



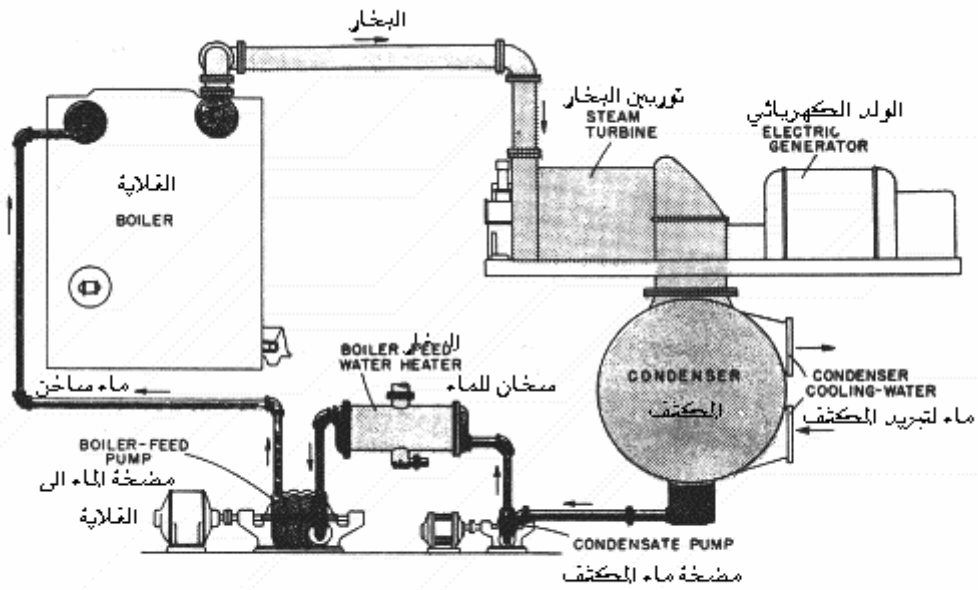
١٠٢- محطات توربينات البخار Steam-turbine plants

١.١٠٢- طريقة عمل المحطة

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

ينقل الوقود عبر وسائل مختلفة كالناقلات البحرية أو القطارات أو خطوط أنابيب مخصصة من مواقع الإنتاج إلى جوار المحطة، 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 و تجهيزه في تصفيته وتسخينه لتسهيل عملية الإشعال داخل الفرن نظرا لرداءة هذا النوع من الوقود الذي يستخدم لرخص ثمنه وقلة تكلفته.

كما يتبين من الشكل (2.1)، تحول الطاقة الحرارية داخل الغلاية 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. غالبا 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 مفايد لتضاف إلى المفايد الحرارية والميكانيكية على مستوى الفرن والتوربين. لا تتجاوز كفاءة محطات البخار 30%، وذلك نتيجة لمفايد الطاقة المتعددة في المراحل المختلفة من دورة البخار والنظم الميكانيكية والدوائر الكهربائية، أي أن أقل من ثلث طاقة المحروقات فقط تحول إلى طاقة كهربائية.



الشكل ٢.١ : محطة توليد كهربائية ذات توربين بخارية

٢.١.٢ - مكونات المحطة البخارية

١- الفرن Furnace أو الغلاية Boiler

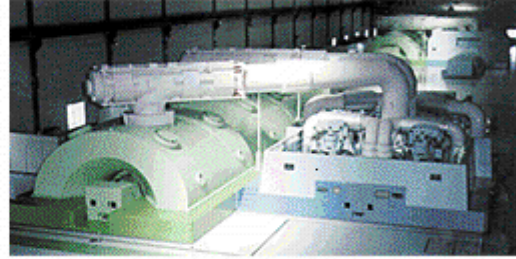
الفرن هو عبارة عن غلاية كبيرة للماء تسمى بمولدات البخار، وتعمل على إنتاج البخار تحت ضغط عالٍ وذلك بحرق كميات كبيرة من الوقود. تختلف الأفران باختلاف الوقود المستخدم خاصة بالنسبة للفحم الحجري والزيوت الثقيل. تنتج هذه الأفران كميات كبيرة من العادم الشديد التلوث نظرا لرداءة الوقود المستخدم. يمر هذا العادم عبر مرشح كهرومغناطيسي لتخليصه من كميات كبيرة من الجزيئات السامة قبل أن يطلق في الهواء، ولكن غالبا ما يقذف بهذا العادم مباشرة في الجو دون أي معالجة مما يتسبب في أضرار كبيرة بالبيئة.

