرن Furnace

وهو احد الأجزاء المهمة في المرجل وهو عبارة عن نظام لحرق الوقود المستخدم داخل وعاء كبير ويختلف شكل ونوع هذا الوعاء وفقا لنوع الوقود المستعمل وطريقة الاشتعال ويلحق به وسائل تخزين ونقل وتداول الوقود ورمي المخلفات الصلبة تستخدم أنواع مختلفة من الوقود كالفحم الحجري والزيت الثقيل والديزل لإنتاج البخار تحت ضغط عال وينقل الوقود عبر وسائل مختلفة كالقطارات وخطوط الأنابيب وتوضع داخل خزانات عملاقة حسب مواصفات معينة ويتم 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 قبل دخوله الى الفرن وذلك لتحسين عملية الاشتعال داخل الفرن نظرا لرداءة هذا النوع من الوقود الذي يستخدم لرخص ثمنه وقلة تكلفته.

تختلف الأفران باختلاف الوقود المستخدم خاصة بالنسبة للفحم الحجري والزيت الثقيل. تنتج هذه الأفران كميات كبيرة من غازات العادم شديدة التلوث نظرا لرداءة الوقود المستخدم. يمر هذا العادم عبر مرشح كهرومغناطيسي لتخليصه من كميات كبيرة من الجزيئات السامة قبل أن يطلق في الهواء، ولكن غالبا ما يقذف بهذا الغاز العادم مباشرة في الجو دون أي معالجة مما يتسبب في أضرار كبيرة بالبيئة خاصة في دول العالم الثالث حيث يكون الالتزام بالمعايير البيئية ضعيف الى حد كبير.



الشكل (١-٢) الاجزاء الرئيسية لمحطة الوقود الرئيسية

تقوم أجهزة الاحتراق بوظيفة أساسية تغذية الفرن بالوقود (صلب - سائل - غازي) و هواء الاحتراق بنسب ملائمة لتأمين الاحتراق الكامل و أيضا تقوم هذه الأجهزة بتنظيم عملية الاحتراق في مولدات البخار وفيها يتم تحويل طاقة الوقود إلى طاقة حرارية وينتقل القسم الأعظم منها إلى المادة العاملة (الماء) تأخذ أجهزة الاحتراق أشكالا مختلفة تتعلق بنوع الوقود المستخدم وخواصه الفيزيائية و يوجد هناك أوجه مختلفة لتصنيف أجهزة الاحتراق وإن كل هذه الأصناف يجب أنتحقق بعض المواصفات الأساسية مثل:

١- تأمين الاحتراق الكامل عند عامل زيادة الهواء قليل.

٢- تحقيق انتقال حراري جيد مع سطوح التسخين.

٣- الأمان في العمل وسهولة الصيانة.

٤- وجود نظام للتحكم يضمن التجاوب مع تغيرات الحمل.

٥- تقليل ما أمكن من ترسبات نواتج الاحتراق على جدران الموقد وعلى سطوح التسخين.

وتصنف أجهزة الاحتراق وحسب نوع الوقود المستخدم إلى الآتي:

١ - أجهزة حرق الوقود الصلب

يمكننا التمييز بين ثلاثة طرق لحرق الوقود الصلب

(أ) الطريقة الطبقيّة.

(ب) الطريقة المعلقة

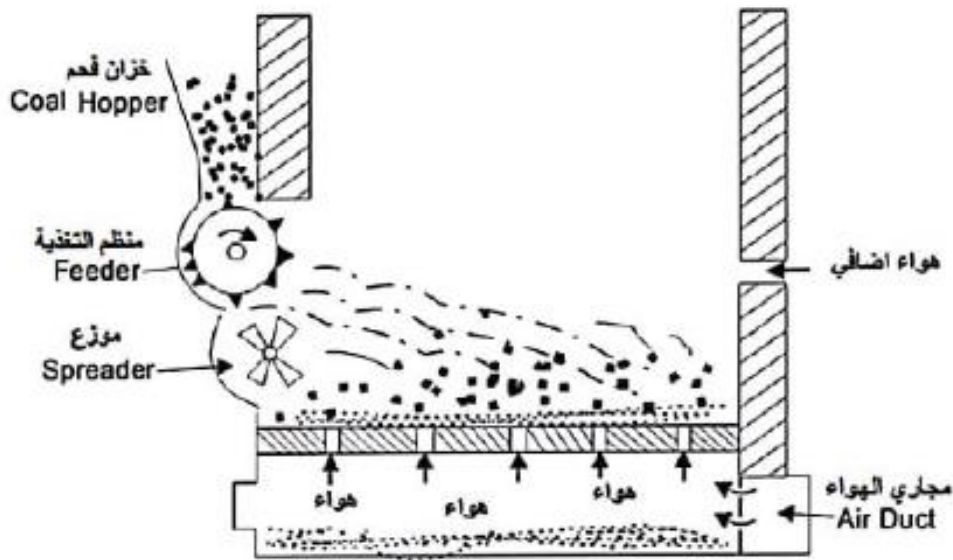
(ج) الطريقة الدوامية.

ففي حالة الاحتراق الطبقي يصل الهواء إلى طبقة الوقود من أسفل الغربال، وفي الطريقة المعلقة يطحن الوقود الصلب أولاً إلى قطع صغيرة ومن ثم يمزج مع الهواء وبعدها يدفع بالمزيج عبر الفرن إلى الموقد أما طريقة الإيقاد الدوامية فإنها تعتمد على استعمال الجريان اللولبي للمزيج ووقود هواء حيث أنه تدور جزيئات الوقود حسب مدارات معينة خلال الزمن اللازم لاحتراق هذا النوع من الوقود احتراقاً تاماً، وبتأثير القوى النابذة تتكاثف طبقة كثيفة من جزيئات الوقود التي تسير حسب مسارات لولبية مجاورة لجدران الفرن وتمتزج بشدة مع الهواء الثانوي الذي يدفع وفق الاتجاه المماسي لقطر الأسطوانة.

(أ) الطريقة الطبقيّة تقسم المواقد الطبقيّة من حيث نظام احتراق الوقود إلى الأنواع التالية: المواقد الطبقيّة ذات الغربال الثابت وطبقة الوقود الثابتة . يتم ملء الوقود وعزل فضلات المواقد يدوياً مما يتطلب جهداً فيزيائياً مضمناً من العمال، لذلك اقتصر استخدامه على مراحل البخار ذات الإنتاجية المنخفضة حتى ٥.

المواد الطبقية ذات الغريال الثابت و طبقة الوقود المتحركة يتم فرش الوقود بشكل متساو على الفرشة بواسطة القاذف ويتم جمع فضلات المواد (الأفران) في مجمع الرماد، ثم بحركة يدوية للفرشة حول محورها يتم التخلص من تلك الفضلات كما هو مبين في الشكل (٢-٢).

المواد الطبقية ذات الغريال المتحرك وطبقة الوقود المتحركة : يحتوي الموقد على غرفة مخصصة لتجفيف الوقود حيث يرد الهواء الساخن إليها عبر فتحات خاصة على الجانب الأيسر للموقد يتم إمداد الوقود إلى الغريال (سير ناقل) الذي يتحرك ببطيء (30 m/h) يمكن تقسيم طول السير الموجود داخل الموقد إلى ثلاث مناطق منطقة لتجفيف الوقود وتحرير الغازات و منطقة إحراق فحم الكوك الناتج ومنطقة إكمال عملية الاحتراق في هذا الموقد يدخل الهواء عبر فتحات سفلية و يمكن التحكم بكميات الهواء المدفوعة حتى ضمن المناطق المختلفة. ويتم دفع كمية ما من الهواء - حتى الثانوي من فتحة جانبية خاصة وذلك من أجل تحسين شروط عملية الاحتراق و التخفيض نسبة الضائعات.



الشكل (٢-٢) المواد الطبقية ذات الغريال المتحرك وطبقة الوقود المتحركة

(ب) - الطريقة المعلقة :

يحتل الفرن مركزاً هاماً في عملية تصميم المواقد المعلقة والتي تحرق الفحم المسحوق، ويجب أن يتحقق في هذه الأجهزة عدة شروط:

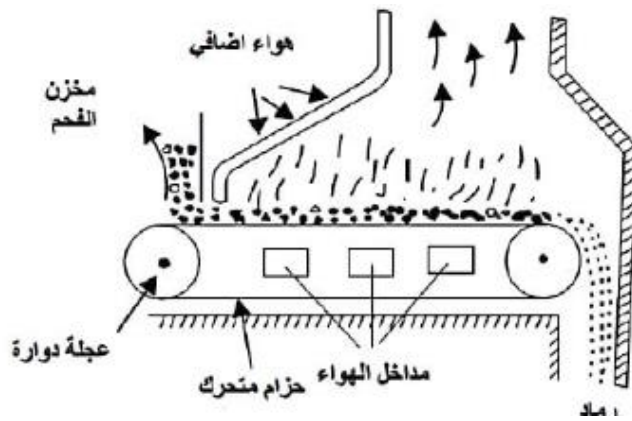
١- تأمين مزج كاف للوقود والهواء .

