

محاضرات محطات توليد الطاقة الكهربائية

لطلاب السنة الرابعة قسم التغذية

الكهربائية مدرس المقرر:

الدكتور نصر القاسم

(القسم الأول)

المراجع العلمية:

١. محطات القوى الكهربائية (1) – د. فؤاد شكري كردي-منشورات جامعة حلب 1191.
٢. محطات القوى الكهربائية (2) – د. فؤاد شكري كردي-منشورات جامعة حلب 1112.
٣. محطات توليد الطاقة الكهربائية – د. ميشيل حلاق-منشورات جامعة حلب 1192.
٤. محطات الطاقة الكهربائية (1) – د. مسلم العبد الله-منشورات جامعة البعث 2002.
٥. محطات الطاقة الكهربائية (2) – د. مسلم العبد الله، د. أحمد الناصر-منشورات جامعة البعث 2002.

أسس المحطة الكهربائية

١- مقدمة :

ان زيادة الحاجة للطاقة الكهربائية يوما بعد يوم يحثنا للبحث بشكل دائم عن مصادر لتوليد هذه الطاقة ومع ازدياد استهلاك الطاقة الكهربائية تزداد المشاكل المتعلقة بتوليد ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية . وتعتبر المحطات الكهربائية بأنواعها المركز الرئيسي لتوليد الكهرباء وقد باشر الانسان باستعمال المحطات الكهربائية منذ اختراع الآلات الترددية لادارة مولدات التيار المستمر الا ان استهلاك الكهرباء كان مقتصرًا على الانارة فقط . وقد ساهم اختراع محركات الاحتراق الداخلي في استثمار الكهرباء على نطاق أوسع مما كان عليه . ولكن السبب الرئيسي في انتشار الكهرباء يعود الى ادخال العنفات البخارية والهيدروليكية والغازية في ادارة آلات التوليد الكهربائية . هذا وان مصادر الطاقة الكهربائية الحديثة قد أخذت تلعب دورا هاما في توليد الكهرباء فالمحطات النووية انتشرت بشكل كبير في السبعينات والدراسات لاتزال على قدم وساق للاستفادة من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح رغم استثمارهما بشكل جيد .

وهكذا فان الحاجة للكهرباء قد اوضحت من أساسيات حياتنا اليومية مما يجعل الحاجة لمحطات توليد الطاقة الكهربائية ضرورة ملحة لتلبية متطلباتنا المتزايدة من الكهرباء.

٢- مصادر الطاقة الكهربائية المختلفة:

هناك العديد من مصادر الطاقة الكهربائية كما ذكرنا وسنكتفي

بذكر بعض منها:

٢-١- الطاقة الحرارية:

ويتم بهذه الطريقة تحويل الطاقة الحرارية الكامنة في ذرات الوقود الى طاقة ميكانيكية تدير آلات توليد القدرة الكهربائية . تتم عملية حرق الوقود لاستخلاص الطاقة الحرارية منه اما داخل الالة أو خارجها . ويستعمل الوقود الصلب أو السائل أو الغازي مع هذه الطريقة .

٢-٢- الطاقة الهيدروليكية:

وتعتمد هذه الطريقة على الاستفادة من الفرق في منسوب الماء للحصول على ضغط مائي كبير يستخدم لتدوير عنفة هيدروليكية التي تقوم بدورها بإدارة مولد كهربائي . ويكون الفرق في منسوب المياه اما طبيعيا كما هو الحال في الشلالات ومساقط المياه أو اصطناعيا كما هو الحال في السدود والخزانات المبنية على الانهار .

وتعتبر هذه الطريقة رخيصة نسبيا وذلك لانعدام تكاليف الوقود والذي يمثل جزءا من تكاليف انتاج الكيلو واط ساعي غير أن بناء المحطات الهيدروليكية يحتاج الى منشآت ضخمة

مما يجعل الرأس المال اللازم لبنائها أكبر بكثير منه في

المحطات الحرارية .

٣-٢- الطاقة النووية :

ان كل المحطات النووية المستثمرة حتى الان تعتمد على انشطار ذرات العناصر المشعة مثل اليورانيوم ويتسم الاستفادة من الحرارة الناتجة عن الانشطار ذرات العنصر المشع وتحويلها الى قوة ميكانيكية تقوم بإدارة المولدات الكهربائية . وقد أدت الحوادث النووية التي حصلت في الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوفيتي الى إعادة النظر في سلامة هذه المحطات مما زاد في كلفة انشائها وأثر على انتشارها .

٤-٢- مصادر أخرى للطاقة الكهربائية :

تعتبر المصادر الثلاثة السابقة الذكر من أهم مصادر الطاقة الكهربائية الا أن هناك مصادر أخرى لاتزال قيد الدراسة رغم أن بعضها قد تم استثماره على نطاق ضيق ولكن لم يتم حتى الان استثمار هذه المصادر لتوليد كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية بشكل اقتصادي ومن هذه المصادر .

- الطاقة الشمسية

- طاقة الرياح

- طاقة المد والجزر

- الطاقة الحرارية من المحيطات

- طاقة الزيادات والطاقة الحيوية

- الآلات المستخدمة في المحطات الكهربائية :

يمكن تصنيف المحطات الكهربائية حسب نوع الآلات المستخدمة

فيها بدلا من نوع الطاقة المستخدمة لتوليد الكهرباء.

٣-١- آلات الاحتراق الداخلي :

وتتضمن هذه المحطات آلات الاحتراق الداخلي التي تستعمل الغاز أو الوقود السائل كما هو الحال في المحطات الغازية ومحطات الديزل . وتستخدم هذه المحطات الآلات الترددية أو الآلات الدورانية . وتمتاز هذه المحطات بسرعة التجاوب وسهولة التشغيل .

٣-٢- الآلات البخارية :

وتستخدم هذه المحطات العنقات البخارية بأنواعها كما أنها قد حلت محل الآلات البخارية الترددية وذلك لارتفاع مردودها الحراري وانتظام سرعة دورانها وخص تكاليف بناءها وصيانتها . وتعتبر هذه المحطات أقل تجاوبا من محطات آلات الاحتراق الداخلي إلا أن مردودها أفضل .

٣-٣- الآلات الهيدروليكية :

ويمكن تصنيف هذه المحطات تبعا لنوع العنقة المستخدمة وهناك كما سنرى ثلاثة أنواع رئيسية من العنقات المستخدمة

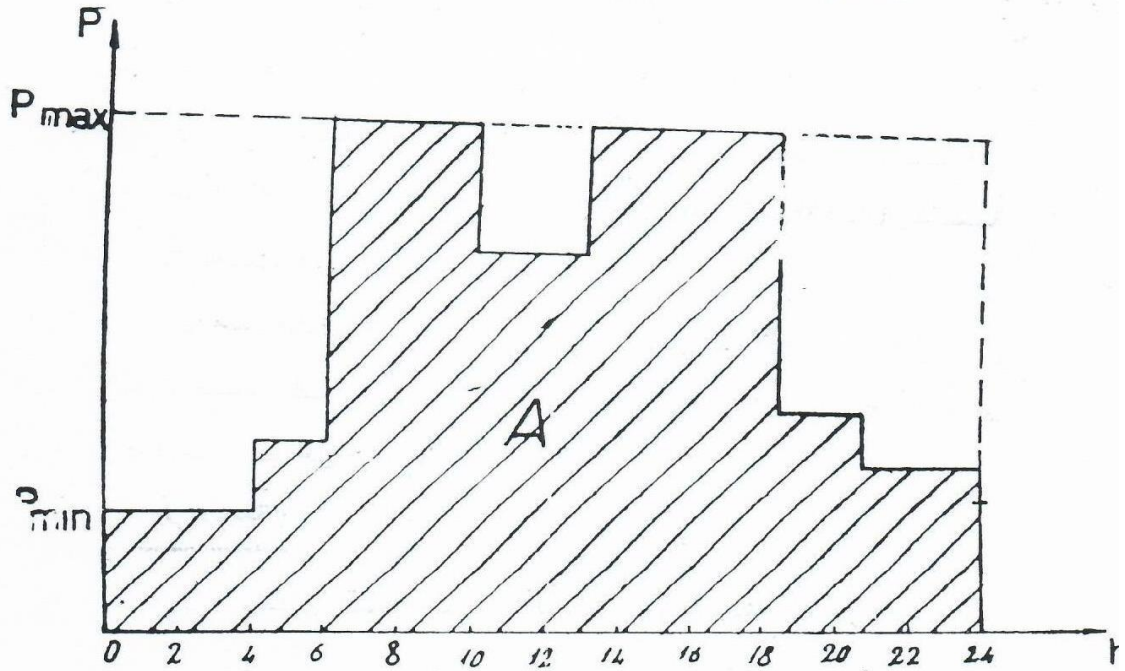
- عنقة فرنسيس Francis
- عنقة كابلان Kaplan
- عنقة دولاب بلتون Pelton

وتمتاز هذه المحطات بانعدام تكاليف وقودها إلا أن كلفة بناءها عالية كما أنه غالبا ما تكون بعيدة عن مراكز الحمولة وتحتاج إلى خطوط نقل كهربائية لنقل الطاقة الكهربائية

٤- منحنى الحمولة :

يختلف عمل المحطات الكهربائية عن عمل أى منشأة صناعية أخرى وذلك لعدم امكانية تخزين الطاقة الكهربائية مما يتطلب أن يكون التوليد مساويا للحمل في كل لحظة والا فان هناك ضياعا في القدرة الكهربائية وزيادة غير اقتصادية في تكاليف الانتاج . وبما أن الحمل غير ثابت ويتغير مع الزمن فان خرج المحطة يجب أن يتغير مع الزمن ولتسهيل الدراسة يتم تمثيل استهلاك القدرة الكهربائية في الحمل خلال فترة زمنية معينة وبذلك تحصل على منحنى الحمل اليومي او الاسبوعي أو الشهري أو السنوي وذلك حسب الفترة الزمنية المعتمدة .

ويبين الشكل (1.1) منحنى حمولة يومي مبسط لمحطة .



الشكل (1.1)

ويعرف معامل الحمل على أنه النسبة بين الحمل الوسطى الي الحمل الاعظمي خلال واحدة الزمن المعتبرة . فاذا اعتبرنا منحني الحمل اليومي في الشكل (1.1) فان القدرة المستهلكة تمثل السطح المهرس A والحمل الاعظمي هو P_{max} وعليه فان معامل الحمل هو:

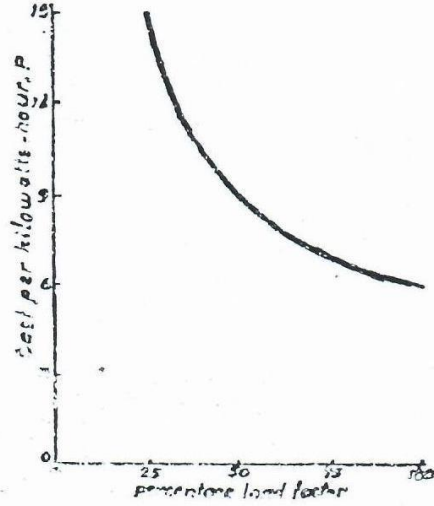
$$K_{Lf} = \frac{P_{av}}{P_{max}} = \frac{A}{T \cdot P_{max}}$$

حيث :

- T - هي الفترة الزمنية المعتبرة
- و A - هي القدرة المستهلكة خلال نفس الفترة وتقدر بالكيلو واط ساعي .
- P_{av} - هي الاستطاعة الوسطى أو الحمل الوسطى مقدرًا بالكيلو واط .
- P_{max} - هو الحمل الاعظمي خلال نفس الفترة .
- وتتراوح قيمة معامل الحمل للمحطات التي تعمل على احمال صغيرة بين 0.23-0.45 أما المحطات التي تعمل على الاحمال الرئيسية فان قيمة معامل الحمل تتراوح بين 0.45-0.9 .
- ويلعب معامل الحمل دورا كبيرا في تحديد كلفة انتاج الكيلو واط ساعي فكلما كبر عامل الحمل كلما كانت كلفة الكيلو واط ساعي أقل كما هو مبين في الشكل (1.2) .

٦- معامل السعة : Capacity Factor

يعرف معامل السعة على أنه النسبة بين الاستطاعة الوسطية والاستطاعة المنشأة في المحطة (بما فيها الاحتياطي) أي :



الشكل (1.2)

$$K_{cf} = \frac{P_{av}}{P_{inst}} = \frac{A}{T \cdot P_{inst}}$$

حيث P_{inst} هي الاستطاعة الكلية المتوفرة في المحطة بما في ذلك الاحتياطي منها .

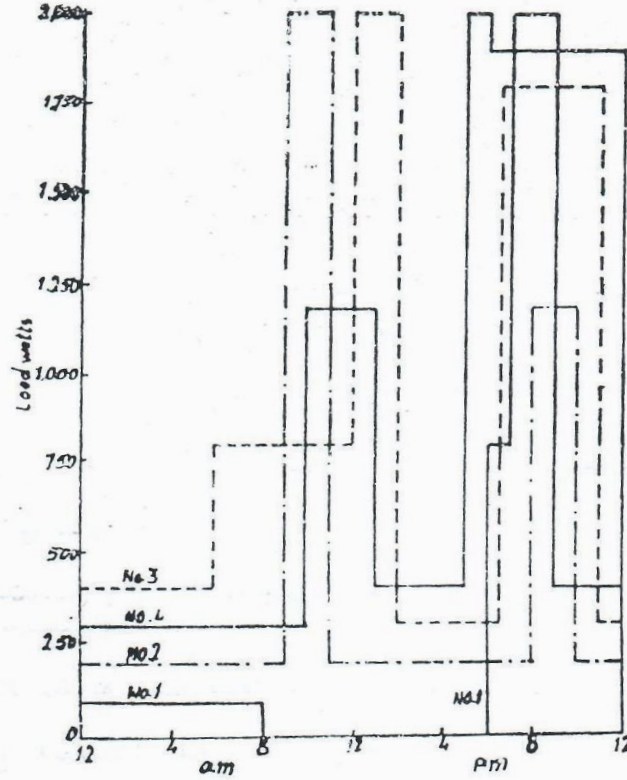
٧- معامل التباين : Diversity Factor

ان الاستطاعة المتولدة يجب أن تساوى الحمل الاعظمي للمستهلك فاذا احتاج المستهلك للحمل الاعظمي طوال الفترة الزمنية المعتبرة فان معامل الحمل عندها يساوى % 100 ولكن هذا غير وارد عمليا بسبب تغير الحمل لدى المستهلك . واذا كان لدينا عدد من المستهلكين فليس من الضروري أن تكون الاستطاعة العظمى للاحمال كلها في وقت

واحد ويساعد في هذا التباين في الاحمال على تحسين معامل الحمل .
 ويعرف معامل التباين على أنه مجموع الاستطاعات العظمى للاحمال
 بشكل منفرد على الاستطاعة العظمى لحمل المحطة . ولتوضيح كيفية حساب
 معامل التباين لنأخذ المثال التالي .