٢- توربين البخار Steam Turbine

يتكون التوربين من عدد كبير من الريش صممت بشكل انسيابي يسمح لها بالحركة دائريا حول محورها عند تعرضها لضغط البخار، كما يتضح من الشكل (2.3).

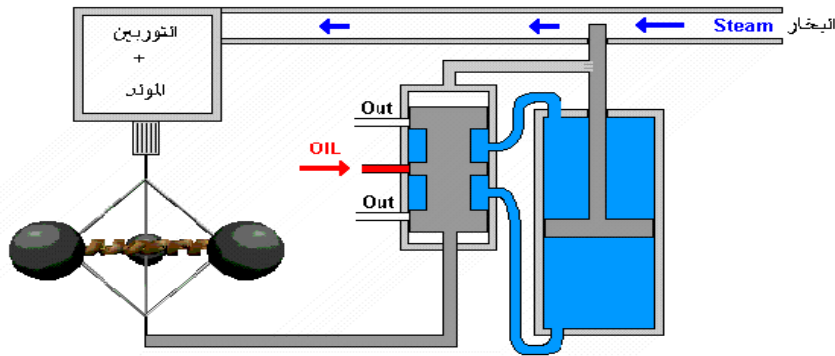


غالباً ما تكون توربينات البخار ذات محور أفقي وموصلة بالمولد عبر عمود لنقل الحركة مما يجعله يدور بنفس السرعة وبنفس العزم. تتكون بعض التوربينات الحديثة من ثلاث وحدات، الأولى للضغط العالي والثانية للضغط المتوسط و الثالثة للضغط المنخفض.



الشكل ٢،٣: توربين البخار

يمكننا التحكم بسرعة دوران التوربين والمولد بالتحكم في ضغط البخار الداخل للتوربين وذلك عبر صمام يعمل بنظام ميكانيكي هيدروليكي بسيط كما يبينه الشكل (2.4). يعتمد هذا النظام على ثقلين يدوران بنفس سرعة المولد ويتحكمان في صمام البخار بنظام هيدروليكي يمكنها من زيادة الفتحة عند انخفاض السرعة أو التقليل منها إذا زادت السرعة، مما يجعل السرعة ثابتة في المستوى المحدد لها مهما تغير العزم.



الشكل ٢،٤: نظام ميكانيكي للتحكم في سرعة التوربين



٣- المكثف Condenser

بعد أن يمر البخار عبر التوربينات ينتقل إلى المكثف حيث يتم خفض حرارته ليصبح ماء، ثم يضغط من جديد إلى داخل الفرن لتأمين دورة البخار. يعتمد المكثف على مصدر للماء البارد لخفض درجة حرارة البخار. ولذلك فإن هذا النظام يحتاج إلى كميات كبيرة من الماء يتم ضخها من البحر كما هو الحال في المحطات الساحلية، أو خزانات كبيرة للماء تعتمد على التبريد الطبيعي عند ضخها من خزان إلى آخر. عند استخدام ماء البحر للتبريد يتم تصفيته و معالجته من المكونات العضوية قبل أن يضغط إلى داخل المكثف وذلك لحمايته من الشوائب والرواسب المحتملة. غالباً ما يتم إرجاع هذه المياه إلى البحر بعد استخدامها دون الاستفادة من الحرارة التي اكتسبتها عند مرورها بالمكثف. ولذلك تقوم بعض المحطات الأخرى بالاستفادة من البخار الناتج عن المياه الحارة وتكثيفه باستخدام التقنيات اللازمة لإنتاج كميات كبيرة من الماء العذب الذي يتم تجميعه داخل خزانات، كما هو الحال في محطات التحلية بجدة أو غيرها من محطات التحلية بالمملكة.

