جامعة حماه
الكلية التطبيقية

مدخل إلى الاقتصاد الهندسي

قسم التغذية - سنة ثانية

- فصل ثاني -

العام الدراسي ٢٠١٦ - ٢٠١٧

/ المحاضرة الأولى /

د.م. صفوان القلفة

مدخل إلى الاقتصاد الهندسي

أولاً - مفاهيم أساسية :

إن علم الاقتصاد يدخل في جميع أنواع وأقسام واختصاصات الهندسة فهو يعتمد بشكل أساسي على تنفيذ العمل الهندسي بأقل التكاليف بشرط المحافظة على الحدود المسموح بها من أجل تصميم وتنفيذ واستثمار ذلك العمل الهندسي المطلوب وفقاً للمعايير والمقاييس الدولية وبالنسبة لدولتنا تعتمد المقاييس السورية لكل اختصاص هندسي، حيث يتم إصدار نشرات سنوية دائمة التحديث من قبل الهيئة السورية العامة للمعايير الهندسية وأحياناً تعتمد معايير دولية عامة تستخدم في جميع أنحاء العالم.

في الكلية التطبيقية وعلى وجه الخصوص قسم التغذية - سنتناول موضوع الاقتصاد المتعلق بقسم التغذية في الهندسة الكهربائية بشيء من التفصيل والاكتفاء بذلك كون بحث الاقتصاد الهندسي عام وشامل ولا يسعنا أن نتناول في الهوامش لكل اختصاص هندسي يدرس في جامعاتنا.

ثانياً - القيمة الزمنية للأموال :

إن لصاحب أي مشروع صناعي كان أم زراعي، أو الاستثمار في أي مشروع كان، يعتبر هو المال، والمال تعريفاً هو النقد المحلي أو الأجنبي الذي يستخدم الصناعي أو الزراعي أو المقاول لتنفيذ مشروعه الهندسي فهنا معادلة هامة له ألا وهي :

P - المال المستخدم في المشروع + إنجاز العمل المطلوب = المال المستخدم في المشروع + الأرباح الصافية من المشروع،

ب - المال المستخدم في المشروع + إنجاز العمل المطلوب = المال المستخدم في المشروع - المال الصافي العائد لصاحب المشروع.

في الحالة الأولى (أ) يكون المشروع رابحاً خلال فترة تنفيذ المشروع، آخذين بعين الاعتبار الفترة الزمنية للتنفيذ وسعر رأس المال المشروع وهو حسب الميزان التجاري يجب أن يكون معدل رأس مال المشروع لا يقل عن (25%) من رأس المال المستثمر. هذا إذا كان المشروع ودورته الزمنية محدودة، أما إذا كان المشروع صناعياً فتحسب دورته الزمنية بعدد سنوات رأس المال والبدء بجني الأرباح وبالتالي سعر معدل رأس المال خلال فترة الربح الصافي آخذين بعين الاعتبار رأس المال الثابت الذي يبقى في المشروع (الآلات المنتجة في المصنع) وعدد سنوات الاستهلاك الكلي لكل آلة موجودة في المصنع.

أما في الحالة الثانية (ب) فربما يكون المشروع خاسراً نتيجة عدم الدراسة الجدية والدقيقة للجدوى الاقتصادية للمشروع مهما كان نوعه أو الظروف الخارجة عن الإرادة والتي بسببها ربما يصبح المشروع خاسراً (علماً أن الدارس للمشروع يجب أن يستخدم قوانين الاحتمالات الرياضية والاستقراء بنوعيه من أجل رفض أو قبول فكرة تنفيذ مشروع ما).

مما سبق نستنتج القيمة الزمنية للأموال والتي تكون مرتبطة بشكل وثيق بالدورة الزمنية لتنفيذ المشروع والبدء بجني الأرباح من ذلك المشروع إن كان صناعياً أو منافسته كما سنرى في الحالة (أ) إن كان استثماراً أو زراعياً أو تجارياً.

من هنا نجد أن التقييم الاقتصادي والمالي لأي مشروع كان يلعب الدور الأساس في الإقدام أو الرفض لمشروع ما أو الاختيا

إذ تتم المفاضلة من عدة مشاريع هندسية مطروحة.