٢- ضمان اشتعال المزيج الوقودي الهوائي في كل لحظة .

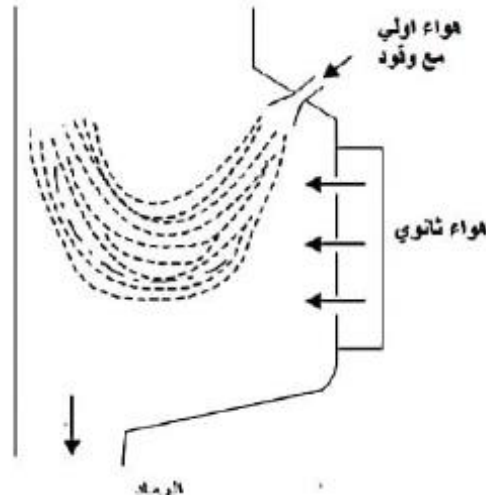
٣- إملاء فراغ الموقد بالشفلة.

٤- سهولة التحكم الآلي في نظام الاحتراق، وذلك ضمن المجال المحدد للإنتاجية.

الشكل (٢-٤) يبين مخطط للطريقة المعلقة حيث يدفع مسحوق الوقود مع هواء الاحتراق الداخلي بسرعة مناسبة خلال الفتحات المثبتة في الجدران ويزود الهواء الثانوي على شكل تيارات وبزاوية قائمة لمسلك اللهب وبذلك يتجه اللهب إلى الأسفل إما غازات الاحتراق فترتفع باتجاه معاكس ويعطي ذلك حرف U المسار اللهب إما الرماد فيترسب على شكل منصهر في قاعدة الفرن.



الشكل (٢-٣) المواقد الطبقيّة ذات الغريبال المتحرك وطبقة الوقود المتحركة

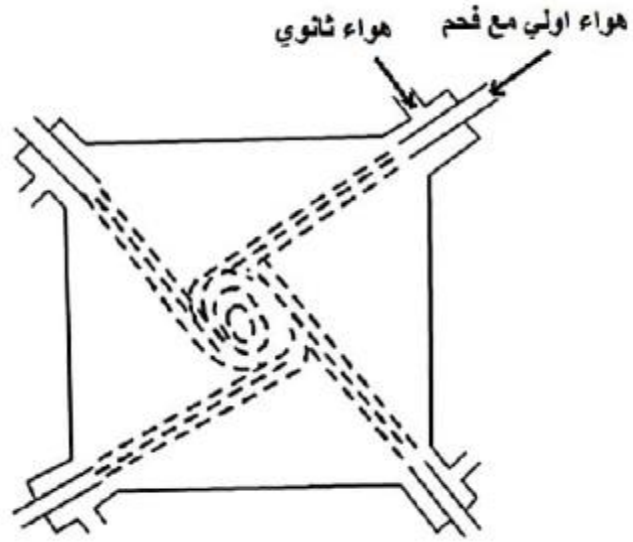


الشكل (٢-٤) مخطط بسيط للطريقة المعلقة

(ج) الطريقة الدوامية Cyclone furnace :

يتمتع أسلوب الإيقاد الدوامي بمميزات خاصة تتلخص في إمكانية المناورة المرنة الواسعة بحمل مولد البخار إن الموقد في هذه الطريقة أسطوانة أفقية أو مائلة مبردة بالماء يتم فيها حرق الفحم المجروش وإطلاق الحرارة بمعدلات عالية جداً وتحت درجات حرارة مرتفعة. وهذا الفرن يستخدم الفحم المسحوق ويكون حجم قطع الفحم هذه نحو ٥mm ، ويتم دفع الهواء في هذه الحالة من فتحات الهواء الأولي مع الوقود، ويوجد أيضاً فتحات الهواء الثانوي. إن ذرات الفحم الناعمة تحترق و هي معلقة في جو الفرن، أما القطع الثقيلة منه فتصطدم بجدران الفرن تحت تأثير القوة النابذة لحركة الهواء داخل الفرن و تتعلق بالخبث المنصهر إلا أنها تتعرض لتيار الهواء الثانوي الذي يلفحها بسرعة عالية، مما يؤدي إلى احتراقها. ونتيجة للاضطراب العالي يحترق الفحم سريعاً ويؤدي ذلك إلى ارتفاع درجة حرارة الفرن إلى درجة حرارة عالية جداً، إن غازات العادم تترك الفرن الدوامي عند الحلق لتدخل إلى الفرن الرئيسي لمولد البخار. ويقوم هذا الفرن بتبريد غازات الاحتراق بامتصاص كمية الحرارة المحمولة من فوائد هذه الطريقة أن كمية الرماد المتطاير الذاهب مع غازات العادم قليلة جداً و من ثم لا تسبب أي تآكل السطوح التسخين والمراوح

السحب واهم مميزات هذا النوع هي أننا نحتاج إلى كمية صغيرة من الهواء لإجراء عملية الاحتراق ويكون معدل الاحتراق عاليا جدا وذا كفاءة عالية.



الشكل (٢-٥) الطريقة الدوامية

٢- أجهزة حرق الوقود السائل:

يتم حرق الوقود السائل وهو معلق في الهواء، ويتطلب ذلك أن يكون الوقود ممزوجاً بشكل جيد مع الهواء حتى يتم احتراقه بصورة سريعة كاملة، ولذلك فإن مهمة أفران الوقود السائل هي :

١- تذير الوقود السائل بصورة جيدة.

٢- تحقيق مزج ذرات الوقود والهواء بشكل جيد.

وحسب طريقة تذير الوقود فإن الفوهات تقسم إلى أربعة أنواع:

١- ميكانيكية ٢- بخارية

٣- هوائية ٤- مختلطة

يتم تذير الوقود بعدة طرق بالتذير الميكانيكي وذلك بالاستفادة من القدرة الحركية للهواء المضغوط أو البخار ويتألف الحاقن الميكانيكي من فتحات يخرج منها الوقود بضغط كبير، ونتيجة السرعة الكبيرة و التباعد الكبير عند المخرج يتحول سائل الوقود إلى ذرات ناعمة. ومن مساوئ هذا النوع أن قطر نقطة الوقود تتأثر مباشرة بضغط الحقن ومن ثم يتدفق الوقود. يمكن أن تقسم الفوهات ذات التذير الميكانيكي إلى المباشرة أو طاردة مركزية أو دورانية.

في الفوهات المباشرة، يتم تذير الوقود بضغطه عبر فوهة ذات قطر صغير جداً بضغط عال نسبياً (M1-2Pa) وفي الفوهات النابذة المركزية يقرر الوقود تحت تأثير القوى الطاردة المركزية الناتجة عن دوران تيار الوقود الذي يدخل بشكل مماسي، إلى حجرة التذير التي تحتوي على فوهة التذير، أو بواسطة مهيئات خاصة عند مخرج الفوهة وفي الفوهات الدورانية، يضخ الوقود ضمن كأس دائر بسرعة عالية، ويجري الوقود على جدران الكأس مشكلاً طبقة رقيقة تصطدم عند نهاية الكأس بتيار الهواء القادم بشكل جانبي فينتشر الوقود على شكل ذرات جاهزة للاحتراق. يعتبر التذير الميكانيكي أكثر اقتصادية من غيره، ولا يزيد استهلاكه من الطاقة عن ١,٥% من إنتاجية مولد البخار في الرذاذات البخارية تستخدم الطاقة الحركية الموجودة بالبخار، أما في الرذاذات الميكانيكية تستخدم مضخة الوقود، ليتم ترذيز الوقود السائل عند تمريره عبر ثقب صغير وبسرعة كبيرة.

٣- أجهزة حرق الوقود الغازي

تصنف اجهزة حرق الوقود الغازي الى مجموعتين رئيسيتين

(أ) Non-aerated Burners المحارق اللاهوائية

(ب) Aerated Burners المحارق الهوائية

والنوع الثاني هو المستخدم في قسم من انواع المراجل البخارية حيث يتم تغذية الوقود الغازي تحت ضغوط عالية حيث يحصل احتراق كمية كبيرة من الغاز في حيز صغير مع إطلاق حرارة بسرعة عالية وهو أمر مطلوب في معظم المراجل البخارية والأفران ويستخدم المحارق الغازية عادة في المراجل الصغيرة حيث تحتوي هذه المراجل على فتحات يدخل منها الغاز المحترق داخل أنابيب وهذه الأنابيب تمر من خلال الحيز المملوء بالماء في المرجل وقد تكون هذه المحارق اما عمودية أو أفقية.