مثال :

لنفرض أن هناك أربعة أحمال كما هو موضح في الشكل (1.3) .



الشكل (1.3)

ولنلاحظ أن الاستطاعة العظمى لكل حمل على حدة هي 2000 Watts

على حين ان الاستطاعة العظمى للاحمال كلها تقع بين الساعة السابعة مساءً والثانية عشر ليلاً وتكون كمايلي :

| | | |
|------------|----------------------|---|
| 2000 Watts | استهلاك الحمل الاول | - |
| 1200 Watts | استهلاك الحمل الثاني | - |
| 1800 Watts | استهلاك الحمل الثالث | - |
| 1900 Watts | استهلاك الحمل الرابع | - |

وهكذا فان الاستهلاك الاعظمي للاحمال معا هي :

$$2000 + 1200 + 1800 + 1900 = 6900 \text{ Watts}$$

على حين أن مجموع الاستهلاك الاعظمي للاحمال هو :

$$4 \times 2000 = 8000 \text{ Watts}$$

ويكون معامل التباين :

$$K_{Df} = \frac{8000}{6900} = 1.16$$

Demand Factor

عامل الطلب :

يعرف عامل الطلب على أنه النسبة بين الاحتياجي الاعظمي الى

الحمل الموصل

$$K_D = \frac{\text{Max. Demand}}{\text{Connected Load}}$$

فاذا كان كان لدينا عشرة احمال موصولة واستطاعة كل حمل منها مثلا 400 Watts وان العدد الاعظمي من الاحمال التي يمكن تشغيلها بأن واحد هو تسعة احمال فان عامل الطلب هو :

$$K_D = \frac{9 \times 400}{10 \times 400} = 0.9$$

٩- منحنى استمرار الحمولة : Load duration Curve

يمثل منحنى الحمولة تغيير الحمل مع الزمن على حين يمثل منحنى استمرار الحمولة النسبة المئوية من الزمن التي يكون فيها الحمل أكبر أو يساوي لقيمة معينة وغالبا ما تؤخذ وحدة الزمن على أنها سنة واحدة . ولتوضيح طريقة حساب ورسم منحنى استمرار الحمولة نأخذ المثال التالي :

مثال :

يبين الجدول (1.1) الحمولة اليومية لمحطة كهربائية

خلال اسبوع كامل ولنوجد منحنى استمرار الحمل لهذه المحطة .

جدول (1.1)

| Day | Load | Time | Load | Time | Load | Time | Load | Time | Load | Time |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | kW | hours | kW | hours | kW | hours | kW | hours | kW | hours |
| 1 | 1,000 | 4 | 5,000 | 3 | 500 | 8 | 3,000 | 4 | 2,000 | 5 |
| 2 | 2,000 | 3 | 4,000 | 4 | 1,000 | 6 | 500 | 5 | 1,000 | 6 |
| 3 | 3,000 | 5 | 5,000 | 6 | 2,000 | 4 | 1,000 | 5 | 500 | 4 |
| 4 | 2,000 | 7 | 3,000 | 5 | 6,000 | 1 | 1,000 | 8 | 500 | 3 |
| 5 | 1,000 | 6 | 5,000 | 4 | 2,000 | 3 | 1,000 | 7 | 800 | 4 |
| 6 | 3,000 | 6 | 2,000 | 7 | 3,000 | 7 | 5,000 | 2 | 1,000 | 3 |
| 7 | 4,000 | 4 | 5,000 | 3 | 2,000 | 4 | 3,000 | 7 | 500 | 6 |

ان الزمن المعتبر هو اسبوع واحد وعدد ساعات الاسبوع هو :

$$T = 24 \times 7 = 168 \text{ hours}$$

وبالاستعانة بالجدول (1.1) يمكن أن نحصل على الجدول

(1.2) والذي يمثل الاستطاعات المستهلكة وزمن كل منها .

جدول (1.2)

| Load (KW) | Time hr |
|--------------|------------|
| 200 | 4 |
| 500 | 26 |
| 1000 | 45 |
| 2000 | 33 |
| 3000 | 33 |
| 4000 | 8 |
| 5000 | 18 |
| 6000 | 1 |

أى أن الجدول السابق يعني أن هناك أربع ساعات خلال الاسبوع تكون فيها الحمولة 200KW و 26 ساعة تكون فيها الحمولة 500 KW و 45 ساعة تكون فيها الحمولة 1000 KW الخ .

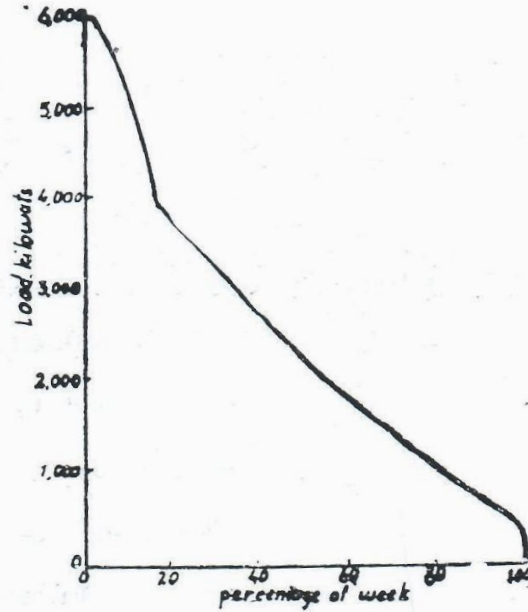
ومن هذا الجدول يمكن استنتاج جدول استمرار الحمولة

الاسبوعي الموضح في الجدول التالي :

| Load(KW) | Time (Hr) | Time% |
|---------------|-----------|-------|
| 6000 | 1 | 0.505 |
| 5000 and more | 19 | 11.3 |
| 4000 and more | 27 | 16 |
| 3000 and more | 60 | 35.7 |
| 2000 and more | 93 | 55.5 |
| 1000 and more | 138 | 82 |
| 500 and more | 164 | 97.6 |
| 200 and more | 168 | 100 |

والجدول السابق يعني أن الحمل يكون مساويا لـ 6000 KW خلال 0.505 من
الاسبوع ويكون مساويا لـ 5000 KW وما فوق خلال 11.3% من الاسبوع ...
الخ.

ويبين الشكل (1.4) تغيرات الحمل بدلالة النسبة المئوية
للزمن (اسبوع) .



الشكل (1.4)

١٠- اقتصاديات القدرة الكهربائية:

تقسم تكاليف القدرة الكهربائية الى قسمين ، القسم الأول
يمثل كلفة رأس المال المستخدم لبناء المحطة وتكاليف تشغيل المحطة
والتي تمثل بشكل أساسي تكاليف الوقود اللازم لعمل المحطة. وتعتبر
تكاليف رأس المال ثابتة لأنها يجب ان تدفع سواء أكانت المحطة

محطات الديزل

١- مقدمة :

لاتزال محطات الديزل ذات أهمية خاصة بين محطات توليد الطاقة الكهربائية وذلك لسرعة تجاوبها حيث أنها لاتحتاج الى فترة تسخين أو الى ضرورة استمرارها في حالة دوران لفترة طويلة كما هو الحال في المحطات البخارية ، كما أنها لاتحتاج الى مقادير كبيرة من الماء للتبريد وغالبا ماتستعمل عندما يكون الوقود السائل رخيصا نسبيا وعندما تكون الاستطاعة المطلوبة توليدها أيضا صغيرة . وتعتبر محطات الديزل غير اقتصادية لتوليد كميات كبيرة نسبيا من الاستطاعة كما أن كلفة الكليو واط ساعي فيها يكون مرتفعا .

٢- استخدامات محطات الديزل :

لمحطات الديزل استخدامات عديدة يمكن تلخيصها بمايلي :

- ١- محطات مركزية : وذلك عندما تكون الاستطاعة المطلوبة لاتتجاوز 5000 حصانا حيث تصح بعدها غير اقتصادية وتحتاج الى مساحات كبيرة نسبيا .
- ٢- محطات تغذية قمة الحمل : ويعتبر هذا الاستخدام لمحطات الديزل

استخداما هاما حيث تبرز محاسن هذه المحطات بسرعة تجاوبها لتغذية قمة الحمل والتي لاتمثل سوى جزءاً بسيطاً من منحني الحمل .

٣- محطات طوارئ : نظر لصغر حجم وحدات الديزل للاستطاعات الصغيرة ونظرا لقص المدة التي تستطيع بها هذه الوحدات ان تياشر عملها فان محركات الديزل . لاتزال تستخدم بشكل كبير كمحطات طوارئ لتغذية الاجزاء الرئيسية من الشبكة في حالات الضرورة .

٤- محطات احتياطية : تستعمل وحدات الديزل كمحطات احتياطية مع المحطات الهيدروليكية وذلك لتغطية الحمولة في حالة نقص كمية المياه كما تستخدم على التوازي مع المحطات البخارية لتغذية الحمل في حال ارتفاعه بشكل مفاجئ .

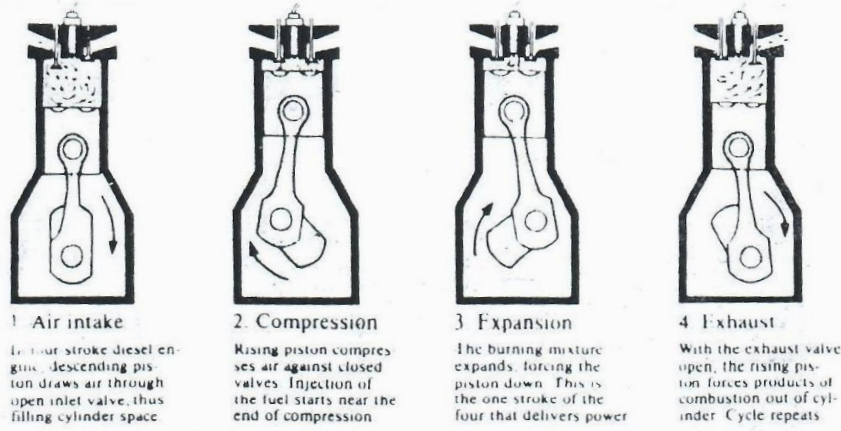
٥- محطات خاصة : لتغذية المصانع والمؤسسات المستقلة والتي لاتستطيع لسبب من الاسباب ان تتلقى القدرة من شبكة الارتباط العامة . ويقتصر استعمالها ضمن حدودها الاقتصادية .

٣- محركات الديزل : Diesel Engines

ان معظم محركات الديزل هي محركات ترددية (Reciprocating Engines) ذات مكابس واسطوانات . وهناك عدة طرق لتصنيف المحركات الترددية ولكن التصنيف الاكثر انتشارا هوالتصنيف الذي يعتمد على نظام الاشتعال المستعمل حيث تقسم الى قسمين رئيسين وهما :

- محركات رباعية الاشواط (Four-Stroke=cycle engines)
- ومحركات ثنائية الاشواط (Two- stroke cycle engines)

وتتطلب المحركات الرباعية الاسواط أربعة اشواط كاملة للمكبس
لاتمام دورة واحدة • ويبين الشكل (2.1) الاشواط الاربعة لمحرك
الديزل •



الشكل (2.1)

١- شوط الدخول : Intake stroke

يقوم المكبس بالهبوط ليمسح للهواء بالدخول عبر صمام الدخول

المفتوح وبذلك تمتلئ الاسطوانة بالهواء •

٢- شوط الضغط : compression stroke

حيث يقوم المكبس بضغط الهواء بعد ان يغلق صمام دخول الهواء •

ويبدأ حقن الوقود في نهاية هذا الشوط •

٣- شوط التمدد Expansion stroke

يتمدد مزيج الهواء والوقود بعد احتراقه مسبباً هبوط المكبس

وهذا هو الشوط الوحيد الذي يولد الاستطاعة •

٤- شوط الخرج : Exhaust stroke

ويفتح في هذا الشوط صمام الخروج ويقوم المكبس الصاعد

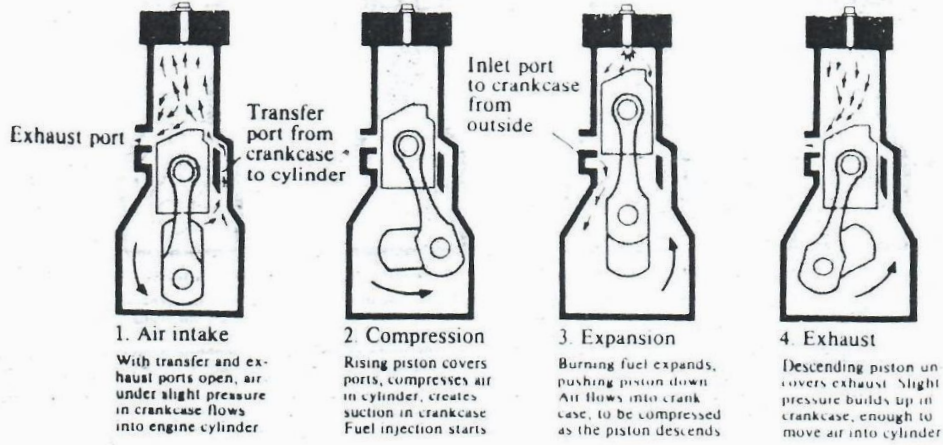
باجبار نواتج الاحتراق على الخروج •

وتعيد هذه الاشواط نفسها خلال كل دورة .

أما المحركات الثنائية الاشواط فهي تختصر الاشواط الاربعة

المستعملة في المحركات الرباعية الاشواط الى شوطين فقط .

ويبين الشكل (2.2) نموذجا لمحرك ثنائي كشوط .