ثالثاً ـ التقييم الاقتصادي المالي للمشاريع الكهربائية:

التقييم الاقتصادي المالي لأي مشروع كان يعني إعداد ومناقشة المفاضلة الاقتصادية للمشروع والتي يمكن أن تتم من خلال: ١ ـ العملية الشاملة والدقيقة للمشروع بشكل عام والكهربائي بشكل خاص.

٢ ـ النظرة العامة والثاقبة لاختيار المشروع الكهربائي من ناحية أهميته.

٣ ـ أساليب المفاضلة بين عدة مشاريع كهربائية والتي يمكن إجمالها بما يلي:

١ ـ الأساليب الاقتصادية للمشروع الكهربائي.

يمكن أن نتناول أساليب المفاضلة للمشروع الكهربائي من الناحية الاقتصادية وذلك:

* ـ حسب نوع المشروع (العام ـ الخاص) وذلك بالنسبة للاقتصاد القومي للبلد، تحديداً من خلال الأمور التالية:

أ ـ أهمية المشروع في عملية التنمية الاقتصادية، هل المشروع صناعي أم زراعي وهنا يتضح لنا أن المشروع الصناعي سيكون أهم من الزراعي في عملية التنمية الاقتصادية.

ب ـ أهمية المشروع بالنسبة للأمن القومي، فمثلاً إقامة مشروع زراعي / كزراعة القطن / سيكون أهم للأمن القومي من / زراعة العوالك / أو إقامة محطة كهربائية تعتمد على الغاز أهم للأمن القومي من إقامة محطة كهربائية تعتمد على طاقة المياه

بالنسبة لمعدلة تنتج الفان ومتابع أنها التي ستتمتع بالمد وبالتالي تتوفر المنتجات المنتجة للكهرباء لاستخدام بها الدولة التي ستقيم مثل هذا المشروع .

ه - أهمية المشروع بالنسبة للقوى العاملة (مدى أثر المشروع الكهربائي على القوى العاملة / العاملين / ، ودور هذا المشروع بالمساهمة بتخفيض نسبة البطالة بالبلد .)

ه - أهمية المشروع في ميزان المدفوعات ، إذا كان المول هي الدولة (عام) ، أو كان المول القطاع الخاص (خاص) .

٢ - الأساليب الفنية للمشروع الكهربائي ، أي أن تتم دراسة المشروع من كافة جوانبه الفنية والتي تشمل (حجم المشروع المناسب للبلد - اختيار القوى العاملة الفنية اللازمة لتنفيذ المشروع - استيراد واستخدام التكنولوجيا في انشاء المشروع الكهربائي) .

٣ - الأساليب المالية للمشروع الكهربائي ، فهنا يجب إعطاء أهمية كبيرة للأساليب المالية (التكلفة العامة للانتاج - الايرادات والفوائد الصافية والعائد للمستثمر) .

بعد دراسة الأساليب الثلاثة الماضية نستنتج طبيعة وأهمية تقييم المشاريع الكهربائية والتي أصبحت من المواضيع الحديثة والمتقدمة اقتصادياً وذلك لتناولها (تحقيق الأهمية المثلى للاستخدام ضمن الظروف المتاحة بالنسبة للبلدان المتقدمة) و (تحقيق عملية التنمية الاقتصادية بالنسبة للدول النامية لما لها من علاقة وثيقة بالاستثمار الأمثل للموارد الموجودة ضمن تلك الدولة النامية) .

إن استيعاب مفهوم عملية تقييم المشروع الكهربائي، توضح المعايير اللازم من خلالها التوصل لاختيار المشروع الكهربائي البديل أو المشروع المناسب من بين عدة مشاريع مقترحة، أهم تلك المعايير:

١- المفاضلة بين توزيع المشروعات المطروحة أو اللجوء إلى مشروع جديد.

٢- المفاضلة بين إنتاج أنواع معينة من السلع أو المواد.

٣- المفاضلة بين أساليب الانتاج للوصول إلى الأمثل المناسب.

٤- المفاضلة بين المشاريع استناداً للأهداف الموضوعة والمحددة للمشروع.

٥- المفاضلة بين المواقع البديلة للمشروع المقترح.

٦- المفاضلة بين الأحجام والاستطاعات المختلفة للمشروع المقترح.

٧- المفاضلة بين البدائل المقترحة ضمن المشروع الواحد.