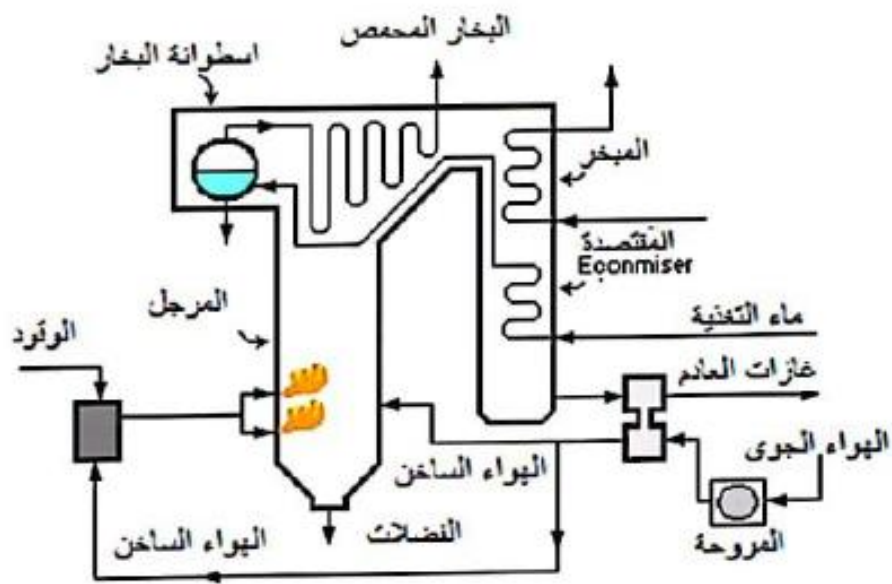
٢-٢ المرجل Boiler

وهو وعاء كبير يحتوي على مياه نقية تسخن لتتحول هذه المياه الى بخار بواسطة حرق الوقود.

وفي كثير من الأحيان يكون الفرن والمرجل في حيز واحد تحقيقا للاتصال المباشر بين الوقود المحترق والماء المراد تسخينه وتختلف أنواع المراجل حسب حجم المحطة وكمية البخار المنتج في وحدة الزمن وقدرة المحطة المطلوبة. وينتقل البخار إلى مستودع لتجميع البخار ويغذي هذا المستودع توربيناً أو محركاً. وبعد مرور البخار من خلال التوربين أو المحرك أو محطة أخرى الأداء المهمة المطلوبة يخرج البخار إلى الجو كما هو الحال في القاطرات البخارية غير أن هذا النظام غير كفء ونادراً ما يستخدم في المحطات العصرية ويستخدم هذا النظام في القاطرات البخارية لكونها متحركة ولا يوجد فيها مجال المعدات ثقيلة لاسترجاع البخار وتكثيفه حيث يمرر البخار بعد أداء المهمة المطلوبة إلى مكثف لتحويل البخار إلى ماء.

ويمكن تلخيص عمل المرجل بأن يغذى الوقود العضوي إلى الفرن (الموقد عن طريق أجهزة حرق الوقود الأفران). فيحترق و تنطلق غازات الاحتراق متجهة عبر ممر الغازات، حيث يكون محمص البخار في طريقها إلى برج التبادل الحراري بالحمل حيث يكون المقصد ومسخن الهواء بطريق مجرى الغازات، ثم بواسطة مروحة سحب غازات الاحتراق، تطرد الغازات من المولد إلى الوسط الخارجي عبر المدخنة.

يعطى الهواء للاحتراق داخل الفرن (الموقد عن طريق مروحة التهوية. بعد أن يتم تسخينه في مسخن الهواء عن طريق غازات الاحتراق المارة عبره. يضخ ماء التغذية بواسطة مضخة التغذية بعد أن يتعرض لمعالجة كيميائية التخليصه من الأملاح المنحلة فيه) وحرارية التخليصه من الغازات المنحلة فيه مثل (O_2 , CO_2) ثم يضخ إلى الموفر، حيث يتم تسخينه هناك إلى درجة حرارة مناسبة لتجنب الصدمة الحرارية) وينتقل بعدها إلى الأسطوانة (Drum)، حيث يتم مزج ماء التغذية القادم من المقتصدة مع الماء القادم من الدارة المغلقة في المولد عن طريق الأنابيب الصاعدة والممزوج مع البخار ينزل الماء عن طريق النازل (الأنابيب الهابطة) إلى المجمعات السفلية، ويسخن بالحمل الحراري والإشعاع والتوصيل من حرارة الاحتراق، ويتحول إلى بخار، وينتقل البخار الممزوج مع الماء المغلي إلى أسطوانة المولد (Drum)، حيث يتم هناك فصل البخار عن الماء.



الشكل (٢-٦) أجزاء المرجل

تتميز مولدات البخار الحديثة بإنتاجها بخارا ذا درجات حرارية عالية وضغوط مرتفعة ومردود عالي، وحرقتها لأنواع رديئة من الوقود، وتنتج المراجل الحديثة بخارا بدرجة حرارة ٦٥٠ و ضغط (٣٢) وبإنتاجية (١٠٠٠) تتألف مولدات البخار من الأجزاء التالية :

١ - المبخر

وظيفته توليد البخار نتيجة لامتناس الطاقة الحرارية الناتجة عن حرق الوقود داخل الموقد . و هو يمثل مجموعة الأنابيب الرأسية الصاعدة الموضوعة على جدران الموقد (جدران المولد الداخلية) . و تتم عملية انتقال الحرارة بين الغاز و اللهب الناتج من جهة . و ماء التبخير من جهة أخرى بواسطة الإشعاع و الحمل الحراري معاً و هي تتصل عادة بمجمع سفلي و آخر علوي و بالاسطوانات.

٢ - المقتصدة (الموفر)

وظيفته رفع درجة حرارة ماء التغذية قبل دخوله المبخر، و هو عبارة عن ملفات أنبوبية، و قد سمي بالمقتصدة لأنه يمتص جزءاً من الطاقة الحرارية المحمولة مع غازات العادم قبل طردها إلى الوسط الخارجي، وتصنع هذه الملفات عادة من الفولاذ، ويتم ترتيب الملفات داخل الموفر على شكل شطرنجي و أحياناً خطي.

٣ - مسخن الهواء

بعد أن تم تسخين ماء التغذية بواسطة الموفر و ذلك بالاستفادة من حرارة غازات العادم، فإنه من الممكن أيضاً الاستفادة من جزء من الطاقة الحرارية المحمولة مع غازات العادم من أجل تسخين هواء الاحتراق، تتم هذه العملية في أجهزة سميت مسخنات الهواء أن تسخين هواء الإحتراق يؤدي إلى رفع درجة حرارة

القرن و تقليل زمن الإشعال و من ثم يساعد على تسريع عملية الاحتراق و منه تحسين مردود الاحتراق في المرجل، ويوجد نوعان من مسخنات الهواء هي مسخنات الهواء الدوارة و مسخنات الهواء الثابتة.

٤- المحمص:

وظيفته تسخين البخار المشبع الناتج القادم من المبخر حتى درجة الحرارة المطلوبة و بالتالي الضغط المطلوب و المحمص يرفع جودة البخار المطلوب و يمكن أن يحوي مولد البخار على محمص واحد أو أكثر و يمكن تقسيم المحمصات تبعاً لعملية انتقال الحرارة فيها إلى :

محمصات حملية : انتقال الحرارة فيها بالحمل الحراري

محمصات إشعاعية : انتقال الحرارة فيها بالإشعاع الحراري

محمصات مختلطة : انتقال الحرارة فيها بالحمل و الإشعاع الحراري .

٥- الاسطوانة :

تحتوي معظم مولدات البخار القديمة اسطوانة واحدة أو أكثر مهمة هذه الاسطوانات تخزين ماء التغذية و فصل البخار عن الماء. تشكل الاسطوانات في مولدات البخار القديمة الجزء الأساسي و هي باهظة الثمن نظراً لسماكة المعدن المطلوب لصنعها لأنه غالباً ما يكون مشروطاً بتحملة الضغط عالي، أما في مولدات البخار الحديثة فإنه تم الاستغناء بشكل جزئي عن الاسطوانات أو استخدام مولدات بخار تحوي اسطوانة واحدة علوية فقط .