٤- المولد الكهربائي Electrical Generator

تستخدم المولدات الكهربائية التزامنية في محطات التوليد لتحويل القدرة الميكانيكية إلى قدرة كهربائية. يوصل كل مولد كهربائي بتوربين بخار عبر عمود لنقل الحركة ليدور بنفس السرعة. تكون هذه السرعة ثابتة ولا تتغير مع تغير الأحمال نتيجة لوجود نظام التحكم في السرعة الذي وصفه سابقاً. يتناسب التردد تناسباً طردياً مع سرعة دوران المولد (أو التربين) ولذلك يتم تحديد السرعة مسبقاً وثبيتها للحصول على تردد ثابت للطاقة الكهربائية الناتجة، كما أن لذلك علاقة بعدد أقطاب المولد، والقانون التالي يوضح تلك العلاقة:

$$\omega_m = \frac{120}{p} f$$

(2.1)

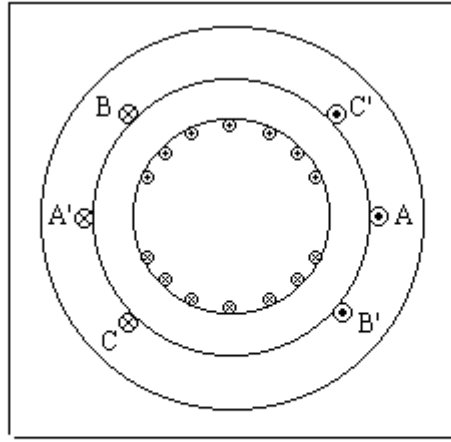
حيث ω_m (rpm) : سرعة دوران المولد بالدورة في الدقيقة

p (poles) : عدد أقطاب المولد التزامني

f (Hz) : تردد التيار الكهربائي بالهرتز

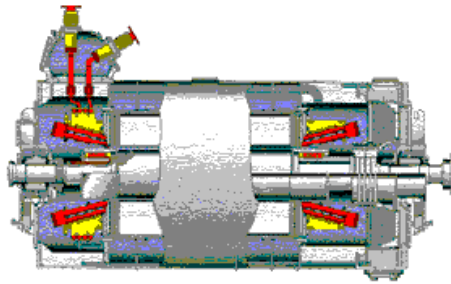


إذا كان التردد المطلوب 60Hz كما هو الحال عندنا بالمملكة وعدد الأقطاب في المولد $p=2$ كما هو الحال في أغلب المحطات الحرارية فمن الضروري أن تكون سرعة المولدات في هذه المحطات 3600 rpm دورة في الدقيقة أما إذا كان عدد الأقطاب أربعة فالسرعة تكون النصف أي 1800 rpm دورة في الدقيقة (الشكل 2.5).

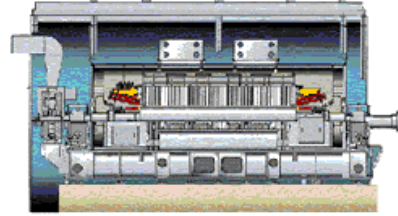


الشكل ٢,٥: توزيع اللفائف في دوار المولد الترامني ذات القطبين

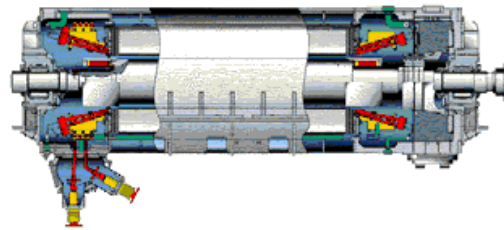
ترتفع حرارة المولد عند التشغيل إلى درجة كبيرة مما يستدعي استخدام نظام للتبريد ذي كفاءة عالية. يختلف نظام التبريد من مولد إلى آخر حسب حجم وقدرة المولد. تعتمد المولدات ذات القدرة المنخفضة والمتوسطة على نظام التبريد بالهواء فيما يستخدم الهيدروجين السائل في المولدات الكبيرة ذات القدرة العالية. بعض هذه المولدات تستخدم نظام مزدوج للتبريد يعتمد على الهواء والهيدروجين في نفس الوقت (الشكل 2.6).