إن أهمية تقييم المشروعات يمكن أن تعود إلى عدة عوامل أهمها:

- ندرة الموارد الاقتصادية وخاصة رأس المال وذلك بسبب تعدد المجالات والنشاطات التي يمكن أن يستخدم بها.
- التقدم العلمي والتكنولوجي الذي وفر العديد من البدائل في طرق الانتاج وذلك من خلال ثورة الاتصالات والمعلومات التي وفرت الجهد والمال الكثير.
- تحقيق الاستخدام الأمثل للموارد المتاحة في البلد التي ترغب استثمار أو تنفيذ مشروع كهربائي ما.

بعد أن تحدثنا عن أهم المعايير الاقتصادية والتي من خلالها يمكننا التوصل إلى اختيار المشروع المناسب بشكل عام أو (الكهربائي) بشكل خاص يمكننا الآن التحدث عن بعض المعايير الخاصة بالنقد (المال) بالنسبة لأي مشروع وبشكل خاص للمشروع المالي ومنها :

١- المعايير التي تعتمد على التدفقات النقدية بالعملة المحلية أو العملة الواردة (الأجنبية) وطرق استثمارها بما يؤدي إلى الحفاظ على الموازنة المالي الاقتصادي للبلد الذي فيه سيتم انشاء وتنفيذ المشروع الكهربائي ودراسة تأثر الأمن القومي للبلد بذلك .

٢- المعايير التي تأخذ القيمة النقدية بعين الاعتبار عند دراسة المشروع من الناحية المالية والتي تعرضنا لها عند ذكر الأساليب المالية في التقييم الاقتصادي للمشروع حيث تأخذ هذه المعايير أمور التضخم العامة والعاملة للمشروع .

٣- المعايير التي تعتمد على نظرية القرارات واتخاذها من الناحية المالية واستثمار نظرية المعلومات وتقنياتها في عملية ترشيد وضبط القيمة المالية للمشروع الكهربائي .

٤- معيار صافي القيمة الحالية للمشروع الكهربائي .

٥- معيار معدل العائد المالي للمشروع الكهربائي .

٦- معيار فترة الاسترداد (الربحية الجارية) والتي سنتناولها بشيء من التفصيل لأهميتها حيث كلما كانت فترة الاسترداد قصيرة كلما كان المشروع أفضل من الناحية الاقتصادية وبالتالي يمكن تفضيله عن مشروع آخر لنفس الهدف ولكن فترة الاسترداد فيه أكبر من المشروع الكهربائي الأول .

يمكن حساب فترة الاسترداد المالي بإحدى الطريقتين الشائعتين :

أ- وفقاً لقسم الطلقة الاستثمارية الأولية للمشروع على المتوسط الحسابي للتدفقات النقدية السنوية المتوقعة .

$$\text{فترة الاسترداد} = \frac{\text{الطلقة الاستثمارية الأولية للمشروع}}{\text{المتوسط الحسابي للتدفقات النقدية السنوية المتوقعة}} \quad \ldots (3-1)$$

ب- وفقاً لقسم الطلقة الاستثمارية الأولية للمشروع مطروحاً منها قيمة المنشأة بعد انتهاء المدة المتوقع أن تعمل بها على التدفقات السنوية المتوقعة

$$\text{فترة الاسترداد} = \frac{\text{الطلقة الاستثمارية الأولية للمشروع} - \text{قيمة المنشأة بعد انتهاء فترة عملها}}{\text{التدفقات السنوية المتوقعة}} \quad \ldots (3-2)$$

وفي كلا الحالتين يكون المشروع الأفضل هو الذي لديه فترة استرداد أقل وبالتالي يكون أكثر ملاءمة للمشاريع الاقتصادية وخاصة الكهربائية منها حيث تكون الفترة الأدق هي التي تحددها الطريقة (ب) والتي يستعملها الباحثون عند دراسة المشاريع الكهربائية.

مما سبق يمكن اختصار تعريف معيار فترة الاسترداد على أنه : الفترة التي تتساوى عندها التدفقات الداخلة والخارجة للمشروع الكهربائي .