التوربين البخاري (Turbine) :

وهي عبارة عن عمود من الصلب لها محور الشكل (٨٢)) ويوصل به جسم على شكل أسطواني مثبت به ريش مقعرة يصطدم فيها البخار فيعمل على دورانها ويدور المحور بسرعة عالية جدا حوالي ٣٠٠٠ دورة بالدقيقة وتختلف التوربينات في الحجم والتصميم والشكل باختلاف حجم البخار وسرعته وضغطه ودرجة حرارته ، أي باختلاف حجم محطة التوليد.



الشكل (٧-٢) صورة فتوغرافية لأحد التوربينات البخارية الكبيرة تحت الصيانة

المولد الكهربائي (Generator)

هو عبارة عن مولد كهربائي مؤلف من عضو دوار مربوط مباشرة مع محور التوربين وعضو ثابت ويلف العضوين بالأسلاك النحاسية المعزولة لتقطع الحقل المغناطيسي الدوار وتحوله إلى تيار كهربائي على أطراف العضو الثابت ويختلف شكل هذا المولد باختلاف حجم المحطة. وتستخدم المولدات الكهربائية التزامنية في محطات التوليد لتحويل القدرة الميكانيكية إلى قدرة كهربائية. يوصل كل مولد بتوربين بخاري عبر عمود لنقل الحركة ليدور بنفس السرعة ان التوربينات البخارية تكون على محور واحد مع المولد وبذلك فإن سرعة دورانها مرتبطة بسرعة دوران المولد والعكس بالعكس وبما ان مولدات محطات القدرة هي مولدات تزامنية فإن سرعتها تحكمها المعادلة الآتية:

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{P}$$

حيث أن :

N_s : سرعة دوران المولد بالدقيقة.

P : عدد أقطاب المولد التزامني.

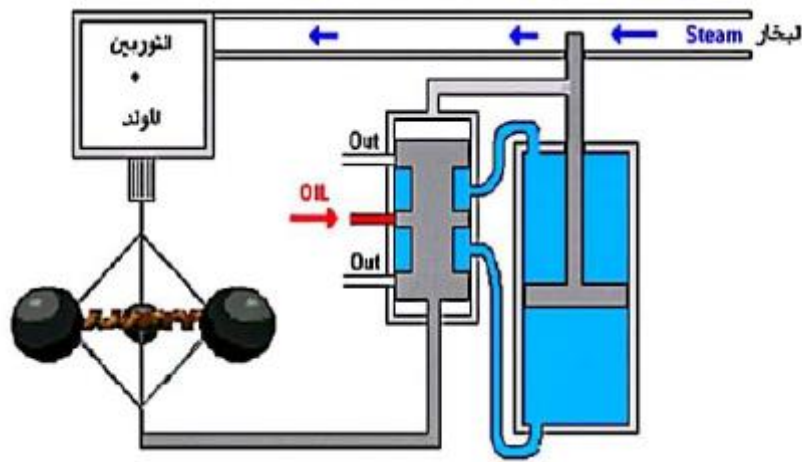
f : تردد التيار الكهربائي بالهيرتز.

فعندما يكون مقدار التردد ٥ لمولد ذي قطبين تكون السرعة (٣٠٠٠) دورة في الدقيقة للمولد والتوربين ومن الواضح إن العلاقة تتغير تبعا لتردد المنظومة فعند انخفاض التردد بسبب زيادة الحمل فان سرعة المولد تنخفض مما يتطلب انخفاض سرعة التوربين وعلى العموم يوجد نظام تحكم في سرعة التوربين والمولد بالتحكم في ضغط البخار الداخل إلى التوربين وذلك عبر صمام يعمل بنظام ميكانيكي هيدروليكي

بسيط كما مبين في الشكل (٢-٩) ويعتمد هذا النظام على الحاكم Governor وهو عبارة عن ثقلين يدوران بنفس سرعة المولد ويتحكمان في صمام البخار بنظام هيدوليكي يمكنها من زيادة الفتحة عند انخفاض السرعة أو التقليل منها اذا زادت السرعة مما يجعل السرعة ثابتة في المستوى المحدد لها مهما تغير العزم.

ترتفع حرارة المولد عند التشغيل إلى درجة كبيرة مما يستدعي استخدام نظام تبريد ذي كفاء عالية. ويختلف نظام التبريد من مولد إلى آخر حسب قدرة وحجم المولد. تعتمد المولدات ذات القدرات المنخفضة والمتوسطة على نظام تبريد بالهواء فيما يستخدم الهيدروجين السائل في المولدات ذات القدرة العالية. بعض هذه المولدات تستخدم نظام مزدوج للتبريد يعتمد على الهواء والهيدروجين في نفس الوقت.

ويمكن تقسيم المولدات التزامنية على حسب



الشكل (٢-٨) نظام ميكانيكي للتحكم في سرعة التوربين والمولد

أ- **المحرك الأولي المستخدم** : ويقصد به التوربين المستخدم لتحويل طاقة الوقود إلى طاقة ميكانيكية والتي يمكن تقسيمها إلى الأنواع الآتية:

١- مولدات تعمل على التوربينات البخارية.

٢- مولدات تعمل على التوربينات الغازية.

٣- مولدات تعمل على التوربينات المائية.

٤- مولدات تعمل على محركات الاحتراق الداخلي (الديزل).

٥- مولدات تعمل على تحويل الطاقات المتجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح الى طاقة كهربائية.

وفي الواقع لا توجد فروقات كبيرة بين الأنواع أعلاه كونها تعتمد على الطاقة الدورانية التي يستلمها المولد.

ب - تقسم المولدات حسب تردد القوة : تردد القوة الدافعة الكهربائية والتي يمكن تقسيمها إلى الأنواع

الآتية:

١- مولدات تعمل على تردد ٦٠ هيرتز.

٢- مولدات تعمل على تردد ٥٠ هيرتز

ويختلف التردد الناشئ باختلاف سرعة الدوران للتوربين واختلاف عدد الأقطاب المولدة للمجال

المغناطيسي. تتركب المولدات التزامنية كما في الشكل (١٠٢) من الأجزاء الرئيسية التالية:

١- العضو الدوار : يتكون عادة من شكل اسطواني وتوضع عليه ملفات المجال والتي تكون عبارة عن

أقطاب بارزة السرعة المنخفضة أو أقطاب غاطسة (السرعة العالية وتغذي تلك الأقطاب بالتيار المستمر

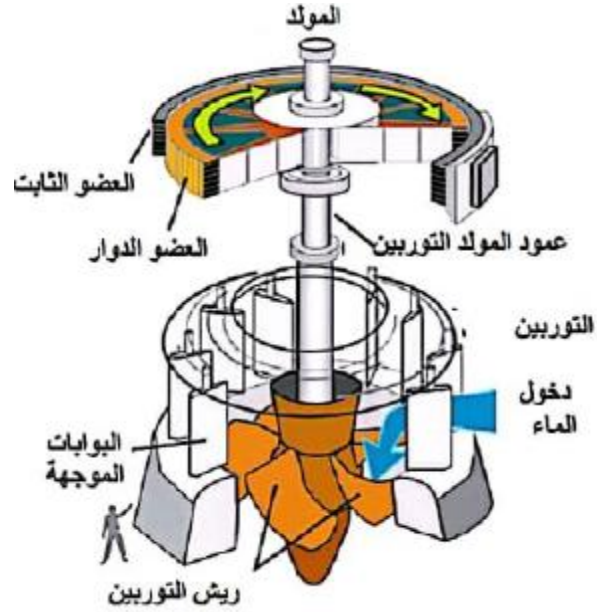
وذلك لتوليد مجال مغناطيسي ثابت القيمة وتكون تلك التغذية من خلال فرش



الشكل (٢-٩) مولد القدرة التزامني

وحلقات انزلاقية أو باستعمال الدوائر الموحدة للتيار دوائر تغيير التيار المتناوب إلى تيار مستمر وأحيانا تكون تغذية ملفات المجال المغناطيسي تغذية ذاتية. ويستخدم هذا النوع من المولدات ثنائي الاقطاب او رباعي الاقطاب عندما يكون المحرك الأولي عبارة عن توربين بخاري عالي السرعة ويتم توصيل التوربين للمولد عن طريق عمود دوران على شكل اسطوانة لها طول محوري كبير وقطر صغير نسبيا وذلك للحد من مقدار القوى الطاردة المركزية.

وعندما يكون لمحرك الأولي عبارة عن توربين مائي او معتمد على طاقة الرياح تكون السرعة أبطى ويلزم استخدام عدد أقطاب أكثر. ولذلك فان العضو الدوار يصمم بحيث يكون من الأقطاب البارزة ويكون بطينا وقطره كبير جدا، وطول محوره صغير نسبيا وعادة يكون عمود الدوران الخاص بالتوربين والمولد في وضع راسي مع وضع التوربين أسفل المولد.