أ- مولد مبرد بالهيدروجين



ب- مولد مبرد بالهواء

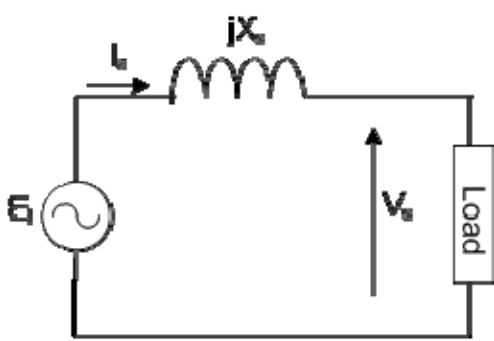


ج- مولد مبرد بالهواء والهيدروجين

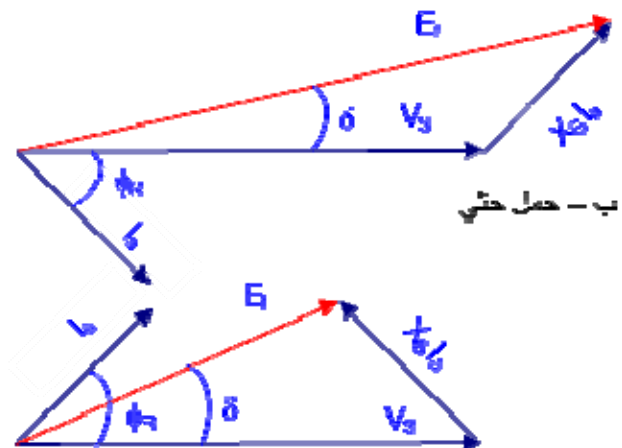
الشكل ٢,٦ : مختلف انواع نظم التبريد للمولدات الكهربائية

أ- الدائرة المكافئة للمولد التزامني مع الحمل

إذا اعتبرنا أن الأطوار الثلاثة في حالة توازن فيمكننا تمثيل المولد بدائرة كهربائية بسيطة كما هو مبين في الشكل (2.7).



أ - دائرة مكافئة



ج - حمل سعوي

شكل 2.7 : الدائرة المكافئة للمولد التزامني مع الحمل مع المخطط الاتجاهي لهذه الدائرة حسب نوعية الحمل.



ويمكننا حساب جهد الطور عند خرج المولد V_s والقدرة الفعالة الناتجة P_{out} وكذلك القدرة المفاعلة Q_{out} من المعادلات التالية:
جهد الطور عند خرج المولد:

$$V_s = E_f - jI_a X_s$$

القدرة الفعالة :

$$P_{out} = 3V_s I_a \cos \Phi_R = \frac{3V_s E_f \sin \delta}{X_s}$$

القدرة المفاعلة :

$$Q_{out} = 3V_s I_a \sin \Phi_R = \frac{3V_s E_f \cos \delta}{X_s} - \frac{3V_s^2}{X_s}$$