مثال : تود إحدى الشركات شراء آلة كهربائية بمبلغ (60000 L.S) ، ومن المتوقع أن تحقق دخلاً سنوياً صافياً قدره (22000 L.S) علماً أن موثوقية عملها هي ثمان سنوات يصبح بعدها غير صالحة للاستعمال (يصبح ثمنها الخردة 6000 L.S/) والمطلوب :

معرفة فترة الاسترداد فهل تكون :

(27 years - د - 25 years - ب - 5 years - أ)

الحل :

بتطبيق العلاقة (3-1) ⇐

$$\text{فترة الاسترداد} = \frac{\text{الكلفة الاستثمارية الأولية للمشروع}}{\text{المتوسط الحسابي للتدفقات النقدية السنوية المتوقعة}}$$

$$\text{فترة الاسترداد} = \frac{60000}{22000} = 2,7 \text{ سنة (الاختيار د)}$$

وبتطبيق العلاقة (ب) كون الآلة (المشروع) ربحي ⇐

$$\text{فترة الاسترداد} = \frac{60000 - 6000}{22\,000} = \frac{54000}{22000}$$

$$\text{فترة الاسترداد} = 2,5 \text{ سنة (الخيار ب)}$$

= . = . = . = . = .

قسط التجميد السنوي

إن لكل آلة صناعية أو معمل أو منشأة مهما كانت درجة عمرا معينا تهرم بعده ويصبح أداؤها يكون قاصرا تماما وعلى القائمين عليها استبدالها، عادة تهتم دعوى الآلات أو المنشآت بالسنين وذلك حسب نوع المنشأة أو الآلة وظروف العمل لها وعلى سبيل المثال نبين في الجدول الآتي أهم المنشآت في علم الطاقة الكهربائية ومتوسط أعمارها :

اسم المنشأة	العمر الوسطي بالسنين
1- السدود	100 - 150
2- المباني الادارية	50 - 70
3- محطات توليد مائية	35 - 40
4- محطات توليد بخارية	20 - 25
5- محطات توليد الديزل والغازية	12 - 20
6- محطات تحويل	25 - 35
7- خطوط نقل :	
أ- أبراج حديدية واسمنتية	30 - 40
ب- أبراج خشبية	12 - 20
ج- كابلات	25 - 30

لذلك لابد لنا عند دراسة مثل تلك المشاريع إلا أنه نخصص دفعات مالية نقدية سنوية من دخل المشروع بعد إقلاعه على العمل تعادل قيمة الاستهلاك الزمني السنوي لكل من المشروع على أن يكون مجموع تلك الدفعات السنوية يساوي قيمة المشروع هذه الدفعات ندعوها بقسط التجميد السنوي (قسط الاستهلاك السنوي) مضافاً إليها حسب بعض الأنظمة الدارسة معدل الفائدة السنوية كما لو أننا وظفنا قيمة هذا المشروع النقدية وأودعناها في البنك وأصبح البنك يعطينا عليها فائدة سنوية.

إن هذا القسط (قسط التجهيز السنوي) يحسب بعدة طرق وسنتناول فقط الطريقتين الآتيتين :

1- طريقة الاستهلاك الخطي .

2- طريقة رأس المال المجمع .

1 - طريقة الاستهلاك الخطي :

بهذه الطريقة يتم حساب (قسط التجهيز السنوي) بتقسيم القيمة الطلبية للاستهلاك بعد انقضاء عمر المنشأة (S) تأخذ ضمناً الفائدة المترتبة على عدد السنوات التي تعمرها المنشأة أو الآلة دون اعتبارات الفوائد التي تنتج عن الأقساط على مدار السنوات المقدرة لعمرها وبذلك نستطيع أن نكتب العلاقة المعبرة عن ذلك كما يلي إذا رمزنا لقسط التجهيز السنوي بـ (A) :

$$A = \frac{S}{T} \quad \text{.....(1}$$

لو كان لدينا القيم التالية والتي تأخذ بعين الاعتبار الفائدة السنوية المركبة :

A : قسط التجهيز السنوي .

K : سعر المنشأة أو الآلة لحظة بنائها .

i : معدل الفائدة

T : العمر المفيد للمنشأة .

t : عمر المنشأة الجزئي التي تعمل به .

ففي المراجع الأوروبية والأمريكية نقطي قيمة قسط التجهيز السنوي بالعلاقة:

$$A = \frac{S}{T} = \frac{K(1+i)}{T} = \frac{K}{T} + \frac{Ki}{T} \quad \text{...(2}$$

أي لا تأخذ العلاقة (2) عمر المنشأة الجزئي t التي تعمل به المنشأة إذا أردنا حساب قسط التجهيز السنوي بعد (t) سنة من عمل المنشأة .