الشكل (٢-١٠) مولد القدرة في محطات القدرة المائية ويلاحظ وضعه اعلى التوربين

ويحتوي العضو الدوار على أقطاب عددها زوجي وتوجد داخل هذه الأقطاب فجوات توضع فيها موصلات ملفات المجال المغناطيسي وتغذي تلك الملفات من مصدر يمكن التحكم في جهده. وتمحل الملفات الموجودة تحت قطب واحد ذي تيار مستمر ذي اتجاه واحد ويتغير اتجاه التيار المستمر من قطب الى اخر. ولذلك تكون القوة الدافعة المغناطيسية الخاصة بالعضو الدوار مترددة القيمة حول محيط المولد ويرمز للمجال المغناطيسي الخاص بملفات العضو الدوار بالمحور المباشر ويرمز للمحور العمودي عليه بمحور التعامد.

٢ - العضو الثابت

يتكون من هيكل خارجي وغطاءين جانبيين ومثبت بالمحيط الداخلي للهيكل رقائق حديدية لها فتحات موجودة على إبعاد متساوية وموزعة على السطح الداخلي الكلي للعضو الثابت. وتقسم ملفات عضو الإنتاج إلى ثلاثة ملفات متماثلة خاصة بالأطوار الثلاثة. وتكون تلك الملفات ثلاثة دوائر كهربائية بين كل منها ١٢٠ وتوصل على شكل نجمة والتي توصل عادة بالأرضي.

٣- ملفات الإخماد

بالإضافة الى ملفات المجال وملفات عضو الإنتاج فان جميع المولدات التزامنية يتم تزويدها بملفات احماذ في العضو الدوار وهذه الملفات مكونة من أقفاص سلكية موصلة كدائرة قصر ومشابهة الملفات القفص السنجابي الخاصة بالمحركات الحثية. وتدخل تلك الملفات عملية التشغيل عند حالات القصر الكهربائي .

المكثف (Condenser)

وهو عبارة عن وعاء كبير من الصلب يدخل إليه من الأعلى البخار الخارج من التوربين بعد أن فقد الكثير من ضغطه ودرجة حرارته، كما يدخل من أسفل هذا المكثف تيار من مياه التبريد داخل أنابيب حلزونية تعمل على تحويل البخار الضعيف إلى مياه حيث تعود هذه المياه إلى المراجل مرة أخرى بواسطة مضخات خاصة والتي يمر الماء الى مستودع الماء الذي يغذي المرجل وبما ان المرجل يعمل تحت ضغط عالي يجب إن يرفع ضغط الماء قبل دخوله إلى المرجل. ويتم ذلك بمضخة تدعى مضخة التغذية وبهذا يرجع الماء إلى المرجل وتحدث هناك بعض الخسائر في كميات الماء المطلوبة يتم تعويضها باستمرار وأن من اهم فوائد استخلاص البخار في المكثف هي :

١- يمكن استخدام المكثف بضغط يقل كثيرا عن الضغط الجوي ويعني هذا أن بإمكاننا الحصول على تمدد أكبر للبخار مما يؤدي إلى انجاز شغل أكبر.

٢- يمكن معالجة الماء في المكثف لاختزال تكوين القشرة الكلسية. أن تكوين القشرة الكلسية فيالمرجل يعترض سبيل انتقال الحرارة من الفرن إلى الماء مما يؤدي إلى تقليل كفاءة المرجل وقد يؤدي ذلك الى زيادة درجة الحرارة موضعيا مما يؤدي إلى حدوث إضرار وقد يؤدي ذلك إلى حدوث انفجارات في منطقة

مجاورة إذا كانت درجة الحرارة كبيرة. يبرد المكثف بتمرير ماء بارد من خلال توفر مصدر وافر قريب للمياه كنهر مثلا او بحيرة وقد تواجه بعض المشاكل بسبب تلوث الماء الذي يكون على شكل دخول طين أو بعض الأسماك إلى المكثف. وتستخدم المرشحات لحل هذه المشكلة وبخلاف ذلك سوف تسد منافذ الماء البارد، كما قد يتلوث النهر أو البحيرة نفسها بسبب الماء الحار الخارج من المحطة ويؤثر ذلك على الحياة البيئية ويلجأ في هذه الحالة إلى استخدام أبراج التبريد الشكل (٢-١٢) لتبريد الماء قبل أعاده طرحه الى البحيرة أو النهر.

هناك نوعان أساسيان من المكثفات وهما:

١- المكثف السطحي (Surface Condenser)

٢- المكثف النافوري (النفثي) (Jet Condenser).

في المكثف السطحي، يمر البخار الذي يراد تكثيفه فوق عدد كبير من الأنابيب التي يجري فيها ماء التبريد كما في الشكل (. يتكثف البخار على سطح الأنابيب إنشاء فقدانه المحتواه الحراري الذي يكتسب من ماء التبريد الذي يجري في الأنابيب. ويترك المكثف كلا من البخار المكثف وماء التبريد منفصلين .

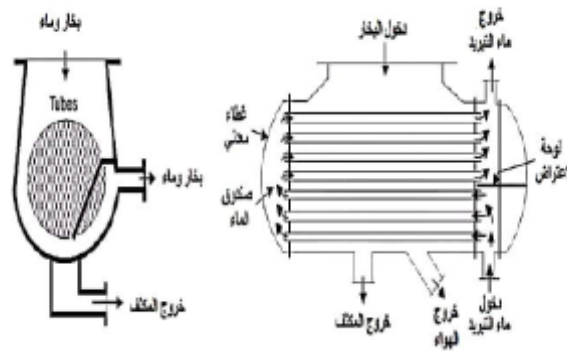
في المكثف النافوري ، يتلامس بخار الماء الذي يراد تكثيفه مع ماء التبريد مباشرة والذي غالبا" ما يكون على هيئة رذاذ من نافورة . يفقد البخار نتيجة ذلك محتواه الحراري إلى ماء التبريد ويغادر المكثف مع ماء التبريد.

كلا النوعين من المكثفات يمكن تشغيلها بصفة مكثف جاف او مكثف مبتل. ففي المكثف المبتل يزال أي غاز لا يذوب في البخار المكثف وماء التبريد في حالة المكثف النافوري بالمضخة نفسها التي تعالج

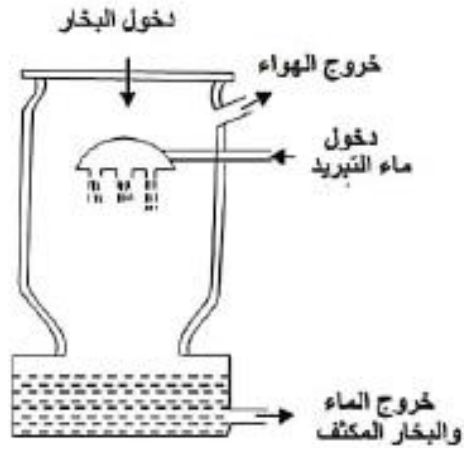
البخار المكثف في المكثف الجاف يزال الغاز أو البخار المكثف وماء التبريد في حالة المكثف النافوري (منفصلين.



الشكل (١١-٢) أبراج التبريد المستخدمة في محطات القدرة



المكثف السطحي



المكثف النافوري

ويمكن تقسيم المكثفات تقسيماً آخر بصفة دالة لاتجاهات الجريان النسبية للبخار المكثف وماء ، فهناك ثلاثة احتمالات :

١ - الجريان المستعرض Transverse Flow

والذي فيه يجري السائل عمر (across) ماء التبريد هذا ممكن في المكثفات من النوع السطحي فقط.

٢ - الجريان المتوازي Parallel Flow

والذي فيه يجري البخار في نفس اتجاه جريان سائل التبريد .

(٣) الجريان المعاكس (Counter Flow)

والذي فيه يجري البخار في عكس اتجاه جريان ماء التبريد.