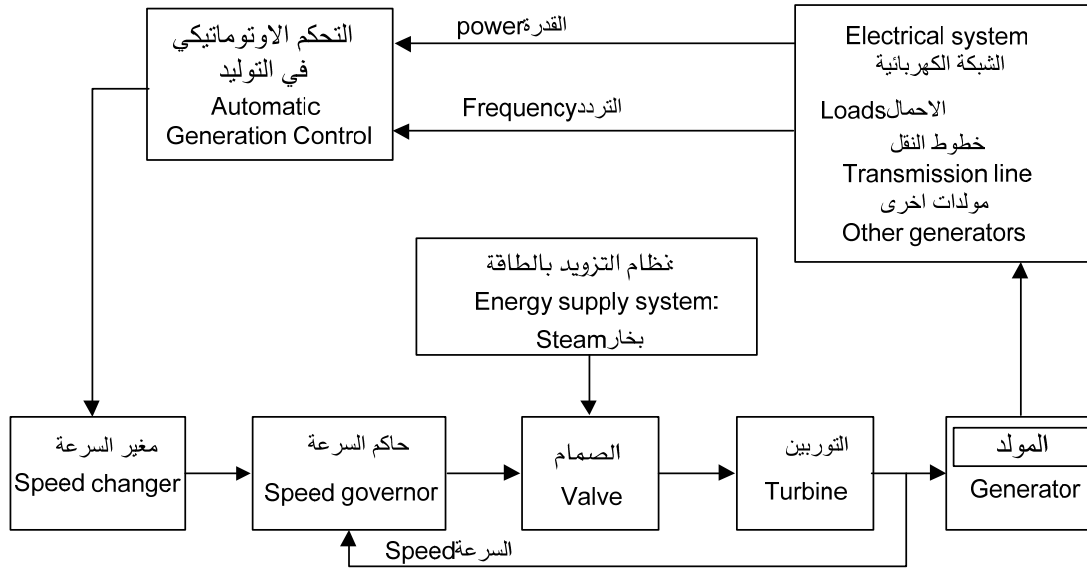
حيث : E_f جهد الإثارة Excitation Voltage

X_s المفاعلة التزامنية للمولد Synchronous reactance

I_a تيار الحمل Load current

ب- نظام التحكم في التردد والقدرة للمولد التزامني

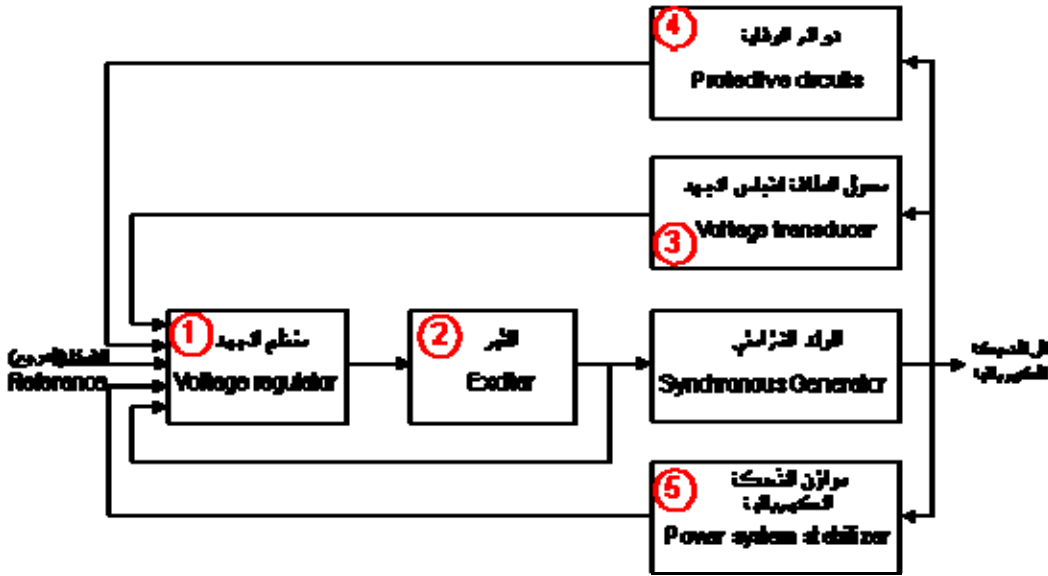
يوضح الشكل (2.8) نظام للتحكم الأوتوماتيكي في التردد في محطات البخار وذلك بالتحكم في سرعة التوربين. يتم التحكم في هذه السرعة عن طريق ضغط البخار عبر الصمام المخصص لذلك. يتلقى هذا الصمام الإشارة بالفتح أو بالغلاق حسب الحاجة من وحدة التحكم الأوتوماتيكي للمحطة. تحدد هذه الوحدة إشارات من خلال القياسات الآنية للتردد عند خرج المولد وما تم تحديده مسبقا كمعطيات ثابتة للمحطة. كما يؤمن هذا النظام التحكم في القدرة الفعالة المتبادلة مع الشبكة بعد الربط.