من مزايا هذه الطريقة أن المبلغ المجمع في نهاية الفترة يكون أكبر من المبلغ المطلوب S ، وذلك لأن الأقساط المجمعة السنوية توظف أو تستغل بطريقة ما للحصول على دخل منها ، وهذه الزيادة يمكن أن تفيد بتغطية بعض المصاريف الناجمة بالمشروع (حوادث طارئة على المنشأة ، تزيد من معدل استهلاكها .

كما أن القيمة الكلية للاستهلاك للآلة أو المنشأة (S) تحسب بطرح قيمة الانقاذ (قيمة المشروع بعد انقضاء عمره) ويرمز لها بـ (F) من الكلفة الأولية للمنشأة ويرمز لها بـ (P) ⇐

$$S = P - F \quad \text{----(3}$$

وبالتالي إذا أردنا حساب قيمة المنشأة بعد t سنة نستخدم العلاقة :

$$C = P - At \quad \text{----(4}$$

٢- طريقة رأس المال المجمع :

في هذه الطريقة تكون الفوائد السنوية التي تجمع في نهاية كل سنة من الأقساط السنوية ، ولكن مقدار قسط التجميد السنوي أقل منه من أجل طريقة الاستهلاك الخطي .

إن المبلغ المتراكم لقسط نهاية السنة الأولى $S_1 = A(1+i)^{t-1}$

" " " " الثانية $S_2 = A(1+i)^{t-2}$

المبلغ المتراكم لقسط نهاية السنة قبل الأخيرة $S_{t-1} = A(1+i)^{t-(t-1)} = A(1+i)$

المبلغ المتراكم لقسط نهاية السنة الأخيرة $S_t = A(1+i)^{t-t} = A$

بإجراء عدة عمليات حسابية على العلاقات السابقة نجد :

$$A = S \frac{i}{(1+i)^t - 1} \quad \text{----(5}$$

إن هذه الطريقة تعطي قيم لأقساط التجميد قريبة من الواقع وتعتبر من الأسس في الحسابات الاقتصادية الدقيقة .

مسألة :

إذا كان لدينا منشأة صناعية ، موثوقيتها (عمرها الزمني المفيد) 25 سنة، وكانت كلفة إنشائها الأولية $P=(100000\ L.S)$ ، وقيمة المشروع بعد انقضاء عمره (قيمة الانقاذ) هي $F=(10000\ L.S)$ ، أما معدل الفائدة فظام $i=8\%$ ، والمطلوب :

1- قيمة الاستهلاك للمنشأة بعد مضي (10) سنوات من عمرها وذلك بطريقة الاستهلاك الخطي .

2- قيمة المنشأة بعد مضي (10) سنوات من عمرها بواسطة طريقة رأس المال المجمع .

3- قارن بين الطريقتين وأيهما أفضل ؟ .

الحل :

1- نقوم بحساب القيمة الكلية للاستهلاك بعد انتهاء عمر المنشأة (S) من العلاقة (3)

$$S = P - F$$

$$S = 100000 - 10000 = 90000\ (L.S)$$

ثم نحسب قسط التجميد السنوي (الايداع السنوي) من العلاقة (1) $\Leftarrow$

$$A = \frac{S}{T} = \frac{90000}{25} = 3600\ (L.S)$$

وبالتالي فإن قسط الاستهلاك للمنشأة بعد (10) سنوات وحسب العلاقة (4) $\Leftarrow$

$$C = P - AT = 100000 - (3600 \cdot 10)$$

$$C = 64000\ (L.S)$$

2- بتطبيق العلاقة (5) $\Leftarrow$

$$A = S \frac{i}{(1+i)^t - 1}$$

$$A = 90000 \frac{0,08}{(1+0,08)^{25} - 1} = 1231\ (L.S)$$

رأس المال المجمع بعد (10) سنوات حسب نفس العلاقة (5) $\Leftarrow$

$$S = A \frac{(1+i)^t - 1}{i}$$

$$S = 1231 \frac{(1+0,08)^{10} - 1}{0,08} = 17832,95$$

وبالتالي قيمة المنشأة بعد (10) سنوات

$$C = P - S = 100000 - 17832,95 = 82167 L.S$$

3 - من المقارنة بين الطريقتين نستنتج أن :

P - أن قسط الاستهلاك (قيمة المنشأة) بعد عشر سنوات في طريقة رأس المال المجمع هي أعلى منها بطريقة الاستهلاك الخطي .