ويمكن تقسيم المكثفات تقسيماً آخر مبنياً على طريقة إزالة البخار المكثف من المكثف هنا كاحتمالان :

١ - المكثف البارومتري- Barometric Condenser

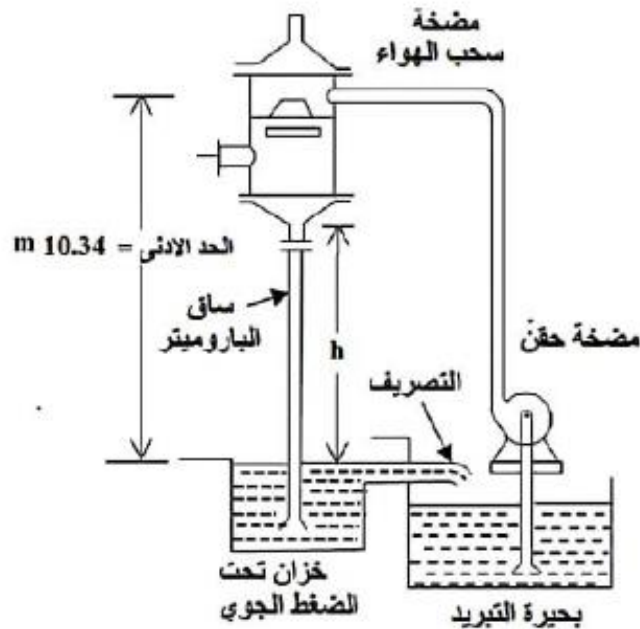
ان مبدأ التشغيل في هذه الحالة مبين في الشكل (١-١٢) يثبت المكثف في هذه الحالة على انبوب طويل والذي غالبا ما يكون طوله $10,34\text{m}$ في الأقل. والأنبوب الطويل يدعى الساق البارومتري ، وتعمل بطريقة مشابهة جدا" للبارومتر . وقد سبق وان بينا في الفصل الأول انه في حالة استعمال الماء في البارومتر عندئذ سيكون ارتفاع البارومتر $10,34\text{m}$ ، ولكن إذا سلطنا ضغطا" موجبا" اقل من الضغط الجوي على الماء في الأنبوب من الأعلى بدلا من الفراغ كما في حالة المكثف ، عندئذ سوف يكون ارتفاع الماء في الأنبوب اقل من $10,34$ حيث ان ارتفاع الماء هو دال لدرجة الفراغ في اعلى الأنبوب في الشكل (١-١٢) ان استعمال الساق البارومترية في المكثف يمكن البخار المكثف من الخروج من الأنبوب بالجاذبية الأرضية الى المستودع في الأسفل . وتكون الساق البارومترية مغمورة بعمق في الماء في المستودع ويفرغ المستودع بأنبوب تكون فتحة الدخول فيه عالية للحفاظ على الضغط ومن ثم التفريغ سريعا". بهذا الطريقة لن يكسر الفراغ في المكثف.

٢ - (The Low Level Condenser) مكثف المستوى الواطئ

في هذا النوع من المكثفات ، يزال البخار المكثف بمضخة ويكون استعمال هذا النوع من المكثفات ملاما" عندما لا يكون هناك ارتفاع كاف لنصب مكثف بارومتري .

في المكثف السطحي ذو جريان مستعرض يدخل البخار إلى اعلى المكثف ويزال من الأسفل بعد تكتيفه على سطح انابيب الماء أن الدخول والخروج في هذه الحالة يكون عند النهاية نفسها من المكثف ومنه فإن الماء يمر مرتين من خلال المكثف. ويستخلص الهواء من المكثف من أحد الجانبين كما هو موضح من الشكل وتكون نقطة استخلاص الهواء مغطاة بالواح اعتراضية للحصول على أقصى حد من الفصل بين

البخار المكثف والهواء . ان المكثف الموضح هو من النوع الجاف حيث يستخلص فيه كل من البخار المكثف والهواء بشكل منفصل.



الشكل (١١-١) المكثف البارومتري

ان الشكل (١١-١) يوضح مكثفا نافوريا بسيطا يتكون من اسطوانة طويلة تحتوي على الواح اعراضية متقبة. هذه الألواح مثبتة على جانبي الاسطوانة بالتناوب. وتغطي تقريبا " نصف المساحة المقطعية للاسطوانة . ويدخل ماء التبريد الى الاسطوانة على هيئة رذاذ من النهاية العليا من المكثف . وتساعد الألواح الاعراضية المتقبة على الحفاظ على هيئة الرذاذ هذه على طول المكثف. ويدخل البخار من النهاية السفلي للمكثف. وبسبب كثافته الواطئة سوف يبدأ البخار بالصعود من المكثف ومن خلال ستائر الماء الرذاذية، وبذلك سيتكثف البخار ويسقط الرذاذ مع البخار المكثف الى أسفل المكثف وهناك يستخلصان أن هذا المكثف من النوع الجاف.

الفصل الثالث

التحكم في البخار الداخل إلى التوربين

يتم التحكم في البخار الداخل إلى التوربين بشكل أساسي من خلال نظام (Gover hat) الذي يضبط كمية التدفق للحفاظ على السرعة المطلوبة يعمل هذا النظام تلقائياً استجابة لن تغيرت الحمل أو التردد في الشبكة.

مكونات التحكم الرئيسية

يشمل النظام صمام الدخول (inlet valve) مثل صياح الخنف (Control Valve) و صمامات التنظيم (Throttle Valve) التي تفتح تدريجياً لتنظيم تدفق البخار إلى المرحلة الأولى من الشفرات كما يوجد حاكم سرعة زائدة Cover speed adverten يخلف الصمامات فوراً إذا تجاوزت السرعة والله من القيمة المحددة.

تستخدم عادة ٤-٥ صحنات صمامات تنظيمية في صندوق البخار (Steam chest) لضمان كماء عاليه وتوقيت دقيق اثناء تغير الحمل.

آليه العمل :-

يقيس الحاكم سرعة الدوار ثم يعدل إشارة الاخراج لفتح أو إغلاقه الصمامات مما يغير مساحة الدخول للمار ويحافظ على التوازن بين الطاقة الناتجة.

والحمل الخارجى من حالات التحكم الجانبي (BY PASS) يحول جدا من البخار الى مراحل لاحقة لتحسين الكفاءة.

أنواع أنظمة التحكم :-

التحكم بالخنق (Throttle Core rhing) يدخل التجار غير صمامات خائفه تفتح على التوالي.

التحكم الجانبي للبخار الزائد (By – Pass) يتجاوز المرحلة الأولى للبخار الزائد.

يضمن هذا التحكم التشغيل الام أثناء البير والتغيرات في الحمل مع حماية الرطوبة أو السرعات الزائدة.

التحكم في الغلاية

يهدفالرضمايه توليد آمار يضغط ودرجة حرارة ثابتين مع الحفاظ على السلامة واللقاء التشغيلية يعتمد ذلك

على عدة انظمه تحكم.

الانظمة الرئيسية للتحكم :-

أ- نظام إدارة الشعلة BM's Burner Management syster

الوظيفة : حماية الفريق وضمان تشغيلها الأمن

- يعتمد على شروط الصادمة ومراقبة مستمرة للشعلة.

- يمنع إهدار الوقود في حالة عدم توفر شروط السلامة مثل وجود الهواء الكافي.

- يغلق صمامات الوقود خود فقدان الشعلة أو ظهور أي خلل.

ب- نظام التحكم في من الاعتراف-Combustion, Enutel

الوظيفة : ضبط نسب الوقود والمواد لتحقيق احتراق مثالي لعلية ما عالية

المعادلات الاساسية

١- التحكم في تدفق الوقود

حيث : معدل تدفق الوقود (كجم / ثانيه) الحمل المطلوب (ميجاوات)

٢- التحكم في تدفق الهواء

نسبة الهواء الى الوقود . معدل تدفق الهواء (كجم/ثانيه)

٣- ضبط نفسيه الاكسجين (O2,Trin)

يستخدم حلقات تحكم PID ، لضبط تدفق الوقود والهواء بدقه

ج- نظام التحكم في تغذية المياه

If wcs-Feed water Control system

الوظيفة : المحافظه على مستوى ثابت للمياه في اسطوانه البخار (Steam Drum)

حيث ، يكون حجم المياه في الاسطوانه، معدل تدفق الحياة الخارج

يعتمد على التحكم بعناصر ثلاثية Three Element control

تشمل مستوى المياه - تدفق البخار الخارج - وتدفق المياه الداخل

- معادلة التحكم في تدفق المياه الداخل

حيث: الخطا بين المستوى المطلوب والمقاس

د- نظام التعليم المركزي الموزع

DCS–Distributed Control system

مراقبه وتحكم شامل ومركزي لجميع أنظمه الغلاية

الوظيفة : يوفر واجهه تشغيل مركزيه لعرض البيانات الحية الانذارات و متحكم يدوى وآلى

النظام	الوظيفة	الاجهزة الرئيسية	نوع التحكم
Bms	صافي التشغيل الامن	صمامات اغلاق	تحكم تشغيل
		مبيعات الشعلة	ايقاف امن
CCs	ضبط نسبة الوقود والهواء	صمامات الوقود مراوح الهواء جهاز قياس	تحكم pid متقدم
Fwcc	المحافظة على مستوى المياه	صمامات مستوى تدفق البخار . تدفق المياه	تحكم pid ثلاثي العناصر
Dcs	الاشراف والمراقبة المركزية	شاشات تحكم نظم تسجيل البيانات	تحكم ومراقبة مركزي

مثال عملى على نظام التحكم الثلاثي العناصر عند زيادة الحمل

١- يزداد تدفق الثمار الخارج (Fs)

٢ - يتحقق منسوب المياه فى الاسطوانة (L)

٣- يستجيب نظام التحكم يفتح صمام تغذية المياه (Fw) لتعويض البخار الخارج

٤ - تستقر القيم عندما تتوازن التدفقات ويعود المستوى للمعدل المطلوب

النظام المتكامل للتحكم في الغلاية والتوربين (Boiler-Turbine Unit Control)

في محطات القدرة البخارية مصاغ بأسلوب علمي ومنظم يغطي الجوانب التقنية والديناميكية.