الشكل (2.8): الرسم التخطيطي لنظام التحكم في التردد والقوة في محطات التوليد الحرارية

ج- 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 المصدر بنظام الإثارة أو المثير Exciter. يؤمن هذا النظام عملية التحكم في قيمة الجهد الكهربائي عند خرج المولد وذلك بالتحكم في قيمة تيار المجال كما يتضح من الشكل (2.9). يمكننا تثبيت جهد المولد عبر هذا النظام عند المستوى المطلوب لربطه بالشبكة كما يمكننا المحافظة على معامل القدرة عند قيمة واحد بعد الربط.



الشكل (2.9): الرسم التخطيطي لنظام التحكم في الإثارة للمولد التزامني

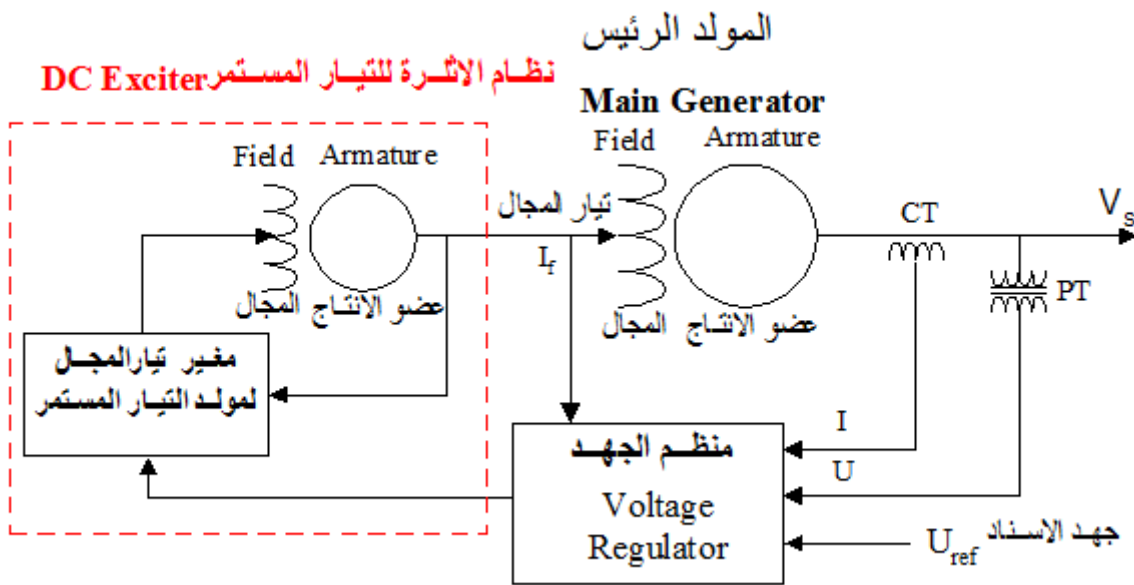
- (1) المنظم Regulator : يقارن تيار المجال المطلوب مع تيار الإثارة الموجود ويضخم إشارة التحكم لإعطائها القدرة الكافية على التحكم في المثير.
- (2) المثير Exciter : هو عبارة عن مصدر للتيار المستمر يغذي ملفات المجال للمولد التزامني و يسمى تيار المجال ، حيث يتحكم في كمية الفيض المغناطيسي الناتج وبالتالي في الجهد.
- (3) محول الطاقة Transducer : يعمل على تخفيض الجهد عند خرج المولد وتحويله إلى جهد مستمر ليتسنى مقارنته مع الإسناد (المرجع) الذي يمثل الجهد المطلوب إنتاجه وذلك عبر المنظم.
- (4) دوائر الوقاية Protective circuits : دورها يتمثل في حماية المولد ودوائر الإثارة بحيث يراعي القدرة القصوى لكل منهما ولا يتجاوزها.
- (5) موازن الشبكة Power system Stabilizer : يعطي إشارات تحكم إضافية للمنظم لمضائة الهزات الحاصلة في الشبكة عند الحالات العابرة وتثبيت الجهد عند قيمة معينة.