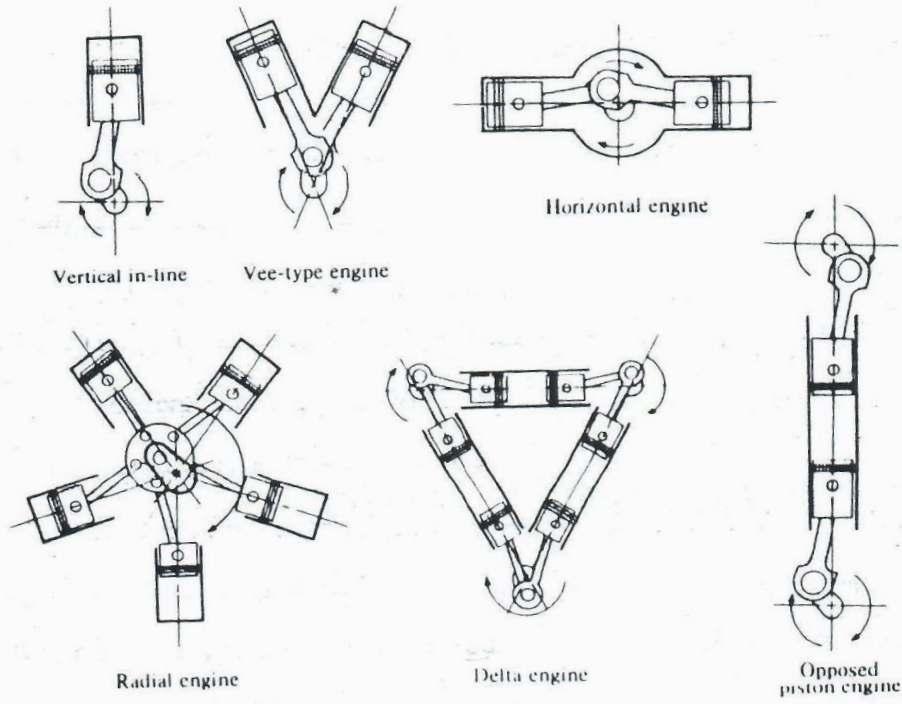
الشكل (2.2)

فعندما يتحرك المكبس الى الاسفل فانه يكشف فتحة الخروج مما يسمح بخروج نواتج الاحتراق منها وبذفس الوقت فان المكبس يضغط مزيج الهواء والوقود في حوض المحرك ويتابع المكبس هبوطه ليسمح لمزيج الهواء والوقود المضغوط لدخول الاسطوانة من حوض المحرك. وفي الشوط الثاني يرتفع المكبس الى الاعلى ليغلق فتحة الخروج وفتحة الدخول وليضغط على شحنة الوقود المتبقية الى ان تقوم شرارة باحراق المزيج الذي يتمدد مجبر المكبس على الهبوط . ويمتاز المحرك الرباعي الاشواط عن المحرك الثنائي الشوط بأنه أكثر اقتصادية في استهلاك الوقود وأفضل تشحيما وأسهل تبريدا على حين يمتاز المحرك الثنائي الاشواط عن المحرك الرباعي الاشواط بأنه يتألف من قطع أقل وبالتالي فانه أخف وزنا وأسهل عملا .

ويبين الشكل (2.3) شكلا تخطيطيا للترتيبات المختلفة لاسطوانات المحركات الترددية . فالمحرك العمودي (Vertical in-line) يستخدم اليوم في المحركات الآلية ذات أربع أوسط اسطوانات والمحرك V (V-engine) يستعمل بشكل عام مع المحركات الثمانية الاسطوانات ويسمى أيضا بمحرك V-8 أما المحرك الأفقي (Horizontal engine) فهو عبارة عن محرك V بزاوية قدرها 180° بين الاسطوانتين المتتاليتين . ويتألف المحرك ذو المكبسين المتعاكسين (Opposed piston Engine) مكبسين ومحورين واسطوانة واحدة وغالبا ما يستعمل هذا النوع من محركات الديزل في محطات الديزل الكبيرة . أما محرك دلتا (Delta Engine) فيتألف من ثلاثة مكابس مربوطة مع بعضها البعض على شكل دلتا ويستخدم هذا النوع من المحركات في صناعة النفط . وأخيرا يتألف المحرك الشعاعي (Radial engine) من حلقة من الاسطوانات في مستوى واحد حيث يوصل عمود احدى المكابس (العمود الرئيسي) بذراع تدوير مرتبطة بالعمود المرفقي (Crankshaft) وتوصل أعمدة المكابس الباقية بالعمود الرئيسي . ويكون عدد الاسطوانات في كل مجموعة فرديا في حال المحركات الرباعية الاشواط . وتمتاز هذه المحركات باستطاعة كبيرة بالمقارنة مع وزنها وهي تتألف عادة من عدة مجموعات . كل مجموعة مؤلفة من حلقة من الاسطوانات وقد استخدمت هذه المحركات في الطائرات قبل اختراع المحركات النفاثة .

٤- الأبعاد الأساسية لمحركات الديزل :

تتعين الأبعاد الأساسية لمحرك الديزل بحساب قطر الاسطوانة وطول الشوط على حين أن سرعة المحرك فتعتبر من مواصفات الآلة .



شكل (2.3)

وتكون محركات الديزل اما بطيئة أو متوسطة أو عالية السرعة. وتعتمد سرعة المكبس على حجم الالة وبالتالي على طول الشوط على حين لاعلاقة للسرعة الدورانية لالة بحجمها .
 ويعتبر معامل السرعة C_s معيار جيد لسرعة المحرك ويعطى بالعلاقة التالية :

$$C_s = \frac{n \cdot v}{100,000}$$

حيث :

• n - السرعة الدورانية (rev/min)

• v - سرعة المكبس (feet/min)

ويعتبر المحرك بطيئاً إذا كان معامل السرعة أقل من 1.2 ومتوسط السرعة إذا كان معامل السرعة ما بين 1.2 - 3.5 ، على حين يعتبر المحرك عالي السرعة إذا كان معامل السرعة ما بين 11 - 3.5 .
وتتراوح قيمة النسبة K بين شوط المكبس L وقطر الاسطوانة D لمحركات الديزل ما بين 1.4 - 1.2 وبتعويض النسبة K في المعادلة السابقة نحصل على معامل السرعة من العلاقة :

$$C_s = \frac{n \cdot v}{100,000} = \frac{2 \cdot n^2 \cdot L}{100,000}$$

وإذا قدرت سرعة المكبس بالسنتيمتر لكل دقيقة فإن :

$$C_s = \frac{2n^2 L}{100,000 \times 30,48} = \frac{n^2 L}{1,524,000}$$

ويمكن حساب السرعة الدورانية للمحرك من المعادلة السابقة

وهي :

$$n = 1235 \sqrt{\frac{C_s}{K \cdot d}} \text{ Rev/min}$$

وتعطي استطاعة الاسطوانة الواحدة لمحرك ذو شوتين بدلالة الضغط الفعال P_e وحجم الاسطوانة وسرعتها الدورانية .

$$P[\text{hp}] = \frac{P_e [\text{Kg/cm}^2] \times \left(\frac{\pi}{4}\right) d^2 [\text{cm}] \cdot L[\text{m}] \cdot n \left[\frac{\text{Rev}}{\text{Sec}}\right]}{75}$$

حيث :

P_e - هو الضغط الفعال المتوسط و d هو قطر الاسطوانة
و L - طول الشوط و n سرعة المحرك الدورانية والعامل 75 .

هو لتحويل الاستطاعة من $\frac{\text{Kg m}}{\text{sec}}$ الى حصان مترى •
 وبتعويض قيمة n بدلالة معامل السرعة واعادة ترتيب العلاقة
 فتصبح الاستطاعة :

$$P[\text{hp}] = 0.00216 P_e d^{2.5} \sqrt{K C_s}$$

وبما أن :

$$1\text{hp} = 0.736 \text{ KW}$$

فان :

$$P[\text{KW}] = 0.736 \times 0.00216 P_e d^{2.5} \sqrt{K C_s}$$

$$P[\text{KW}] = 0.00159 P_e d^{2.5} \sqrt{K C_s}$$

ويحسب قطر الاسطوانة من العلاقة السابقة :

$$d = \left[\frac{630 P}{P_e \sqrt{K C_s}} \right]^{0.4}$$

حيث :

P - هي الاستطاعة بالكيلو واط

P_e - هو الضغط الفعال المتوسط بالكيلو غرام / سم².

C_s - معامل السرعة بالدورة في الدقيقة

K - هي النسبة بين طول الشوط وقطر الاسطوانة

أما بالنسبة للالات الرباعية الشوط فان عدد الدورات الفعالة

هي $\frac{n}{2}$ وتصبح الاستطاعة :

$$P [\text{KW}] = 0.000795 P_e d^{2.5} \sqrt{K \cdot C_s}$$

ومنه فان قطر الاسطوانة للآلات الرباعية الشوط هي :

$$d = \left[\frac{1260P}{P_e \sqrt{KC_s}} \right]^{0.4}$$

أما ان أردنا معرفة قطر الاسطوانة بدلالة السرعة الدورانية

للآلة بدلا من معامل السرعة فنعوض •

$$C_s = \frac{n \cdot v}{100,000}$$

في المعادلات السابقة •

وعندما يوصل محرك الديزل بمولد تيار متناوب فيجب ضبط سرعة

ليعمل عند التردد الطبيعي والمعطى بالعلاقة :

$$f = \frac{NP}{120}$$

حيث :

f - هو تردد بالهرتز

n - السرعة الدورانية (دورة بالدقيقة)

p - عدد أقطاب المولد

وعليه يجب تعديل سرعة المحرك التي استخرجناها لتناسب

السرعة النظامية، وبعد إجراء التعديل يجب إعادة الحسابات وتعديل

قطر الاسطوانة أيضا •

هـ - بعض خواص محركات الديزل :

هـ-1- تغيير خرج المحرك مع الارتفاع :

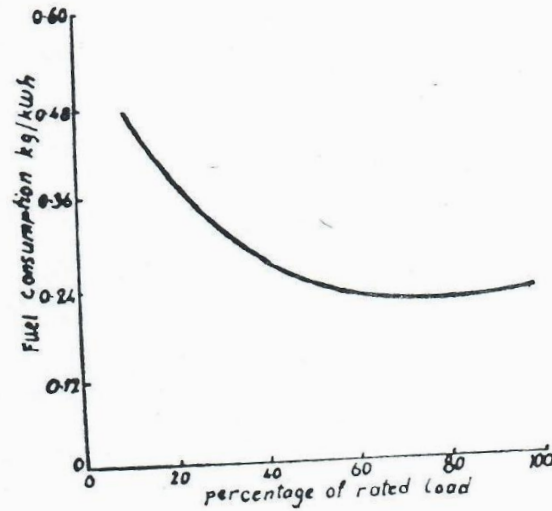
يتغير خرج محرك الديزل مع الارتفاع • ولذلك يجب تعديل

الخرج عندما يعمل المحرك تحت ظروف عمل غير الظروف

النظامية التي تحددها مواصفاته وغالبا ماتصمم محركات الديزل لتكون ثابتة الخرج لغاية ارتفاع 500 ft (150 m) وبعد هذا الارتفاع يبدأ خرج المحرك بالهبوط مع الارتفاع بنسبة تتراوح من 2.5 % الى 3.5 % لكل 1000 ft (300 m) .

٢-٥- احتراق الوقود وحمل المحرك :

يعتمد احتراق الوقود السائل على حمل المحرك فاذا كان حمل المحرك ما بين 100% - 50% من الحمل الكامل فـان مردوده يكون مسطحا تقريبا ولايزداد احتراق الوقود الا قليلا أما اذا كان حمل المحرك أقل من 50% فان معدل احتراق الوقود يكون مرتفعا وغير اقتصاديا ولاسيما للاحمال التي تقل عن 10% ويبين الشكل (2.4) منحنى تغيير نسبة الحمولة مع كمية استهلاك الوقود لمحرك الديزل .



الشكل (2.4)

٣- ضياعات الحرارة :

بعد أن تكمل الاسطوانة دروتها فان نواتج الاحتراق تخرج من فتحة الخروج لتسمح بدخول هواء جديد، لذا فان قسماً من الحرارة يتم فقده مع نواتج الاحتراق الخارجة .
وبسبب درجات الحرارة العالية التي ينتجها الاحتراق ترتفع درجة حرارة جدران الاسطوانة بشكل كبير مما يستوجب تبريدها . ويتم تبريدها عادة عن طريق ماء دائر على قميص الاسطوانة وخلال عملية التبريد ينتقل جزءاً من الحرارة ويبدد في الماء المبرد .

هذا بالإضافة الى أن هناك ضياعات حرارية أخرى ناتجة عن الاحتكاكات وعن الاشعاع .
ونتيجة لكل هذه الضياعات فان الحرارة المستخدمة لتأمين الخرج المفيد تتراوح من 33% الى 40% من الحرارة الكلية الناتجة عن الاحتراق . ويبين الجدول التالي توازن مثالي للحرارة في محرك الديزل .

| | |
|-----------|-------------------------------------|
| 33% - 40% | حرارة الخرج المفيد |
| 30% - 32% | الحرارة المفقودة لماء التبريد |
| 23% - 30% | الحرارة المفقودة مع نواتج الاحتراق |
| 7% - 5% | الحرارة المفقودة بالاحتكاك والاشعاع |
| 100% | المجموع |

٤- ماء التبريد اللازم :

لتحديد كمية الماء اللازمة للتبريد علينا تحديد كمية الحرارة التي يجب ان يمتصها هذا الماء خلال فترة زمنية

معينة ولقد رأينا في الفقرة السابقة أن حوالي % 40 - 30 من الحرارة يتم فقدانها في ماء التبريد وبالتالي فإن ماء التبريد إذا ان يمتص من 30-40% من الحرارة الناتجة عن احتراق كيلو غرام واحد من الوقود مضرية بكمية الوقود المحروقة خلال واحدة الزمن .