مقدمة :

لم يعد ينظر إلى الغلاية والتوربين كجزأين منفصلين بل كوحدة ديناميكية واحدة مرتبطة برابط وثيق التحدي الأكبر يكمن في أن الغلاية تمتلك عطالة حرارية (Thermal Inertia) عالية، أي أنها تستغرق وقتاً طويلاً للاستجابة لتغيير الاحتراق، بينما التوربين يمتلك استجابة ميكانيكية فورية.

النظام المتكامل هو المسؤول عن جسر هذه الفجوة الزمنية لضمان استقرار التردد الكهربائي مع الحفاظ على سلامة المعدات.

المكونات الديناميكية للنظام يتكون النظام المتكامل من حلقتين أساسيتين تؤثر كل منهما على الأخرى بشكل مستمر

١. جانب الغلاية (The Boiler Side)

يعمل كمولد للطاقة الكامنة عبر التحكم في تدفق الوقود الهواء، ومياه التغذية. المتغير الأساسي هنا هو ضغط البخار وهو المؤشر (Steam Pressure) على توازن الطاقة داخل الغلاية.

٢- جانب التوربين (The Turbine Side)

يعمل كمستهلك للطاقة ومحول لها إلى شغل ميكانيكي. المتغير الأساسي هنا هو سرعة الدوران (Speed) أو القدرة المولدة (MW)، ويتم التحكم فيها عبر فتحات صمامات التحكم (Governor Valves)

استراتيجيات التحكم المتكامل (Control Strategies)

تحدد استراتيجية التحكم كيفية توزيع إشارة طلب الحمل (Unit Load Demand) بين الغلاية والتوربين

أولاً: نظام اتباع الغلاية (Boiler Follow Mode)

في هذا النظام، عندما يتغير الحمل المطلوب، تفتح صمامات التوربين فوراً للاستجابة. هذا يؤدي إلى انخفاض مفاجئ في ضغط البخار، فتقوم الغلاية لاحقاً بزيادة الاحتراق لتعويض هذا النقص.

الميزة: استجابة سريعة جداً للشبكة الكهربائية.

العيب: عدم استقرار ضغط الغلاية مما قد يعرض الأنابيب للإجهادات حرارية.

ثانياً: نظام اتباع التوربين (Turbine Follow Mode)

هنا، يتم تغيير معدل الاحتراق في الغلاية . أولاً، وعندما يرتفع الضغط، يفتح التوربين

٢. التمدد والانكماش (Shrink and Swell)

عند زيادة الحمل فجأة، ينخفض الضغط داخل "درام" الغلاية، مما يؤدي لتمدد فقاعات البخار تحت سطح الماء فيظهر مستوى الماء وكأنه ارتفع (Swell). نظام التحكم المتكامل يجب أن يكون ذكياً بما يكفي لعدم تقليل مياه التغذية في هذه اللحظة، بل زيادتها تحسباً للتبخّر القادم.

٣. الإجهاد الحراري (Thermal Stress Monitoring)

النظام المتكامل يتضمن وحدات المراقبة الفرق في درجات الحرارة بين جدران التوربين والبخار الداخل. إذا كان الفرق كبيراً، يقوم نظام التحكم تلقائياً بتقييد سرعة تغيير الحمل (Ramp Rate) لحماية ريش التوربين من التصدق.

دور التقنيات الحديثة في التكامل تعتمد المحطات اليوم على نظام التحكم الموزع (DCS) الذي يسمح بمعالجة آلاف الإشارات في أجزاء من الثانية. يتم استخدام تقنيات مثل:

Feed-forward Control: التنبؤ بالاضطرابات قبل وصولها للتوربين

Adaptive Control: بارامترات التحكم بناءً على تقادم المعدات . أو تغيير جودة الوقت

الميزة: حماية فائقة للغلاية والحفاظ على ضغط ثابت وآمن.

العيب: استجابة بطيئة جداً لتغيرات الحمل، مما يجعلها غير مثالية للربط مع شبكات كهربائية متذبذبة.

ثالثاً: نظام التحكم المنسق CCS – Coordinated Control System

هو النظام الأكثر تقدماً، حيث يتم إرسال إشارة الحمل إلى الغلاية والتوربين في آن واحد. يتم موازنة الاستجابة الميكانيكية السريعة للتوربين مع الاستجابة الحرارية البطيئة للغلاية من خلال خوارزميات تحكم متطورة تمنع تدهور الضغط أو تجاوز درجات الحرارة المسموحة.

التحديات والظواهر الفيزيائية في التحكم المتكامل :

١. ظاهرة تخزين الطاقة (Energy Storage in Boiler)

عند فتح صمامات التوربين فجأة، يتم سحب البخار المخزن في الأسطوانة (Drum) والأنابيب. هذا يوفر طاقة فورية قصيرة المدى، لكن يجب أن يتبعه فوراً زيادة في إنتاج البخار من الاحتراق لتجنب انهيار الضغط.

٢. التمدد والانكماش Shrink and Swell

عند زيادة الحمل فجأة، ينخفض الضغط الفرق في درجات الحرارة بين جدران التوربين والبخار الداخل. إذا كان الفرق كبيراً، يقوم نظام التحكم تلقائياً بتقييد سرعة تغيير الحمل (Ramp Rate) لحماية ريش التوربين من التصدق.

دور التقنيات الحديثة في التكامل تعتمد المحطات اليوم على نظام التحكم الموزع (DCS) الذي يسمح بمعالجة آلاف الإشارات في أجزاء من الثانية. يتم استخدام تقنيات مثل:

Feed-forward Control التنبؤ بالاضطرابات قبل وصولها للتوربين

Adaptive Control: بارامترات التحكم بناءً على تقادم المعدات أو تغير جودة الوقود.

مقارنه بين أنظمة التحكم الحديثة والقديمة في محطات القدرة البخارية

اولا : الاستجابة والاداء الديناميكي :

انظمه السلم القديمة (الميكانيكية - العبير وليلية والتناظرية) :

- ١- سرعة الاستجابة المحدودة : تعتمد هذه الانظمة على وصلات ميكانيكية (مثل الكاسات والترتير كات) وقيتها الترين الصدر وليلي . بسبب القصور الذاتي للمكونات الميكاتيليه ولزوجه الرياء يكون هنالك دائماً فارق زمنى مينا - بين حدوث التغير في العمل ورد فعل مسامات الثورية البخارية .

٢- الدقة المتخفضة وعدم الاحتكاكية الاستقرار : ثمانى النجمة الانظمه القديمه من ظاهرة التباطؤ الميكانيلى والمنطقة الميه بسبب الاشكال في الوصلات الميكانيكية مما يؤدى إلى صعوبة تبيين تردد الشبكة عند قيمة محدودة بدقة (مثل ٥٠ هيرتز) وغالباً ما تتأرجح حول النقطة المطلوبة دون الوصول اليها بدقة .

٣- نظام التحكم المدرود : لا تستطيع هذه الانظمه تيفيت استراتيجيات تحكم مقدسه مثل التحكم النيون او التليفى و تقتصر فقط على حلقات السلم التناسبي التكاملى التفاضلى البسيطة (PID) التى لا يمكن تغيير إعداداتها اثناء التشغيل.

الانظمة التحكم المدينة الرقمية - الموزعة :

الاستجابة الفائقة السرعة : تعتمد على المعالجات الاول الدقيقه وبروتوكولات الايصال عاليه السرعة - بمجرد استشعار تغير العمل عبد المحولات التركيه ، يصدر امر قبح اعلى الله الهدمات خلال اجزاء من الثانية - تشير الى ان التحكم الرقمية تقلل بشكل كبير من زمن تأخير الاشارة مقارنة بالانظمه الهيروليكية البحتة.

دقه عاليه في التحكم بالسيد : تستخدم خوارزميات ذكيه تقوم بتعويض الاحتكاك الميكانيكى ونصفيه الاشارات المشوشة ، ما يسمع بشبين بسرعة الثورية والتردد بدقة متناسبه واستقرار أعلى بكثير اثناء تقيد أن العمل المعادية.