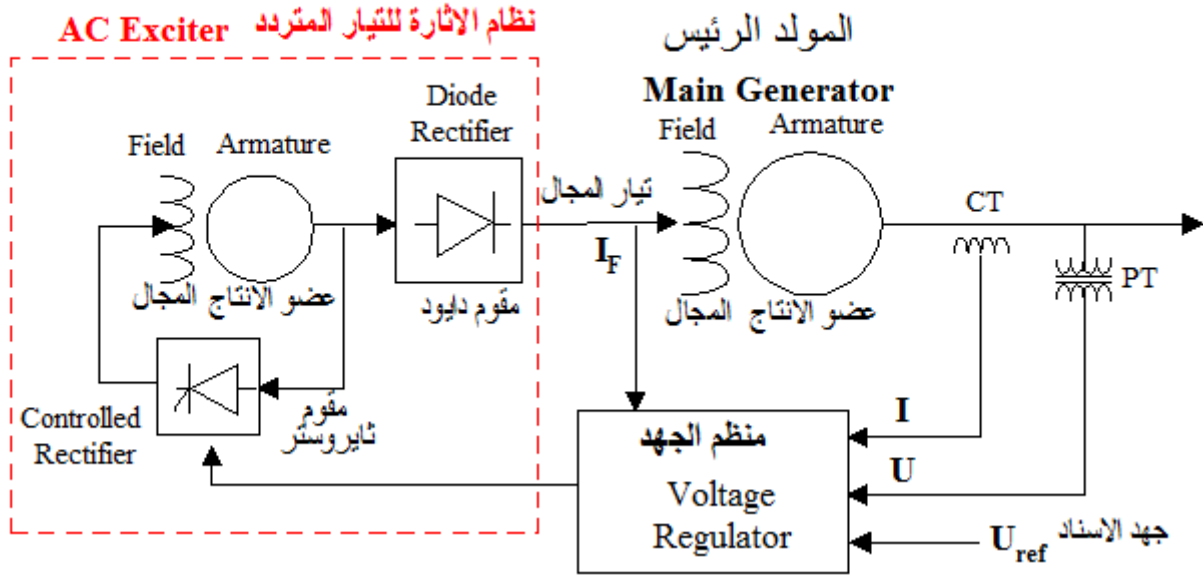
د- نظم الإثارة للمولدات التزامنية

نظام الإثارة أو المستثير هو عبارة عن مصدر متغير للتيار المستمر يوفر للمولد تيار المجال ويمكن تصنيفه إلى ثلاث أنواع:

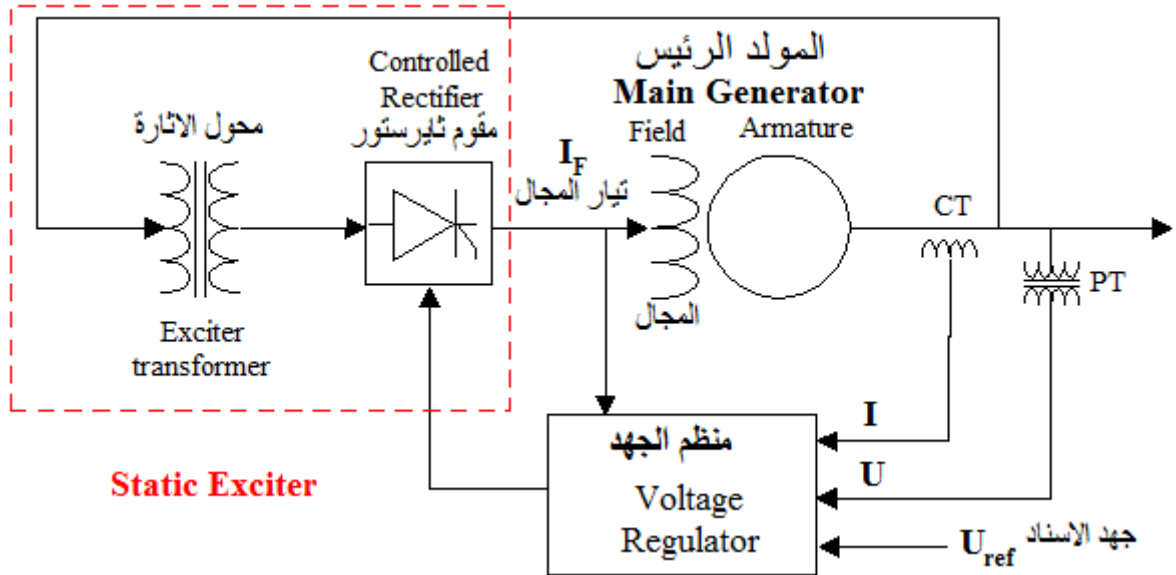
- نظام الإثارة للتيار المستمر DC Exciter (الشكل - (أ) - 2.10)
- نظام الإثارة للتيار المتردد AC Exciter (الشكل - (ب) - 2.10)
- نظام الإثارة الساكن Static Exciter (الشكل - (ج) - 2.10)