هذا وان الفرق الاعظمي المسموح به بين درجة حرارة الماء الداخل ودرجة حرارة الماء الخارج من الاسطوانة هو 11° درجة مئوية . وبالتالي فان كمية الحرارة المنقولة للماء تعطى بالعلاقة :

$$\text{كم} = \text{وزن الماء (كغ)} \times (\text{فرق درجات الحرارة هو } 11^{\circ})$$

حيث كم هي كمية الحرارة (كيلو كالورى) الواجب امتصاصها وللحصول على تبريد جيد لمحركات الديزل يجب ملاحظة مايلي :

- يجب تأمين جريان مستمر للماء اثناء عمل المحرك وتزداد كمية الماء المطلوبة بازدياد حمل المحرك .
- يجب ان لا يتعدى الفرق بين درجة حرارة الماء الداخل ودرجة حرارة الماء الخارجية عن 11° درجة مئوية .
- يجب أن يكون الماء الذى يقوم بتبريد قميص الاسطوانة نظيفاً وخالياً من الشوائب .
- يجب أن لا تزيد درجة حرارة الماء الخارج من الالة عن 60° درجة مئوية .

٦- اختيار محركات الديزل :

٦-١- سرعة دوران المحرك :

تختلف سرعة دوران محرك الديزل تبعاً لاستعماله وتبعاً

لاستطاعة خرج • فتتراوح سرعته بين 1000-1500 دورة في الدقيقة للوحدات المساعدة والتي لا تتجاوز استطاعتها عن 150 حصانا • على حين أن معظم الوحدات الرئيسية لا تتجاوز 600 دورة في الدقيقة وأخير فان وحدات الديزل الرئيسية والتي تتجاوز استطاعتها عن 1000 حصانا لا تتجاوز سرعتها عن 428 دورة في الدقيقة •

٦-٢- عدد وترتيب الاسطوانات :

تكون الاسطوانات المستعملة اما أفقية أو عمودية وتصمم كل اسطوانة لتعطي استطاعة عظمى قدرها 110 KW أو 75 KW في بعض الحالات • ولا يزيد عدد الاسطوانات عن 9 اسطوانات في حال التوضع الأفقي للاسطوانات على حين قد يصل عدد الاسطوانات الى 16 اسطوانة في المحطات المركزية الكبيرة نسبيا

٦-٣- عدد الاشواط :

ان معظم المحركات المتوفرة هي محركات بأربعة أشواط غير أن محركات الشوطين أخف وزنا وأسهل عملا من المحركات الرباعية الشوط كما أن سرعتها ثابتة بالمقارنة مع المحركات الرباعية الشوط • ولكن المحركات الرباعية الشوط أكثر اقتصادية من ناحية استهلاك الوقود وأسهل تبريدا •

٦-٤- الحقن الاضافي :

يمكن زيادة الاستطاعة التي تعطيها محركات الديزل لكل اسطوانة بطريقة الحقن الاضافي • ودون اللجوء لتغيير الشوط أو السرعة بغير الحقن الاضافي في تحسين احتراق الوقود وذلك

عن طريق زيادة وزن الهواء المسخون في الاسطوانة عند بدايية الضغط فعندما يتوفر كميات كبيرة من الهواء فان كمية الوقود التي يمكن حرقها في الاسطوانة خلال كل شوط تزداد دون تغيير جودة الاحتراق ودون تغيير درجة حرارة المكبس أو الاسطوانة وبذلك يمكن انتاج استطاعة أكبر .

٦- القيم الاسمية للمحرك :

تعتمد استطاعة محركات الديزل على عدد الاسطوانات المتوفرة في المحطة ويمكن تشغيلها عادة بزيادة قدرها % 10 عن استطاعتها الاسمية لفترة قصيرة من الزمن. فالمحركات الكبيرة مثلا تصمم بحيث تكون قادرة على تغذية حمل اضافي بزيادة % 10 عن استطاعتها ولمدة ساعتين على الاقل مع المحافظة على نفس درجة الحرارة .

٧- خواص المولدات الكهربائية لمحركات الديزل :

تستخدم المولدات ذات الاقطاب البارزة أي ذات القطر الكبير والطول القصير في محطات الديزل الكهربائية . ويتراوح عدد الاقطاب ما بين 4 و 28 قطب وتتراوح سرعة الدوران ما بين 1500 - 214 دورة في الدقيقة وذلك للحصول على تردد قدره 50 هرتز . وتتراوح سعة المولدات المستخدمة في محطات الديزل بين 25 KVA و 5000 KVA ويكون معامل استطاعتها متأخر . أما جهد المولد فغالبا ما يكون 440 V ماعدا في الوحدات الكبيرة والتي تزيد سعتها عن 1000 KVA فيتراوح الجهد المتولد فيها من 2200 V الى 3300 V , أما مردود المولدات فيتراوح من 92% للوحدات الصغيرة و 95% للوحدات الكبيرة .

ويحتاج المولد الى محرض ليوءمن الجهد المطلوب في حال العمل على فراغ وليحافظ على الجهد عند الحمل . ويكون المحرض مولد تيار مستمر يدار بشكل مباشر من محور الالة الذي يدير المولد الاساسي . وتعتمد سعة المحرض على السرعة وعلى الجهد الاسمي لمولد التيار المتناوب وكذلك مع الجهد اللازم لتعويض هبوط الجهد بسبب الحمل على المولد التيار المتناوب وتكون سعة المحرض عادة بين 2 - 4 % من سعة المولد الاساسي وجهده الاسمي 115V او 230 v .

٨- الابعاد الاساسية لمولدات التيار المتناوب :

بعد أن نختار سرعة محرك الديزل يمكن حساب عدد أقطاب المولد اللازمة للحصول على تردد قدره 50 Hz من العلاقة :

$$f = \frac{p \cdot n}{120}$$

حيث :

f - التردد بالهرتز

p - عدد الاقطاب

n - سرعة الدوران دورة / دقيقة

ويعطى جهد المولد بالكيلو فولت أمبير وبدلالة أبعاد المولد

الاساسية بالعلاقة :

$$E_{ph} = 4.44 K_d \cdot K_p \cdot f \cdot N \cdot \emptyset$$

حيث :

K_d - معامل التوزيع

K_p - معامل الخطوة

f - التردد بالهرتز

N - عدد اللفات بالتسلسل لكل قطب

ϕ - الفيض المغناطيسي لكل قطب بالويبر

ويؤخذ معامل اللفات $0.953 = K_d \cdot K_p$ للاثبات المتوافقة

اللاثبية الطور كما أن الفيض المغناطيسي يعطى بالعلاقة :

$$\phi = B \times \text{Pole Pitch} \times L$$

$$= B \frac{\pi D}{P} L$$

$$\phi = \frac{B \pi D L}{P}$$

حيث :

B - كثافة الفيض المغناطيسي بالويبر لكل سم²

D - قطر الثابت عند الشفرة الهوائية بالسنتيمتر

L - طول الثابت بالسنتيمتر

P - عدد الاقطاب

أما تيار كل طور فيعطى بالعلاقة :

$$I_{ph} = \frac{\pi \cdot D \cdot a_c}{6 N}$$

حيث : a_c هو عدد الامبير ناقل لكل سم من محيط الثابت

وعليه فان خرج المولد يعطى بالعلاقة :

$$S = 3 E_{ph} \cdot I_{ph} \quad \text{V.A}$$

$$S = 3 \left[4.44 \times 0.953 \frac{P n}{120} \text{NB} \frac{\pi \cdot D}{P} L \right]$$

$$S = 10.4 \frac{D a_c}{B a_c} L n \quad \text{V.A}$$

• ويلاحظ أن خرج المولد يتناسب مع أبعاده الرئيسية L و D ومن أجل المولدات ذات الأقطاب البارزة يمكن أن نختار a_c لتكون ما بين 300 و 400 أمبير ناقل للرسم كما يمكن أن نختار قيمة B لتكون ما بين 5.4×10^{-5} و 7.0×10^{-5} و 2 م/سم.

• وبعد أن يتم اختيار كثافة الفيض في الشغرة الهوائية والامبير ناقل يمكن حساب قيمة الحد $D^2 L$ من أجل استطاعة معينة للمولد. أما طول القالب L في المولدات ذات الأقطاب البارزة والسرعفة المنخفضة فيؤخذ عادة ليكون ما بين 0.8 و 1.2 من الخطوة القطبية

أى :

$$L = (0.8 - 1.2) \frac{\pi D}{P}$$

• وبذلك تتحدد أبعاد المولد الأساسية L و D

مثال :

يراد بناء محطة ديزل على ارتفاع قدره 2500 قدم عن سطح البحر وتتكون المحطة من وحدتين استطاعة كل منها 470 كيلوواط ووحدين استطاعة كل منهما 280 كيلوواط • وتستخدم لذلك آلات رباعية الشوط ذات سرعة دوران 357 دورة في الدقيقة ويعتبر الحمل الاعظمي للمحطة 1400 كيلوواط وعند معامل استطاعة متأخر قدره 0.8 ومعامل حمل 50% ومعامل سعة سنوى 44% ومردود المولدات %93 أوجد :

- ١- الاستطاعة الاسمية لكل وحدة.
- ٢- الأبعاد الأساسية للآلات والمولدات.
- ٣- القدرة الكلية المستهلكة في السنة.

الحل :

(١) هناك نوعان من المولدات • النوع الاول استطاعته 470 كيلو واط والنوع الثاني استطاعة 280 كيلو واط • وبمما أن مردود المولدات هو 93% فان استطاعة النوع الاول من المولدات هي :

$$P_1 = \frac{470}{0.93} = 506 \text{ KW}$$

واستطاعة النوع التالي من المولدات هي :

$$P_2 = \frac{280}{0.93} = 301 \text{ KW}$$

فاذا فرضنا أن خرج المحرك يتغير بمقدار 3% لكل 1000 قدم (ماعد أول 500 قدم) فان خرج الالة ينخفض بنسبة :

$$\frac{2500 - 500}{1000} \times 3 \% = 6 \%$$

وعليه فان استطاعة النوع الاول من المولدات يجب أن يكون :

$$P_1 = \frac{506}{0.93} = 538.3 \text{ KW}$$

• ولنعتبر ان $P_1 = 540 \text{ KW}$

واستطاعة النوع الثاني من المولدات تصبح :

$$P_2 = \frac{301}{0.94} = 320.2 \text{ KW}$$

ولنعتبر أن $P_2 = 325 \text{ KW}$

(٢) الابعاد الاساسية للمولد :

ان الالة التي استطاعتها 540 كيلو واط سيكون فيها 8
 اسطوانات استطاعة كل منها 67.5 كيلو واط والالة التي استطاعتها
 325 كيلو واط سيكون فيها 6 اسطوانات استطاعة كل منها 54
 كيلو واط . ولنسحب أبعاد كل اسطوانة .

أبعاد الاسطوانة ذات الاستطاعة 67.5 كيلو واط :

بفرض أن النسبة بين طول الشوط وقطر الاسطوانة هو 1.4 وبمما
 ان الالقرباعية الشوط فان عدد دوراتها يكون $N/2$ ويكون مساوياالى
 187.5 دورة في الدقيقة ، أما الضغط الفعال فلنفرض أنه يساوى

الى 6 Kg/cm^2 وعليه يعطى قطر الاسطوانة بالعلاقة :

$$d = 92 \left(\frac{P}{N \times P_e \times K} \right)^{1/3}$$

ومنه :

$$d = 92 \left(\frac{67.5}{187.5 \times 6 \times 1.4} \right)^{1/3}$$

$$d = 32,2 \text{ Cm}$$

ويكون طول الشوط

$$L = 1.4 \times 32.2$$

$$L = 45 \text{ Cm}$$

أبعاد الاسطوانة ذات الاستطاعة 54 كيلو واط :

$$d = 92 \left(\frac{54}{187.5 \times 6 \times 1,4} \right)^{1/3}$$

$$d = 30 \text{ cm}$$

وطول الشوط .

$$L = 30 \times 1.4$$

$$L = 42 \text{ cm}$$

ولحساب الابعاد الاساسية للمولد نحسب الاستطاعة الظاهرية
باستعمال معامل الاستطاعة 0.8 فتكون الاستطاعة الظاهرية للنوع الاول
من المولدات هي :

$$S_1 = \frac{470}{0.8} = 587.5 \text{ KVA}$$

وتعطي الاستطاعة الظاهرية للمولد بالعلاقة :

$$S = 10.4 \times 10^{-3} \times B \times a_c \times D^2 \times L \times n$$

ولنفرض ان :

$$B = 6.2 \times 10^{-5} \text{ Wb/cm}^2$$

$$a_c = 350 \text{ AC/cm}$$

$$n = \frac{375}{60} \text{ Rev/sec}$$

فان المعادلة السابقة تصبح :

$$587.5 = 10.4 \times 10^{-3} \times 6.2 \times 10^{-5} \times 350 \times \frac{375}{60} \times L D^2$$

ومنه :

$$D^2 L = 416519 \text{ cm}^3$$

وبما ان المولد يدور بسرعة 375 دورة في الدقيقة فان عدد
أقطابه هو 16 قطبا وعليه اذا فرضنا ان طول الخطوة القطبية
مساويا الى L فان :

$$L = \frac{\pi D}{16}$$

وعليه فان :

$$\frac{\pi D}{16} \times D^2 = 416519$$

ومنه :

$$D = 128.5 \text{ cm}$$

$$L = \frac{\pi \times 128.5}{16} = 25.2 \text{ cm}$$

أما بالنسبة للمولد ذات الاستطاعة 280 كيلو واط فان :

$$D^2 L = 248139 \text{ cm}^3$$

وباتباع نفس الطريقة نجد أن :

$$D^2 L = 248139 \text{ cm}^3$$

وعليه فان :

$$\frac{\pi D}{16} \times D^2 = 248139$$

$$D = 108.1 \text{ cm}$$

$$L = 21.2 \text{ cm}$$

(٣) القدرة المنتجة في السنة هي :

$$E = 8760 \times \text{معامل الحمل} \times \text{الحمل}$$

$$E = 1400 \times 0.5 \times 8760$$

$$E = 6132000 \text{ KW.h}$$

المحطات الحرارية

Thermal Power Stations

١- مقدمة :

تنتج المحطات الحرارية معظم الطاقة الكهربائية المطلوبة في معظم بلاد العالم ولكن هناك بعض العوامل التي تشجع على البحث على مصدر جديد للطاقة . فالوقود المستخدم في هذه المحطات هو وقود محدود الكمية مهما كبرت هذه الكمية ، والطلب عليه يزداد يوما بعد يوم ، كما أن الاهتمام بتلوث البيئة قد حث على إيجاد مصادر أخرى للطاقة الكهربائية وذلك لما تنتجه المحطات الحرارية من مخلفات تساهم بشكل كبير في تلوث البيئة .