٣- القدره على التحكم التتوى والتليفى: تتبع الأنظمة الرقية تنخير خوارزميات معقده تتنبأ بسلوك المرجل والتوربين وتصحح المسار قبل حدوث الانحراف اسما ببسة استقلال الوقود ويطيل عمر المعدات الدوارة.

ثانياً : الصيانة والتشغيل :-

انظمة التحكم القديمة :

١- تصير تعقيد الصيانة وارتفاع تكاليفها : تتطلب معاند ميكانيكه دوريه للتامات والوصلات وتغيير المرشحات وقله براكز ش المير وليلى بشكل متكرر ويؤكد المراجع ان انظمة التحكم التناظرية التي مضى عليها اكثر من ٢٠ عاما اصبحت غير موثوقه ومكلفه فى الصيائه بسبب ندرة القطع.

٢- صعوبة تشخيص الاعطال : عند حدوث عطل في بطاقة الكترونية تناظرية او شريب هيدروليكي ، يحتاج مهندس الصيائه إلى فحص المخططات الورقية المعقده و استخدام أجهزة قياس متعددة لقصص كل نقطه على حده ، مما يطيل فتره توفيق الوحدة عن العمل. ويشار إلى ان ايجاد خيرات فنيه قادرة على حياتاه هذه التقنيات القديمة اصبح تحيا كبيرا.

٣- محدوديه عمر المعدات : تعتبر المكونات الميكانيكية عرضه للتآكل والاهتراء بشكل طبيعي مما يستدعى على إجراء عمران دورية مكلفة للتوربينة.

انظمة التحكم الحديثة :

١- التشخيص الذاتي الفوري : من اعظم مزايا الأنظمة الرقمية هو احتوائها على برمجيات تشخص رائي . (- Diagnostis self) بمجرد حدوث خطأ في احدى قنوات الادخال أو كارت الاخراج ، يقوم النظام بإرسال إنذار فوري يحدد موقع العطل بدقه (مثلاً ، عطل في كارت رقم ٣ في الرق ٢) هذا يقلل زمن الاصلاح بنسبة تصل ٧٠%.

٢- التبديل السريع للقطع (Hat-swap) : يمكن تفسير المكونات الالكترونية المعطله (كارثات الادخال والإخراج أثناء تشغيل المحطة دون الحاجة الاطفائها ، وهو امر مستحيل في الانظمة الهيدروليكية القديمة .

٣- التصميم المعياري (Malular) : تقتصر على مكونات قياسية متوفرة في السوق ، مما يقلل من المخزون الراكد من قطع الغيار ويبسها عمليات الصيانه بشكل كبير.

ثالثا: التكلفة الإجمالية :

انظمة التحكم القديمة :

١- تكلفة استثمارية اوليه منخفضه (غارقه): نظرا لأنها موجوده اصلاً من بناء المحطه - قلا يوجد اتفاق رأسمالي جديد عليها في الوقت الحالي.

٢- تكلفة تشغيليه مرتفعه جدا على المدى الطويل : تنحصر هنا فى بندين رئيسيين : الأول استهلاك الوقود الاضافي الناتج عن عدم دفعة التحكم احيا يؤدي العراق ١% في الكفاءة الحرارية إلى الاف الدولارات (يوسيا) - والثاني هو تكلفة توقف الوحدة عبد المخطط له ، حيث ان اي عمل مفاجئ في التوربينه البخارية يقدره ٢٠٠ ميجاوات قد يتلف سلاستا الدولارات يومياً من القرامات وفقدات الايرادات. وتشير الدراسات إلى أن تكاليف حياته الانظمه المتقادمة قد تجعل استبدالها كاملاً ارخص من الاستمرار في اصلاحها.

٣- مخاطر عدم توقد قطع الغيار :بعض مكونات الانظمة القديمه لم تعد تصنع ، مما يجبر المحطه على الشراء من السوق السوداء بأسعار خيالية أو الديوء لتصنيع قطع مقلده غير مضمونه .

أنظمه التعلم الحديثه :

١- تكلفة استثماريه مرتفعه : تشمل تكلفة الاجهزة والبرمجيات و تركيبا اجهزه استشعار جديده وهندسة النظام.

٢- عائد استثمارى مرتفع (Roll) في فترة قصيرة : على الرغم من التكلفة الأولية ، فإن التحول إلى الانظمة الرفيعة بعد استثماراً وليس مجرد تكلفة. يم استرداد قيمة الاستثمار خلال فتره تتراوح بين ١٨ الى ٣٦ شهراً منا خلال :

١- تحسين الكفاءة البداية : التحكم الافضل في احتراق الوقود تقلل من استهلاك الوقود بمعدل ١٠,٥ إلى ١,٥ % سنوياً.

٢- اطالة عمر المعدات : بدء التشغيل والاتفاق يسلامة يقلل من الاجهادات الحرارية على جسم التوربينه والمرجل مما يطيل عمرها الافتراضى العقود اضافية.

٣- زيادة معامل الجاهزية : يقلل من فترات التوقف الاضطرابية .

الخاتمة:

في ختام هذا المشروع يتضح أن أنظمة التحكم في محطات القدرة البخارية قد شهدت تطورا كبيرا من الأنظمة التقليدية الى الأنظمة الحديثة المتقدمة قد كانت الأنظمة القديمة تعتمد بشكل اساسي على التحكم اليدوي او الأنظمة التناظرية مما يتطلب تدخلا بشريا مستمر ويعرض تشغيل بقدر اكبر من الأخطاء وقللة الدقة في الاستجابة .

المراجع

- 1- Raja, A.K., et.al., Power plant engineering, New Age International Limited Puplichers, New Delhi, ٢٠٠٦
- 2- د علي الجبوري وآخرون الأساسيات الهندسية لديناميكا الحرارة الكلية الهندسية العسكرية بغداد، العراق، ١٩٨٤
- 3- جسي اس دولتل و فرانسيس جي هيل ، ديناميات الحرارة للمهندسين ، جامعة البصرة ، ترجمة د. صالح اسماعيل نجم وآخرون، مديرية دار الكتب للطباعة والنشر، ١٩٨٧.
- 4- Khurmi, R. S., A text book of mechanical engineering. (Thermal engineering) , S.Chand & company Ltd, ١٩٨٩
- 5- El-Wakil, M.M., Power plant technology, McGraw-Hill Book Company, ١٩٨٥
- 6- Arora, S.C., and Domkundwar, S, A course in power plant engineering, Dhanpat Rai & Sons, New Delhi, ١٩٨١
- 7- در جابر شنشول جمالي تكنولوجيا الوقود الجامعة التكنولوجية، بغداد العراق.
- 8- التوليد ومحطات التحويل الرئيسية ، الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج ، المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني المملكة العربية السعودية ٢٠١٠.
- 9- محطات التوليد وطرق الحماية، الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج ، المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني المملكة العربية السعودية ٢٠١٠
- 10- در وهيب عيسى الناصر و د. علي الفرغولي حقيبة تعليمية تدريبية في مجال الطاقات المتجددة المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، تونس ، ٢٠٠٠
- 11- د سعود يوسف عياش تكنولوجيا الطاقات البديلة، سلسلة عالم المعرفة، الكويت، ١٩٨١.

12- Duffie, J. and Beckman, W., Solar energy thermal processes, John Wiley and Sons, New York. ١٩٨٠

13- در مصطفى محمد السيد وآخرون، النماذج الصابية للنظم الحرارية الشمسية، جامعة الملك عبدالعزيز، جدة ، السعودية ١٩٩٤

14- المركز الوطني لبحوث الطاقة. حقبة الكهرباء من طاقة الرياح المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، تونس ، ٢٠٠٠

15- Khurmi, R.S., A text book of hydraulic machines, Chand and company ltd. ١٩٨٧

16- Gupta.H and Roy.S. Geothermal energy an alternative resource for century, ALSEIVER company, ٢٠٠٧

17- المهندس فاروق عبد اللطيف تصميم وتشغيل وصيانة المراجل الغلايات) البخارية، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة، مصر، ٢٠٠٧

18- المهندس فاروق عبد اللطيف التوربينات البخارية والغازية دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة، مصر، ٢٠٠٧.

19- د. محمد مصطفى محمد الخياط محطات مركبات الطاقة الشمسية، بحث منشور في مجلة الكهرباء العربية العدد (٩٩) ٢٠١٠

20- أ.د. محمود نصر الدين ود. ضو سعد مصباح، مستقبل توليد الكهرباء بالطاقة النووية، مؤتمر الطاقة العربي الثامن الهيئة العربية للطاقة الذرية.

21- مقالات عديدة منشورة على الانترنت.

22- <https://www.scribd.com>