الشكل (أ) - 2.10: نظام الإثارة للتيار المستمر DC Exciter



الشكل (ب). 2.10. نظام الإثارة للتيار المتردد AC Exciter



الشكل (ج). 2.10. : نظام الإثارة الساكن Static Exciter



٣.١.٢ - اختيار موقع المحطة

يتم اختيار موقع المحطات الحرارية بعد الأخذ في الاعتبار المعطيات الفنية والاقتصادية والبيئية. غالباً ما تشيد هذه المحطات في المواقع التي تتوفر فيها الشروط التالية:

أ - توفر كميات وافرة من المياه الباردة لتبريد البخار داخل المكثف وتأمين دورة البخار لذا فإن أغلب المحطات الحرارية تنشأ على ضفاف الشواطئ والأنهار.
ب - توفر وسائل نقل منخفضة التكلفة لجلب الوقود إلى المحطة، مثل البواخر أو القطارات

أو خطوط الأنابيب. ويستحسن أن تشيد هذه المحطات بالقرب من حقول النفط أو مناجم الفحم وذلك لخفض نقل الوقود وضمان استمراريته. ثم ترسل الطاقة الكهربائية المتولدة بعد رفعها عن طريق محولات القدرة إلى جهود مرتفعة عبر خطوط النقل الكهربائية لتغذي بقية المناطق.

ج - توفر مساحات شاسعة من الأراضي تلبى حاجة المحطة حسب الخطة الآنية والمستقبلية، بحيث تتسع لإنشاء مباني المحطة والمرافق التابعة لها وأن تسمح بتوسعها مستقبلاً.

د - يكون الموقع بعيداً عن المدن لتجنّب هذه المناطق التلوث الذي يصيب البيئة نتيجة الغازات المختلفة التي تنتج عن الاحتراق كظاهرة الانحباس الحراري.

٤.١.٢ - المميزات والعيوب

لمحطات البخار عدة مزايا أبرزها:

- قدرتها العالية مقارنة مع المحطات الحرارية الأخرى كالمحطات الغازية ومحطات الديزل .
- إمكانية تشغيلها لفترات طويلة دون توقف
- إمكانية إنشائها قرب المستهلك في مكان تتوفر فيه المياه اللازمة ويسهل جلب الوقود إليه دون أي ارتباط بمصدر الطاقة.
- إمكانية استخدام المحطة لأغراض أخرى كتحلية المياه.



لهذه المحطات عيوب أيضا أبرزها:

التأثيرات المباشرة وغير المباشرة على البيئة، وذلك لما تنتجه المحروقات من ثاني أكسيد الكربون CO_2 عند احتراقها وما يسببه هذا الغاز من انحباس حراري، إضافة إلى الغازات السامة الأخرى كثاني أكسيد الكبريت (Sulfur dioxide SO_2 ..) و أكاسيد النيتروس (Nitrous oxides NO_x).