وبالرغم من كل العوامل السلبية للمحطات الحرارية فإنها لاتزال المصدر الأساسي لإنتاج الطاقة الكهربائية في العالم وذلك لعدم وجود بديل جيد عنها .

فالمحطات النووية تعاني من كلفة باهظة في إنشائها ، كما تعاني من مشاكل أخرى متعلقة بالإشعاع النووي وبالحوادث الطارئة التي قد ينجم عنها كوارث . والمحطات الهيدروليكية مرتبطة بشكل مباشر بتوفر الماء في الأنهار مما يجعل استعمالها محدودا نسبيا بسبب ارتباطها الوثيق بتوفر الماء الكافي لعمل المحطة . أما

مصادر الطاقة الأخرى مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وماشابه فلا تزال حتى الآن في طور الدراسة نسبيا لأنها عجزت حتى الآن عن توليد الطاقة الكهربائية بكميات كبيرة رغم نجاحها في بعض الحالات في تأمين كميات محدودة من الطاقة الكهربائية .

أن أكثر من نصف المحطات الحرارية المنشأة في العالم تعمل بالفحم الحجري وذلك لتوفره ورخصه بالمقارنة مع باقي أنواع الوقود. أما القسم الأخر من المحطات الحرارية فيعمل على البترول أو الغاز الطبيعي . وتحتوي المحطة الحرارية عادة على وحدة توليد واحدة أو أكثر ولكل وحدة توليد مولد بخار خاص بها ، وتتراوح استطاعة هذه الوحدات من 50 ميغا واط الى 1300 ميغا واط .

كما أن درجة الحرارة وضغط البخار قد ازدادا بشكل كبير عبر السنوات ، فضغط البخار قد وصل الى 5000 باوند على الانش المربع ودرجة الحرارة قد وصلت الى 1200 درجة فهرنهايتية في بعض المحطات . إلا أن التجارب والدراسات الحديثة قد أثبتت عدم اقتصادية بناء وصيانة مثل هذه المحطات التي تعتمد على الضغط العالي والحرارة المرتفعة ، ولذلك فإن معظم المحطات الحرارية الحديثة تعمل على ضغط بخار يتراوح ما بين 1000 و 3500 باوند على الانش المربع وعلى درجة حرارة لا تتجاوز 1000 درجة فهرنهايتية .

وتتألف المحطة الحرارية عادة من فرن يقوم بحرق الوقود المستعمل ومن مرجل يقوم بالاستفادة من الحرارة الناتجة في تسخين الماء للحصول على بخار يقوم بقيادة العنفات البخارية والتي تقوم بدورها بإدارة المولدات الكهربائية التي تولد الطاقة الكهربائية المطلوبة .

وسنناقش في هذا الفصل الأنواع المختلفة للوقود المستعمل في المحطات الحرارية المختلفة مبيذين بذلك مميزات كل نوع ومساوئـه ثم ننتقل الى حارقـات الوقود والافران التي تقوم بتحويل القدرة الكيميائية الكامنة في الوقود الى قدرة حرارية . كما سنقوم بدراسة مفصلة لمولدات البخار وأنواعها المختلفة والتي تقوم بتحويل الحرارة الى بخار يستعمل لقيادة العنفات البخارية .

وأخيرا سنقوم بدراسة لانواع العنفات البخارية المختلفة ذاكرين محاسن ومساوى ٤ كل منها .

٢- أنواع الوقود:

٢-١- الفحم الحجري : Coal

يعتبر الفحم الحجري أكثر أنواع الوقود استخداما في المحطات الحرارية وذلك بسبب توفره في الطبيعة بكميات كبيرة نسبيا ولكن هناك أنواعا عديدة من الفحم لكل منها خواص ومميزات تختلف عن بقية الأنواع . وحين اختيار الفحم لاستعماله في تطبيق معين علينا أخذ عدة نقاط بعين الاعتبار .

النقطة الاولى هي نسبة الكبريت في الفحم ، فالبرغم من أن الكبريت مادة قابلة للاحتراق الا أن أكسيد الكبريت الناتج عن الاحتراق يعتبر ملوثا للبيئة ويصعب التخلص منه قبل أو بعد الاحتراق ولذلك يفضل ان تكون نسبة الكبريت في الفحم أقل ما يمكن (واحد بالمئة أو أقل) .

ومن الخواص التي يجب ان نبحث عنها في الفحم هي قابلية لتحمل الطقس الخارجي ، فمعظم المحطات الحرارية التـسيـي

تستعمل الفحم تخزينه خارج المحطة على شكل كومات كبيرة مفضوطة بشكل جيد وذلك لسحب الهواء المتواجد بين الفحم حتى لا يكون عرقه للاستعمال . فاذا كان الفحم من النوع الذى يتكسر كثيرا أثناء عملية التخزين فان القطع الصغيرة منه ستجرف أثناء سقوط الامطار مما يسبب ضياعا في الطاقة وتلوثا في المياه .

خاصة شالثة ومهمة يجب أخذها بعين الاعتبار حين اختيار نوع الفحم المناسب لمحطة ما الا وهي قابليته للطحن وخاصة اذا كانت حارقات الفحم في المحطة الحرارية من النوع الذى يحتاج الى الفحم المسحوق حيث يجب ان يطحن الفحم الى نعومة تفوق نعومة معظم المساحيق الوجهية . وتقاس قابلية الطحن بالاستطاعة اللازمة لسحق الفحم الى نعومة معينة فكلما صغرت هذه الاستطاعة كلما كان الفحم أجود .

وأخيرا تعتبر القيمة الحرارية للفحم من أهم ميزاته وتعرف على أنها كمية الطاقة الكيميائية الموجودة في واحدة الكتلة أو واحدة الحجم ، وتقاس القيمة الحرارية بالوحدة الحرارية البريطانية لكل باوند (Btu/ Lb) أو بالكيلو جول لكل كيلو غرام (KJ/Kg) . وهناك في الحقيقة قيمتان حراريتان للفحم وهما القيمة الحرارية العليا (HHV) والقيمة الحرارية الدنيا (LHV) والفرق بينهما متعلق بالحرارة الكامنة في تبخر الماء ، وبما أن الحرارة الكامنة في تبخير الماء عند الضغط واحد باوند على الانش المربع هو 2400 KJ/ Kg فان العلاقة بين القيمة الحرارية العليا

والقيمة الحرارية الدنيا للفحم تعطى كمايلي :

$$HHV - LHV = 2400(M + 9H_2) \quad \text{KJ/Kg}$$

حيث M و H_2 هما نسبة كتلة الرطوبة ونسبة كتلة الهيدروجين في الفحم المستعمل .

وتعطى معظم الجداول المتوفرة عن الفحم القيمة الحرارية العليا له ، لان القيمة الحرارية الدنيا للفحم تتغير بتغيير نسبة الرطوبة فيه وغالبا ماتعطي هذه الجداول القيم الحرارية العليا لانواع الفحم المختلفة على أساس أن الفحم جاف (ليس فيه رطوبة) وخال من الرماد . ويمكن حساب القيمة الحرارية العليا للفحم بمعرفة النسب المئوية لوزن الكربون والهيدروجين والاكسجين والكبريت فيه حسب العلاقة :

$$HHV = 3,395C + 144200 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 9,400 S$$

ووحدة HHV في العلاقة السابقة هي (KJ/Kg) أما اذا أردنا استعمال الواحدات البريطانية فان العلاقة تصبح :

$$HHV = 14,500 C + 62,000 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 4,000 S$$

• وواحد HHV في هذه الحالة هي (Btu/lb)

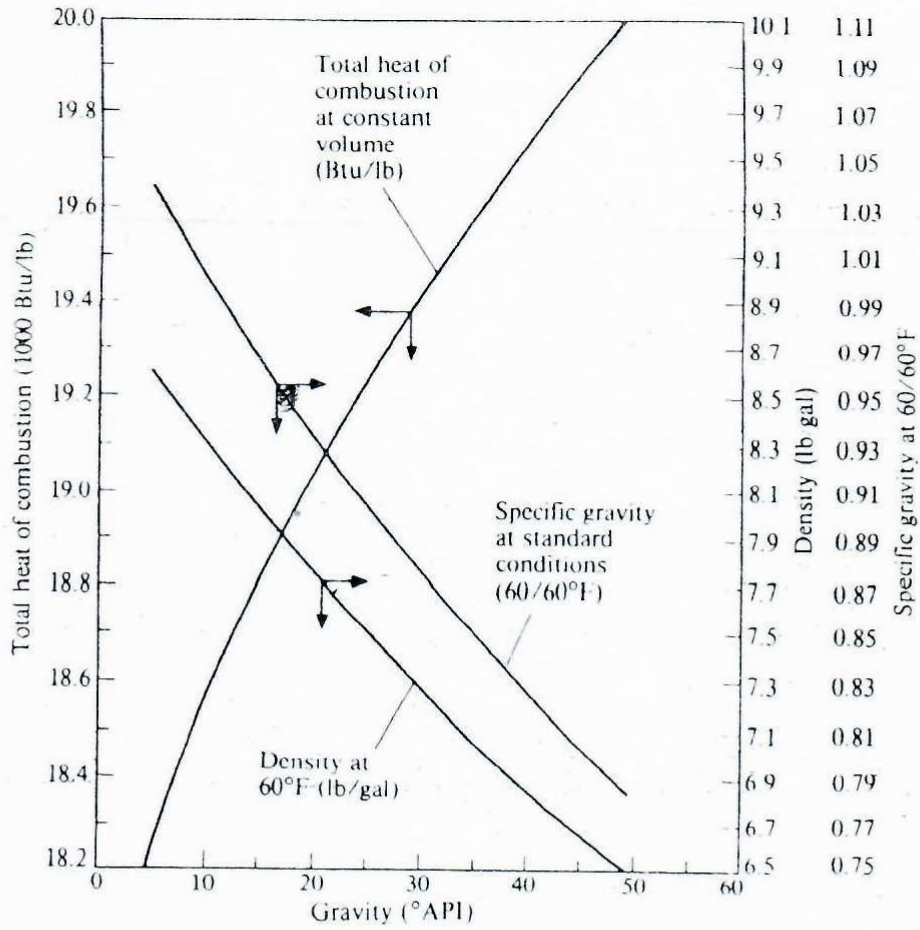
وأخيرا تجدر الاشارة الى أنه يتم تحليل الفحم بطريقتين الاولى تسمى بالتحليل التقريبي وتعطي هذه الطريقة نسبة الكربون الثابت (FC) ونسبة المادة المتطايرة (VM) ونسبة الرطوبة (M) ونسبة الرماد (A) في الفحم الحرجى ، كما أنها تعطي نسبة الكبريت (S) والقيمة الحرارية العليا

• للفتح المحلل (HHV)

أما الطريقة الثانية فتسمى بالتحليل النهائي وتعطى نسبة الكربون (C) ونسبة الهيدروجين (H₂) ونسبة الاوكسجين (O₂) ونسبة الكبريت (S) ونسبة النيتروجين (N₂) للفتح المحلل بالإضافة الى القيمة الحرارية العليا له (HHV) وبما أن القيمة الحرارية العليا للفتح والمعطاة في معظم الجداول المتوفرة تعطى على أساس ان الفحم جاف وخال من الرماد فاذا أردنا حساب القيمة الحرارية العليا للفتح كما هو فان علينا ضرب القيمة الحرارية العليا المعطاة بالنسبة (1-M-A) حيث M هي نسبة الرطوبة في الفحم و A نسبة الرماد فيه .

٢-٢- البترول : Petroleum

ان الخواص الرئيسية للبترول ومشتقاته هي القيمة الحرارية والحادية النوعية ونقطة الوميض ونقطة الجريان . ويعبر عن القيمة الحرارية للبترول عادة بالقيمة الحرارية العليا (HHV) والتي تقاس بالكيلو جول لكل كيلو غرام أو بوحدة الحرارة البريطانية لكل لتر . وتعطى القيمة الحرارية للبترول ومشتقاته بدلالة الجاذبية النوعية (SG) كما هو مبين في الشكل (3م1) وتزداد القيمة الحرارية للوقود ومشتقاته بانخفاض الجاذبية النوعية أو بازدياد ما يسمى بدرجة API (American Petroleum Institute) وهي معيار لمحدودة البترول .



$$^{\circ}\text{API} = \frac{141.5}{\text{Specific gravity at } 60/60^{\circ}\text{F}} - 131.5$$

شكل (3.1)

وتعرف الجاذبية النوعية لاي سائل على أنها كثافة هذا السائل على كثافة الماء عندالدرجة 60°F (15.6°C) وتعطى العلاقة بين الجاذبية النوعية ودرجة API كمايلي :

$$\text{SG} = \frac{141.5}{131.5 + ^{\circ}\text{API}}$$

وتعرف نقطة الوميض لوقود سائل على أنهادرجة الحرارة الدنيا للسائل والتي يشتعل تقريبا عندها البخار المتكون على سطح هذا

السائل • أما درجة الحرارة التي يشتعل عندها البخار المتكون على سطح السائل فتسمى بنقطة الاشتعال وتكون عادة أكبر بقليل من نقطة الوميض •

أما نقطة الحريان فتعرف على أنها أخفض درجة حرارة يبقى عندها السائل قابلا للحريان تحت الشروط النظامية •

وأخيرا لابد من أن نذكر أن هناك بعض المحاسن التي يتميز بها البترول عن الفحم ، فالبتترول أنظف وأسهل معالجة من الفحم ، كما أنه أسهل للتخزين والنقل • هذا بالإضافة إلى أن البترول أسهل احتراقا من الفحم ويخلف قليلا من الرماد ولكن هناك بعض المشاكل المتعلقة باستخدام البترول كوقود ، فالرماد المتبقي رغم قلته يصعب انتزاعه من الأفران كما أن بعض أنواع البترول الخام تحتوي على نسبة عالية من الكبريت الذي يسبب بعد احتراقه تلوثا كبيرا للبيئة • وبالرغم من إمكانية انتزاع الكبريت من البترول إلا أن عملية انتزاع الكبريت مكلفة جدا • كما أن بعض مشتقات البترول تحتوي على مادة الفاندايوم (Vandadium) التي تتأكسد بعد الاحتراق وتسبب تآكلا سريعا للمواد الحديدية الموجودة في معظم المراحل •

وتعطي القيمة الحرارية لبقايا النفط الخام والذي تتراوح درجة API فيه من 10 إلى 20 درجة بالعلاقة :

$$HHV=18,000+40(API-10) \quad \text{Btu/lb}$$

أما النفط المقطر فتتراوح درجة API فيه من 16 إلى

36 درجة وتعطى القيمة الحرارية العليا له بالعلاقة :

$$HHV = 18,900 + 40(API-16)$$

٣-٢- الوقود الغازى : Gaseous Fuels

هناك ثلاثة أنواع من الوقود الغازى وهي الغاز الطبيعي والغاز المصنع والغاز الناتج عن أنواع الوقود الأخرى. وتعتبر القيمة الحرارية العليا للغاز الطبيعي أعلى من القيمة الحرارية للبتروول والفحم حيث تبلغ 55800 KJ/Kg أو بالوحدات البريطانية 24000 Btu/lb . ويعتبر احتراق الغاز الطبيعي أسهل من احتراق أنواع الوقود الأخرى كما أنه يمتزج بامتزاجه الجيد مع الهواء ويحترق تاركاً القليل من الرماد هذا بالإضافة الى أنه أسهل وأرخص نقلاً من البتروول والفحم وخاصة بعد تحويله الى سائل عند الدرجة -127 مئوية ولكن البيئة الأساسية في الغاز هي في كونه صعب التخزين بكميات كبيرة كما أنه أعلى نسبياً من أنواع الوقود الأخرى .

٣- تفاعلات الاحتراق : Combustion Reactions

يعتبر الكربون من أهم العناصر القابلة للاحتراق والتي تؤلف الوقود الهيدروكربوني مثل الفحم الحجري والبتروول والغاز الطبيعي كما أن تأكسده أبطأ وأصعب من تأكسد الهيدروجين أو الكبريت ، وبالرغم من أن درجة اشتعاله أخفض من درجة اشتعال الهيدروجين (درجة اشتعال الكربون 407 درجة مئوية أو 765 درجة فهرنهايتية) إلا أنه يعتبر مادة صلبة ذات درجة اشتعال عالية ، وعليه فهو

ولابد من الاشارة الى أن المصدر الاساسي للاوكسجين هو الهواء
وسنفرض ان 21% من حجم الهواء هو اوكسجين و 79% من حجمه
هو نتروجين و اذا حولنا هذه النسب على أساس الوزن فنجد أن 23.2%
من وزن الهواء هو اوكسجين و 76.8% من وزنه هو نتروجين *

٤- نسبة الهواء الى الوقود (النظرية) :

تعرف نسبة الهواء الى الوقود على أنها الكمية الدنيا للهواء
المطلوب لاتمام عملية احتراق الوقود . ويمكن التعبير عن هذه
النسبة بكتلة الهواء لكل كتلة وقود أو بحجم الهواء لكل واحدة
حجم من الوقود أو بعدد جزئيات الهواء لكل جزئية وقود . وبالاستفادة
من الفقرة السابقة يمكن أن نستنتج أن نسبة كتلة الهواء اللازمة
الى كتلة الوقود تعطى بالعلاقة التالية :

$$\frac{A}{F} = \frac{2.66C + 7.94 H_2 + 0.998S - O_2}{0.232}$$

حيث :

- C - هي نسبة وزن الكربون في الوقود
- H₂ - هي نسبة وزن الهيدروجين في الوقود
- S - هي نسبة وزن الكبريت في الوقود
- O₂ - هي نسبة الاوكسجين في الوقود
- A - كمية الهواء المطلوبة
- F - كمية الوقود المطلوبة .

مثال :

احسب نسبة وزن الهواء الى وزن الوقود لنوع من الفحم أثبتت

التحليل انه يحتوى على 4% رطوبة 5% رماد اذا علمت أن التحليل الجاف لهذا الفحم هو : 83,1% C ، 5.5% H₂ ، 7.4% O₂ ، 2.1% N₂ ، 1.9% S والقيمة الحرارية العليا له هي HHV=34,608 KJ/kg

الحل :

=====

بما أن الفحم المستعمل يحتوى على رطوبة ورماد فلنحسب نسبة الفحم الجاف فيه وهي :

$$(1-M-A) = 1 - 0.04 - 0.05 \\ = 0.91$$

وعليه تكون نسبة العناصر المختلفة كمايلي : 5.01% H₂ ، 75.62% C ، 5% A ، 6.73% O₂ و 1.91% N₂ و 4% M و 1.73% S والقيمة الحرارية العليا هي . HHV=31,493 KJ/Kg

وقد حصل على القيم السابقة بضرب النسب المعطاة في نص

المثال بالعامل 0.91 أما نسبة الهواء للوقود فتعطى كمايلي :

$$\frac{A}{F} = \frac{(2.66)(0.7562) + (7.94)(0.0501) + (0.998)(0.0173) - (0.0673)}{0.232}$$

ومنه :

$$\frac{A}{F} = 10,17 \text{ Kg air / Kg fuel}$$

أما اذا أردنا حساب نسبة حجم الهواء الى نسبة حجم الوقود

فنطبق العلاقة التالية :

$$\frac{A}{F} = \frac{Z_c + 0.25 Z_h + Z_s - 0.5Z_o}{0.21}$$

حيث :

Z_C - نسبة حجم الكربون في الوقود

Z_H - نسبة حجم الهيدروجين في الوقود

Z_S - نسبة حجم الكبريت في الوقود

Z_O - نسبة حجم الاوكسجين في الوقود •

ولابد من الاشارة هنا الى حقيقة أن الاحتراق يتم بشكل جيد اذا امتزج الوقود بالهواء بشكل جيد وتوفر هواء كاف وكانت درجة الحرارة عالية بشكل كاف ولزمن كاف حتى يتم التفاعل وأخيرا لابد ان تكون كثافة الوقود كافية لانتشار واستمرار عملية الاحتراق •

م- عملية الاحتراق الفعلية :

بما أن عملية مزج الهواء مع الوقود لا يمكن أن تكون مثالية فان الاحتراق الجيد يمكن تحقيقه بتزويد كمية كبيرة من الهواء تزيد عن الكمية النظرية المحسوبة • وتبعاً لكمية الهواء الاضافية ودرجة الامتزاج فان الغازات الطاردة والناجمة عن الاحتراق تحتوي على غازات منتجات الاحتراق وهي غاز ثاني أوكسيد الكربون والماء وأوكسيد الكبريت ، كما أنها تحتوي على بعض العناصر التي لم تحترق أو ما يسمى بالعناصر غير المحترقة وهي تتضمن الوقود غير المحترق وغاز أول اوكسيد الكربون وغاز النيتروجين ومشتقاته بالإضافة الى أنواع أخرى من الغازات • وكل الغازات والعناصر السابقة تعتبر ملوثة للطبيعة ماعدا النيتروجين والماء •

هناك طريقتان للتعبير عن كمية الهواء المزود الاحتراق وهما طريقة ايجاد عامل التخفيف (Dilution coefficient) أو اختصاراً (DC) وطريقة حساب نسبة الهواء الاضافي (الزائد) •

و يمثل عامل التخفيف (DC) النسبة الفعلية للهواء والوقود
على النسبة النظرية للهواء والوقود أو :

$$DC = \frac{\text{نسبة A/F الفعلية}}{\text{نسبة A/F النظرية}}$$

أما نسبة الهواء الاضافي (EA) فتعطى بالعلاقة :

$$EA = 100(DC - 1.0)$$

أو :

$$EA = \frac{A/F (النظرية) - A/F (الفعلية)}{(0.01) A/F (النظرية)}$$

وتحسب النسبة الفعلية بين الهواء والوقود عن طريق تحليل
الغازات الطاردة . ويعتبر محلل أورسات (Orsat) من أشهر
محللات الغازات الطاردة . ولن نتطرق في بحثنا هذا على محلل
أورسات بل سنفرض في دراستنا وأثناء حل المسائل ان نتائج تحليل
الغازات الطاردة معلومة أو معطاة لنا .

وقبل حساب النسبة الفعلية للهواء والوقود لابد من أن نذكر
أننا نحتاج الى حساب كمية الكربون الذى لم يحترق اذا كان الوقود
المستخدم وقودا صلبا أى اذا كان الوقود المستخدم هو الفحم
الحجرى . وتعطى هذه القيمة بالعلاقة :

$$C_r = R - A$$

حيث :

• C_r - هي نسبة الكربون المرفوض (غير المحترق) في نواتج الاحتراق .

R - هي الكتلة المتبقية من الفحم بعد الاحتراق

A - هي نسبة الرماد في الفحم .

وعليه تكون نسبة الكربون المحترق هي :

$$C_b = C - C_r$$

حيث C هي نسبة الكربون في الفحم المستخدم والنااتجة عن التحليل النهائي للفحم .

وبعد حساب نسبة الكربون المحترق تعطى النسبة الفعلية بين

الهواء والوقود بالعلاقة التالية :

$$\frac{A}{F} = \left(\frac{(\%N_2) (28.016)}{(\%CO + \%CO_2) (12.01)} \right) \times C_b - N_f / 0.768$$

حيث N_f تمثل نسبة النروجين في الوقود ونحصل عليه من

نتائج التحليل النهائي للوقود .

مثال :

محطة حرارية تستعمل نوع من الفحم نسبة الرطوبة فيه $M = 12\%$

ونسبة الرماد $A = 10\%$ وقد بين تحليل نواتج الاحتراق على ان

القيمة العليا لهذه النواتج هي 581 KJ/Kg كما يبين تحليل

أو رسات للغازات الطاردة بأنها تحتوى على : CO_2 % 14.91 و

O_2 % 3.67 و CO % 0.15 أو وجد عامل التخفيض (DC) ونسبة

الهواء الزائد علما ان التحليل النهائي لهذا الفحم عندما يكون

جافا هو: C % 79.2 و H_2 % 5.5 و O_2 % 8.4 و N_2 % 1.3 و

S % 5.6 والقيمة الحرارية العليا لهذا الفحم هي :

- HHV= 33,422 KJ/Kg

نسبة الفحم الجاف :

$$(1-M-A) = 1 - 0.12 - 0.1 = 0.78$$

وباستعمال هذه النسبة تصبح نسب العناصر المختلفة للفحم

المستعمل كمايلي :

و 12% M و 10% A و 61.78% C و 4.29% H₂ و 6.55% O₂ و

• HHV= 26,069 KJ/Kg , 1.01% N₂ و 4.37% S

ونسبة النتروجين في الغازات الطاردة هي :

$$\%N_2 = 100 - (\%CO_2 - \%O_2 - \%CO)$$

$$= 100 - (14.91 - 3.67 - 0.15)$$

$$\%N_2 = 81.27\%$$

ومن تحليل نواتج الاحتراق نجد :

$$\frac{C_r}{R} = \frac{(HHV)_r}{(HHV)_c} = \frac{581}{32,778}$$

$$\frac{C_r}{R} = 0.0177 \text{ KgC in refuse/Kg refuse}$$

وتكون نسبة الرماد الى النواتج المتبقية عن الاحتراق :

$$\left(\frac{A}{R}\right)_r = 1.0 - \frac{C_r}{R}$$

$$= 1.0 - 0.0177$$

$$= 0.9823 \text{ Kg ash/kg refuse}$$

$$R = \frac{A}{(A/R)_r} = \frac{0.10}{0.9823}$$

$$R = 0.1018 \text{ Kg refuse/ Kg coal}$$

$$C_r = R - A$$

$$C_r = 0.1018 - 0.1$$

$$C_r = 0.0018 \text{ Kg unburned C/kg coal}$$

أما كمية الكربون المحترق فهي :

$$C_b = C - C_r = 0.6178 - 0.0018$$

$$C_b = 0.6160 \text{ Kg burned C/Kg coal}$$

وتكون النسبة النظرية بين الهواء والوقود:

$$\frac{A}{F} = \frac{2.66(0.6178) + 7.94(0.0429) + 0.998(0.0437) - 0.0655}{0.232}$$

$$= 8.457 \text{ Kg air/ Kg coal}$$

والنسبة الفعلية بين الهواء والوقود :

$$\frac{A}{F} = \left(\frac{\%N_2}{\%CO + \%CO_2} \times (2.332)C_b - N_f \right) / 0.768$$

$$= \frac{(81.27)(2.332)(0.6160) / (0.15 + 14.91) - 0.0101}{0.768}$$

$$\frac{A}{F} = 10.081 \text{ Kg air / Kg coal}$$

ويكون عامل التخفيف :

$$DC = \frac{10.081}{8.457} = 1.1920$$

ونسبة الهواء الرائد (EA) :

$$EA = 100(DC-1) = 19.2 \%$$

٦- أنظمة وطرق الاحتراق :

Gas- fired Systems

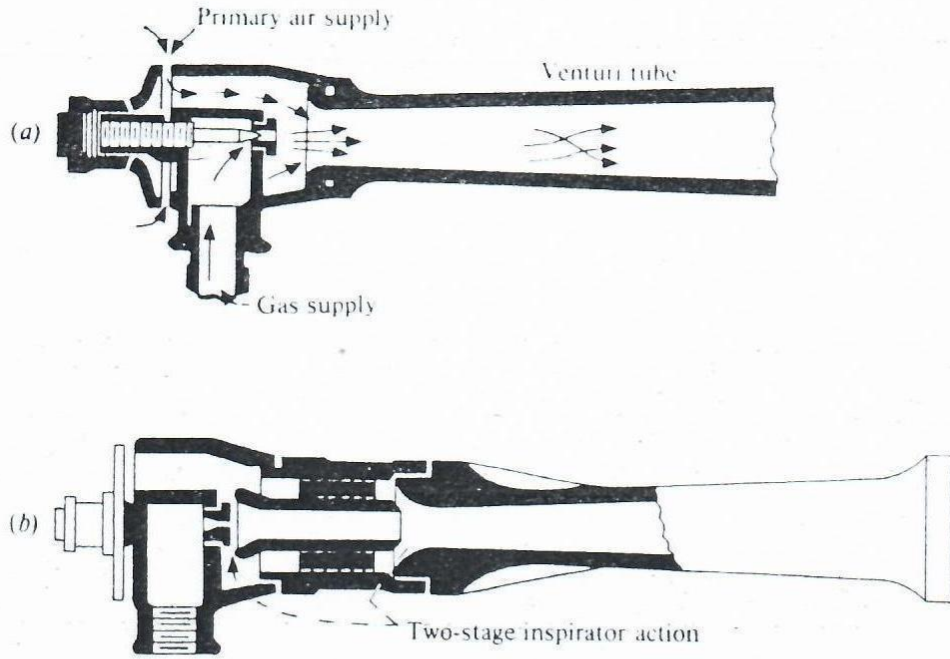
٦-١- أنظمة حرق الغاز :

يعتبر الوقود الغازي بما فيه الغاز الطبيعي من أسهل أنواع الوقود احتراقا ويحتاج للقليل من التحضير قبل احتراقه فيكفي أن يمزج مع الهواء ويشعل ويمكن تحقيق ذلك بعدة طرق .

ويعتبر حارق الغاز الحوي (Atmospheric gas burner) من الحارقات المنتشرة بشكل كبير . ويستعمل عزم الغاز الداخل الى هذا الحارق لسحب الهواء الاولي اللازم ، وتكون نسبة الغاز بهذه الطريقة 70% ونسبة الهواء الاولي 30% أما الكمية الباقية من الهواء والارمة للاحتراق فتسمى بالهواء الثانوي الذي يتم سحبه من حول الحارق لاتمام عملية الاحتراق . ويبين الشكل (3.2) نوعان من حارقات الغاز الحوي .

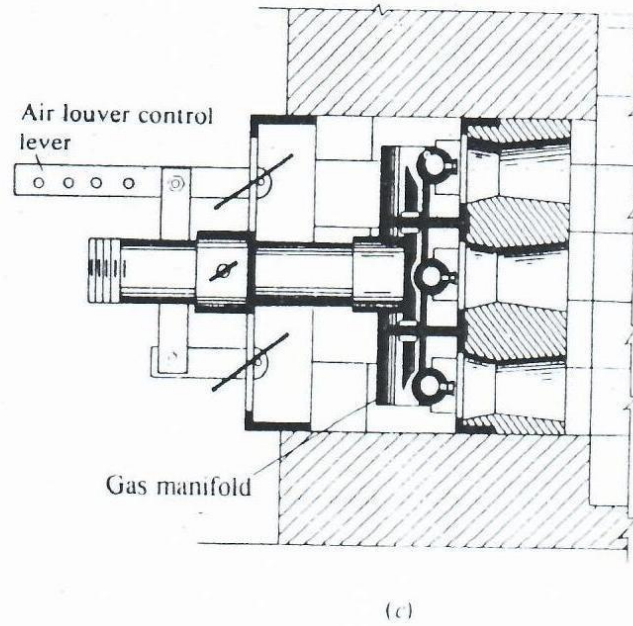
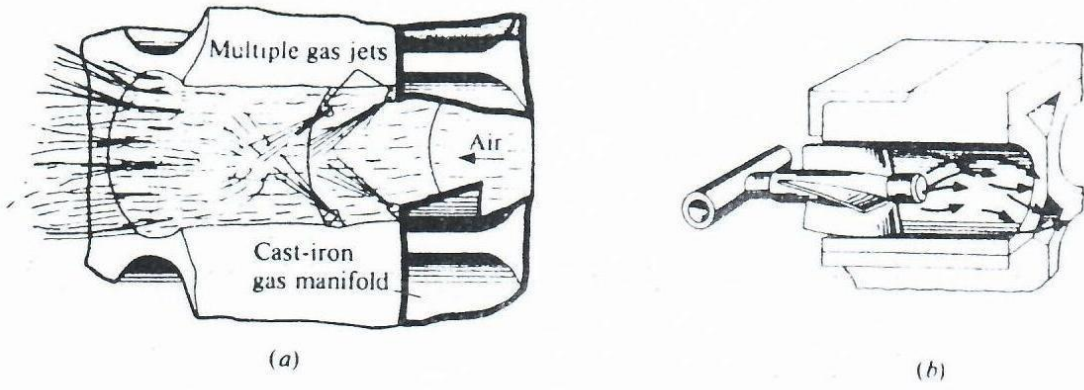
وهناك نوع آخر من حارقات الغاز ألا وهو حارقات الغاز الحرارية (Refractory Gas Burner) . وتعتبر هذه الحارقات مقاومة للحرارة لذا فهي تستعمل في مولدات البخار . ويسحب الهواء من حول الحارق الذي يحتوى على عدة ضمامات

ليدخل منها الغاز ويختلط مع الهواء المسحوب بشكل جيد. ويقاد المزيج عبر انبوب أو نفق مصنوع من مادة مقاومة لدرجات الحرارة العالية لتقوم بحماية الحارق . ويبين الشكل (3.3)



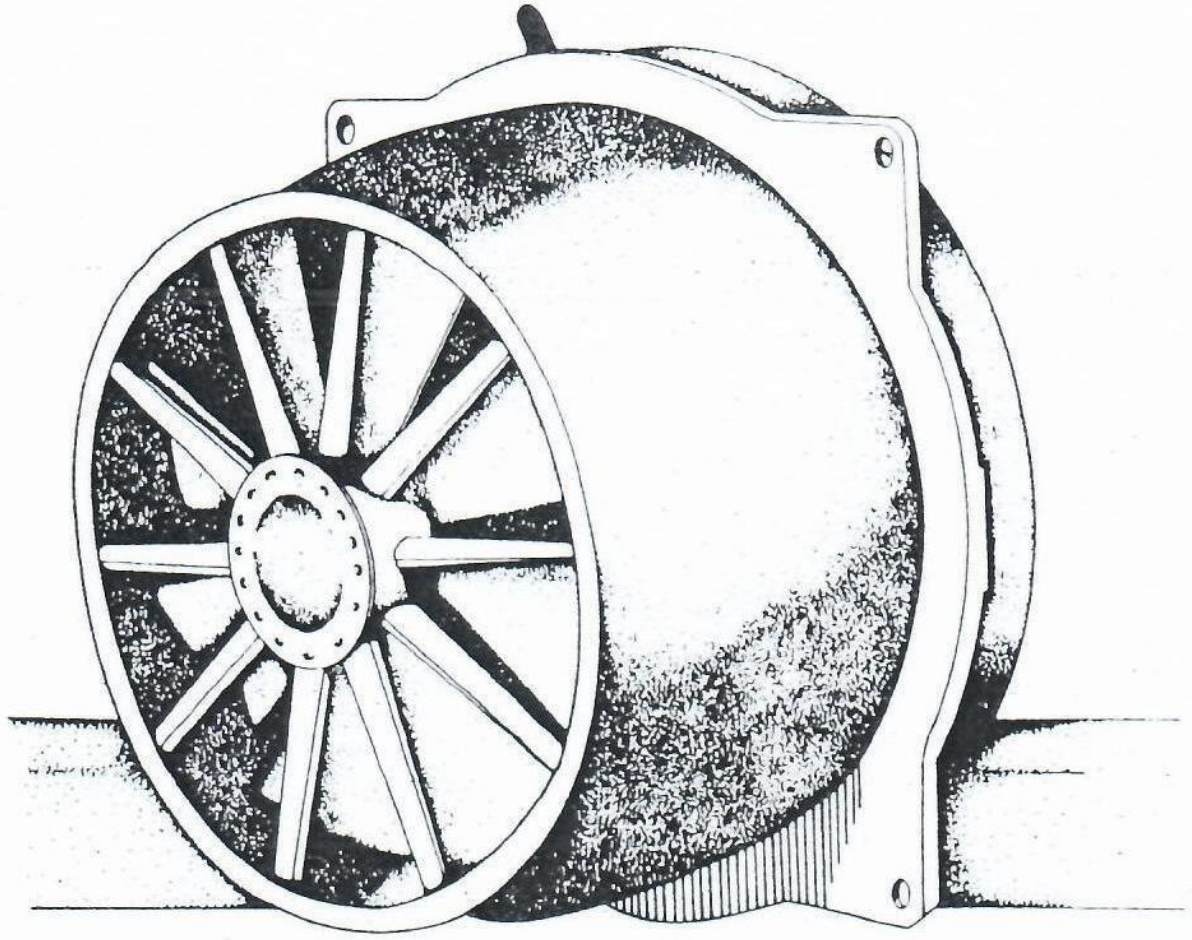
شكل (3.2)

ثلاثة حارقات غاز حرارية حيث يمتزج الهواء والغاز في النوع الاول، من هذه الحارقات في غرفة ممتزج خاصة قبل دخولهما إلى الحارق . أما النوع الثاني فيحتوي على صفائح متوضعة في طريق دخول الهواء إلى نفق الحارق وذلك لتحويل الحركة الدورانية له إلى تيار يدخل الحارق . ويدخل الغاز في النوع الثالث من عدد من السدادات (الفتحات) كما هو موضح في الشكل . كما يبين الشكل (3.4) نموذجا آخر لحارقات الغاز وهو ما يسمى بحارق المزج المروحي (Fan- mix burner) ويخرج الغاز هنا من نوافير متوضعة بزوايا معينة ومتصالبة بشكل



شكل (3.3)

عنكبوتي كما هو موضح في الشكل • وتقوم قوة رد الفعل بتدوير المتصلة العنكبوتية بالإضافة الى تدوير مروحة متصلة بها. وتؤمن المروحة المزج الجيد بين الهواء والغاز كما أن عملية المزج تتم قريبا جدا من الحارق •



شكل (3.4)

المولدات الكهربائية في محطات التوليد الكهرومائية

٣-١- مقدمة :

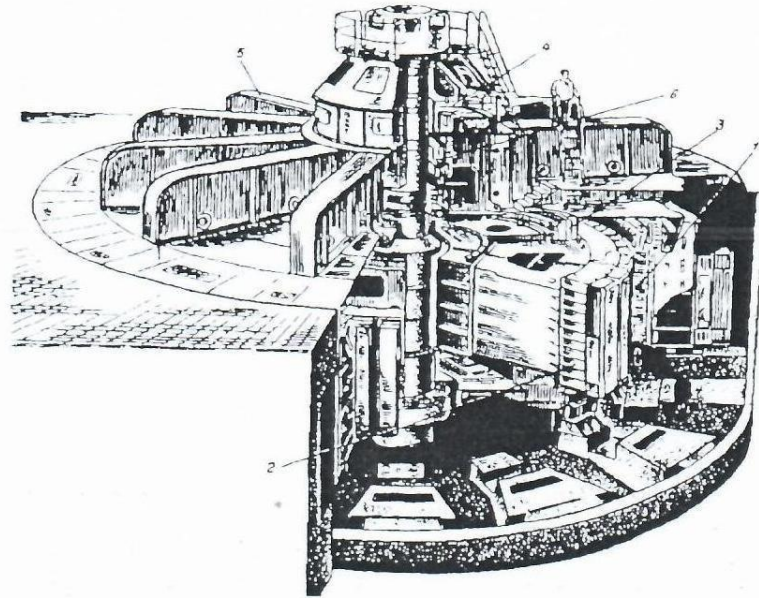
يقوم الماء في المحطات الكهرومائية (الهيدروليكية) مقام البخار في المحطات البخارية ، لذلك يمكن إنشاء المحطة الكهرومائية حيثما اجتمع الماء بشرط أن يكون الماء ذا ارتفاع ضاغط كافي .

* لأبد من دراسة جريان الماء لسنوات عديدة ودراسة إمكانية إنشاء السدود لتأمين الارتفاع اللازم ، إذ إن الطاقة الكهربائية تعتمد على كمية تدفق الماء وعلى ارتفاعه الضاغط . يمكن أن تعمل المحطة الكهرومائية في قاعدة منحني الحمل أو في قمته ويعتمد ذلك على طريقة التخزين . المحركات الأولية المستخدمة هي العجلات المائية .

٣-٢- المولد العجلي (الهيدروآمي) :

ينتمي المولد العجلي (الهيدروليكي) إلى الآلات ذات السرعات الصغيرة ، سرعة دورانه الاسمية أقل من سرعة دوران المولد العنفي (التوربيني) ويمكن أن تأخذ قيم مختلفة في مجال واسع من عدة عشرات إلى عدة مئات من الدورات في الدقيقة . تتعلق سرعة دوران المولد العجلي بتدفق وضغط الماء ، وتصنف بحسب التوضع إلى عمودية وأفقية .

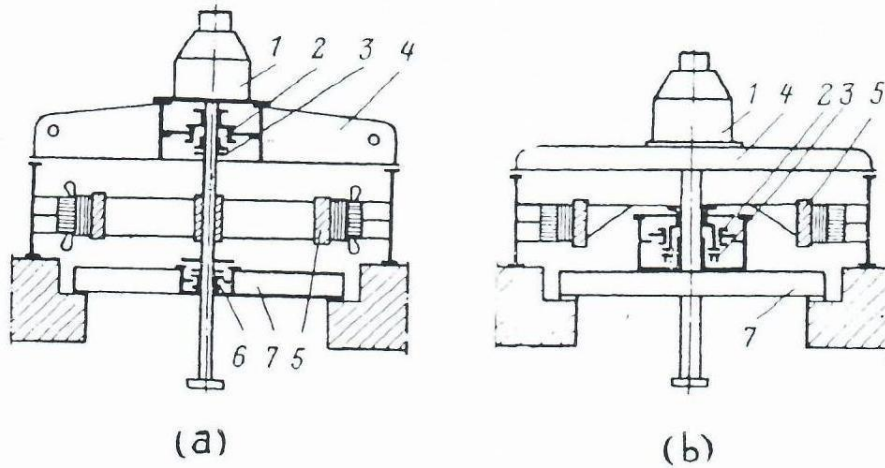
المولدات العجلية ذات الاستطاعة الكبيرة والمتوسطة تكون ذات استخدام عمودي أما ذات الاستطاعة الصغيرة (استخدام أفقي) . المولدات عمودية التوضع تحوي على مسند واحد مشترك بين المولد والعجلة الشكل (1 - 3) . يتحمل المسند المذكور الإجهادات الناتجة عن وزن المولد وحلقة العجلة والمركبة العمودية لرد فعل الماء أما الإجهادات القطرية المؤثرة على الدوار فيتم امتصاصها من قبل مسندي توجيهه ، حيث يقومان بتأمين الوضعية العمودية للدوار .



الشكل (1 - 3) مولد عجلي ذو نظام معلق باستطاعة [MW] 225

تصنف المولدات العمودية بحسب وضع المسند العام إلى مولدات معلقة ومولدات مظلّية حيث يكون المسند في النموذج المعلق في الجزء العلوي من جسم المولد . أما في المولدات المظلّية فيكون متوضّعا تحت الدوار ، الشكل (2 - 3) .

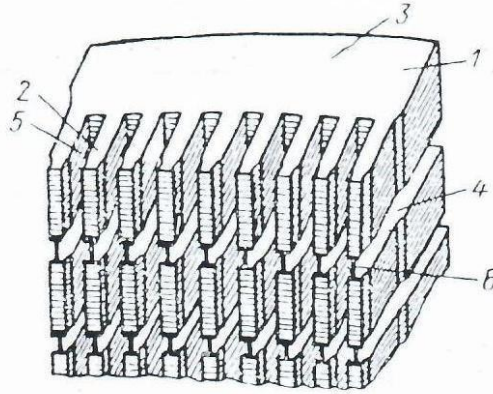
المولدات ذات النموذج المعلق ذات أبعاد أكبر من النموذج المظلّي ، واستخدام هذا النموذج يتحدد بشكل أساسي بالاستطاعة وسرعة الدوران المطلوبة .



الشكل (2 - 3) توضع المولدات العجيلية

a- النموذج المعلق ، b- النموذج المظلّي

جسم الثابت يصنع من صفائح فولاذية وبغية سهولة التركيب والنقل يتم صنعه من مقاطع مستقلة حيث تتركب مع بعضها لتشكل الجسم للثابت ، الشكل (3 - 3) .



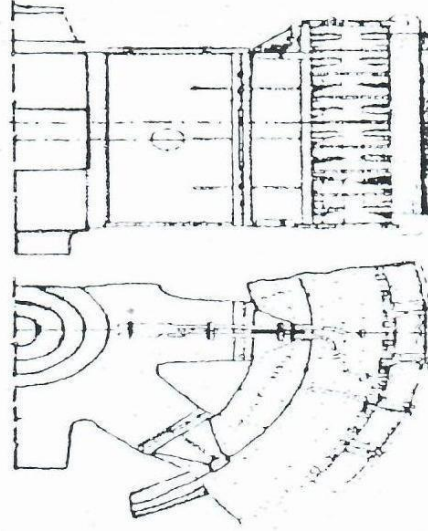
الشكل (3 - 3) مقطع في ثابت المولد العجلى

الملفات في المولدات ذات الاستطاعة الصغيرة نسبياً يتم صنعها من وشائع ، أما المولدات ذات الاستطاعة الكبيرة فتصنع الملفات فيها من قضبان مكونة من نواقل مستقلة كما هو الحال بالنسبة للمولدات التوربينية وتعزل بمواد عازلة مقاومة للحرارة .

اختلاف السرعة الكبير بين المولدات العجلية والمولدات العنقية يؤدي إلى اختلاف جوهري في شكل الدوار ، إذ يكون الدوار في المولدات العجلية ذا أقطاب بارزة ويشكل حلقة كبيرة مكونة من جزء داخلي وجزء خارجي ، مكون من صفائح مجموعة مع بعضها حيث توضع الأقطاب وملفات التهيج على الجزء الخارجي من الحلقة الشكل (3-4) . تحوي أغلب المولدات العجلية على ملفات إخماد توضع في مجاري مغلقة في نهاية جسم القطب .

كلما زاد عدد الأقطاب كلما كان قطر الدوار كبيراً ، ويزداد قطر الدوار مع زيادة استطاعة المولد العجلى ويصاحب ذلك زيادة في الكتلة وإجهادات ميكانيكية كبيرة وخاصة عند سرعات الجنوح التي تزيد على السرعة الاسمية بمقدار 2-3 مرات وهذا يحدث عند انخفاض الحمولة وغياب أجهزة التحكم بالسرعة مما يؤدي إلى حدوث اهتزازات في دوار الآلة .

تصنع الملفات من قضبان نحاسية مصمتة (عند الاستطاعة الصغيرة) أو مجوفة (في حالة الاستطاعة الكبيرة) حسب نظام التبريد المستخدم . [انظر الشكل (2 - 2) الفصل الثاني] .



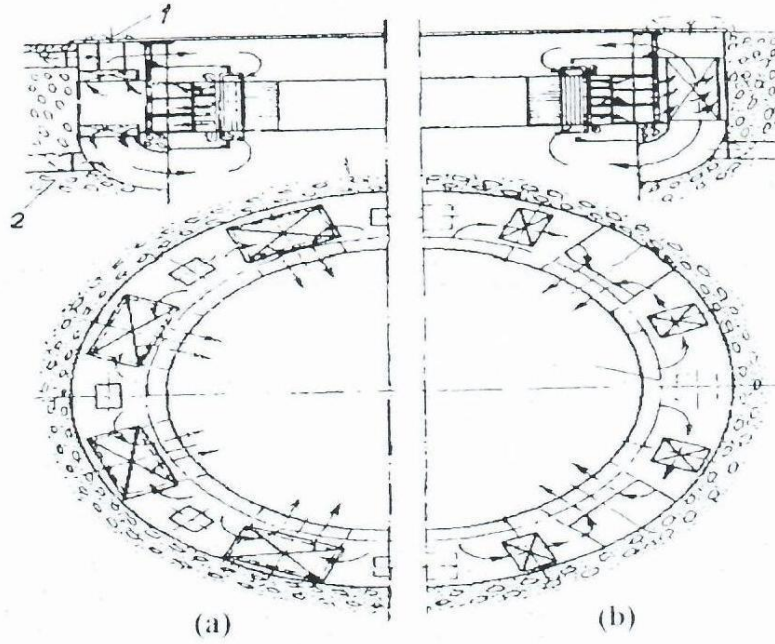
الشكل (4 - 3) مقطع في دوار المولد العجلى

٣-٣- أنظمة التبريد للمولدات العجلية :

تأتي ضرورة التبريد من الحاجة إلى زيادة الاستطاعة المترافقة مع زيادة الضياعات كما هو الحال بالنسبة للمولدات العنقية . حيث وجدنا أن زيادة الاستطاعة تكون ممكنة عند زيادة الحمولة الخطية للثابت والدوار مما يؤدي إلى زيادة التسخين لأجزاء الآلة وبالتالي يتوجب استخدام أنظمة تبريد أكثر فعالية ، أي أن زيادة الاستطاعة للمولدات الكهرومائية ترتبط باستخدام أنظمة تبريد فعالة .

٣-٣-١ - أنظمة التبريد غير المباشر (السطحي) :

عند استخدام التبريد المباشر الهوائي - تتوزع مبردات الهواء على المحور العمودي حول الثابت للمولد ، الشكل (5 - 3) . إما أن يكون التوزيع أفقياً ثنائي الصف ، أو شاقولياً قطرياً ، حيث يدخل الهواء الساخن إلى خزانات تبريد الهواء ومن هناك يوجه إلى الدوار . ويتم تعويض الهواء الناقص عن طريق سحب الهواء من الوسط الخارجي خلال مصافي الهواء .



الشكل (5 - 3) نظام التبريد الهوائي
غير المباشر بالدورة المغلقة للمولد العجلي

٣-٣-٢ - التبريد المباشر (الرأسي) :

يتم التبريد المباشر للمولدات العجلية ذات الاستطاعات الكبيرة باستخدام الماء والهواء
يستخدم الماء لتبريد الثابت والدوار .

٣-٤ - أنظمة العمل الطبيعية وغير الطبيعية للمولدات العجلية :

رأينا سابقاً أن حمولة المولدات تتغير حسب منحني الحمل ، ولمواكبة تغير الحمولات
يتم تغيير الاستطاعة الردية للمولدات العجلية بتغيير تهيج المولد. وأما الاستطاعة الفعلية يتم
تغييرها بتغيير الماء المار عبر العجلة . الزمن اللازم لتغيير حمولة المولد العجلي بالإضافة
إلى وضعه تحت الحمل يبلغ قيمة صغيرة (بضعة دقائق) . العمل الاسمي للمولد العجلي
يتميز بالوسائط الاسمية الآتية :

أ- الاستطاعة الفعلية الاسمية - P_{11}

ب- الاستطاعة الردية الاسمية - Q_{11}

ج- الاستطاعة الظاهرية الاسمية - S_{11}

د- التوتر الاسمي - U_n

هـ التيار الاسمي - I_n

و- عامل الاستطاعة الاسمي - $\cos \varphi_n$

ز- المردود الاسمي - η_n

ح- التردد الاسمي - f_n

ط- درجة حرارة الوسط الخارجى الاسمية وغيرها .

يمكن الحصول على المميزات الأساسية لعمل المولدات العجلية من المخطط الشعاعي الشكل (2-26 a) . و الشكل (2-26 b) الذي يبين علاقة $I, \cos \varphi, Q, P$ كتابع للزاوية δ للمولد العجلى . يلاحظ من العلاقة (2.49) أن الاستطاعة الفعلية للمولد العجلى تتكون من مركبتين :

- مركبة تتبع إلى δ

- ومركبة تتبع إلى 2δ

وهذا ينتج عن أثر القطبية في المولد لذلك يكون مجال العمل المستقر للمولد العجلى أصغر .

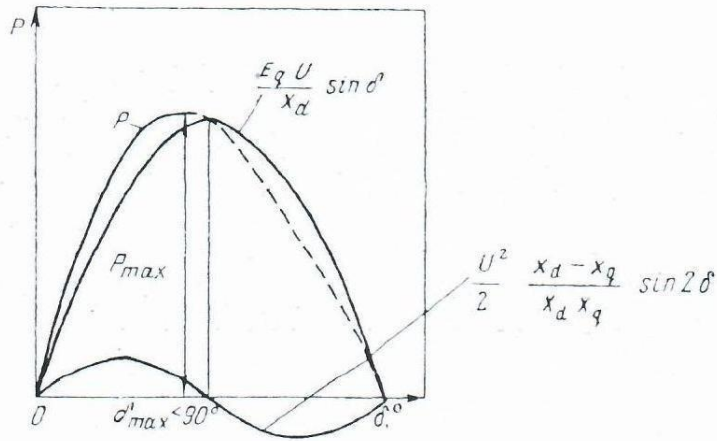
٣-٤-١- عمل المولدات العجلية بحمولات فعلية مختلفة مع ثبات التوتر و التهيج :

تتم زيادة الاستطاعة الفعلية للمولد العجلى عن طريق التحكم بتدفق الماء عبر البوابة المؤدية إلى العجلة وإن زيادة كمية الماء المتدفق عبر شفرات العجلة سوف يؤدي إلى تسارع العجلة وظهور عزم زائد على المحور وبالتالي يحدث تسارع دوار المولد حتى يحصل التوازن من جديد بين عزم العجلة والعزم الكهرومغناطيسى للمولد ، أي ستحدث زيادة للزاوية δ وبما أن التوتر والتهيج ثابتين لذلك فإن نهاية الشعاع E_g سوف ترسم قوس من دائرة ، كما هو في الشكل (2-28 a) .

يكون عمل المولد مستقراً إذا كان المقدار $\partial P / \partial \delta > 0$ وهذا يوافق الجزء الصاعد من مميزة الاستطاعة $P = f(\delta)$ ، على حين أن الجزء الهابط من المميزة المذكورة يوافق حالة

العمل غير المستقر $\partial P / \partial \delta < 0$. الزاوية الموافقة لحد الاستقرار في المولدات العجلية أقل من 90° وذلك بسبب عدم تناظر الدوار $X_q \neq X_d$. وتكون الاستطاعة مؤلفة من مركبتين .

والاستطاعة الأعظمية الموافقة لحد الاستقرار للمولدات العجلية أكبر قليلاً من نظيرتها في المولدات العنقية وذلك بسبب أثر عدم التناظر للدوار مما يؤدي إلى جعل الاستطاعة الفعلية تتكون من مركبتين كما هو واضح في الشكل (3 - 6) .



الشكل (3 - 6) علاقة الاستطاعة الفعلية مع الزاوية δ بالنسبة لمولد عجلي

عند السماح للمولد العجلي بالعمل بحمولة فعلية أكبر من الاسمية لا بد من إنقاص تيار التهيج لتقليل الاستطاعة الردية المعطاة إلى الشبكة ، وإنقاص تيار التهيج يؤدي إلى إنقاص قيمة P_m . أكبر استطاعة ردية معطاة للشبكة :

$$Q_m = \frac{E_q \cdot U}{X_d} - \frac{U^2}{X_{01}} \quad MVar \quad (3.1)$$

والاستطاعة الأعظمية المستهلكة من الشبكة توافق الزاوية $\delta = 90$ درجة :

$$Q_{m2} = -\frac{U^2}{X_q} \quad MVar \quad (3.2)$$

وهي أكبر من الاستطاعة المستهلكة من قبل المولد العنقي وذلك لأن $X_q < X_d$ لهذا السبب يفضل أن تعمل المولدات العجلية في نظام المعوض التزامني وخاصة في أوقات شح المياه .

٣-٤-٢ نظام العمل غير التزامني للمولدات العجلية :

تمتاز المولدات العجلية غير المزودة بملفات إخماد بعزم غير متزامن صغير ومميزة منحدره ، لذلك عند عملها في النظام غير التزامني ، تزداد سرعتها وتنقص حملتها حتى الصفر ، لهذا السبب يتوجب فصلها عند ضياع التهييج مباشرة .

أما المولدات العجلية ذات ملفات الإخماد تمتاز بعزم غير متزامن أكبر ومميزة صاعدة نسبياً بالمقارنة مع حالة عدم وجود ملفات الإخماد ، إلا أن الانزلاق يكون كبيراً 3-5% لذلك تنشأ خطورة التسخين .

يلاحظ أن المولدات العجلية في النظام غير التزامني ، يمكنها أن تعمل من دون حمولة فعلية وتقوم باستهلاك تيار ردي كبير من الشبكة (أقل من التيار الاسمي) ، إلا أن ذلك يكون لزمان قصير جداً (عدة ثواني) .

٣-٤-٣ نظام العمل غير المتناظر للمولدات العجلية :

في المولدات العجلية تكون تيارات المركبة العكسية أقل بالمقارنة مع المولدات العنقية ، وذلك بسبب غياب الأجزاء المصممة ، وبالتالي يكون التسخين أقل . تؤدي تيارات المركبة العكسية إلى تسخين ملفات الإخماد ونشوء إجهادات ميكانيكية إضافية واهتزاز في المولدات العجلية . يسمح باختلاف بين تيارات الأطوار بمقدار 20% عندها تشكل المركبة العكسية 10% من المركبة المباشرة .