ب - إن قسط التجميد السنوي بطريقة الاستهلاك الخطي أعلى منه بطريقة رأس المال المجمع لنفس الفترة (10) سنوات .

وبالتالي نفضل أن نعتمد الطريقة الثانية (رأس المال المجمع) لسهولة الإيداعات السنوية وقيمة المنشأة بعد فترة 10 سنوات

مسألة : محولة توزيع ، كلفة إنشائها الأولية 20000 ل.س ، وقيمة تعويض الانقاذ 10000 ل.س حيث حدد عمرها بعشرين سنة .

المطلوب : 1 - تعيين قسط الاستهلاك (قيمة المنشأة) بعد عشر سنوات وذلك بطريقة الاستهلاك الخطي .

2 - تعيين قسط الاستهلاك بطريقة رأس المال المجمع لنفس الفترة الزمنية علماً أن معدل الفائدة المركبة 8% سنوياً .

الحل :

1 - طريقة الاستهلاك الخطي :

$S = P - F = 20000 - 10000 = 10000 (L.S)$ (القيمة الكلية للمحولة بعد 20 سنة)

$A = \frac{S}{T} = \frac{10000}{20} = 500 (L.S)$ (قسط التجميد السنوي)

$C = P - A.t = 20000 - (500 \cdot 10) = 15000 (L.S)$ (قسط الاستهلاك بعد عشر سنوات)

2 - طريقة رأس المال المجمع :

$$A = S \frac{i}{(1+i)^T - 1}$$

$A = 10000 \frac{0,08}{(1+0,08)^{20} - 1} = 225 (L.S)$ (قسط التجميد السنوي)

$S = A \frac{(1+i)^t - 1}{i} = 225 \frac{(1+0,08)^{10} - 1}{0,08} = 3200 (L.S)$ (رأس المال المجمع بعد عشر سنوات)

$C = P - S = 20000 - 3200 = 16800 (L.S)$ (قسط الاستهلاك بعد 10 سنوات)

رابعاً- تقدير التكاليف في المشاريع الكهربائية

لا يمكن عمل مشروع عادة دون القيام بتقدير مبدئي لتكاليفه، عند التخطيط له وعمل الدراسات الخاصة به وصولاً لكونه منتجاً، وعادة ما يتم تقدير تكاليف أي مشروع من خلال البيانات والمعلومات التي تظهرها الدراسات الفنية والتوقيتية المعدة ببدأ التخطيط وحتى الانتاج في المستقبل.

تنبع أهمية إدارة التكاليف من أهمية أحكام الرقابة المالية على تكلفة أي مشروع، فالمال هو شريان الحياة للمشروع، كما أن الإدارة المالية الجيدة تعتبر مؤشراً مبدئياً لنجاح المشروع وإدارته، مما يعطي انطباعاً جيداً عن المشروع للمستثمرين والعملاء وغيرهم.

وتشمل التكاليف تحديد الأرض التي سيقام عليها المشروع، وما يصاحب ذلك من مستلزمات إتمام عملية الشراء وتمهيدها لقيام المشروع عليها، ودراسة الجدوى الاقتصادية الخاصة بذلك.

كما تشمل تكلفة المباني وما يرافقها من حدائق ومستودعات ومرافق وتمديدات ومستلزمات الرؤية وأجهزة التكييف والصاعد والكهرباء. كما تشمل أيضاً تكاليف المشروع التكاليف الخاصة بالآلات والمعدات من شرائها وإعدادها للانتاج.

كما تشمل أيضاً وسائل النقل وأدواتها (الداخلي والخارجي).

إضافة إلى تكلفة المواد الخام وتكلفة الأجور وغيرها من مستلزمات العمل المشروع (تجهيز المكاتب ومستلزماتها توفير المياه والكهرباء والأجهزة الخاصة بالحواسيب ... الخ).

ولا ننسى أيضاً حساب التكاليف القانونية الخاصة بالمشروع من رسوم ترخيص وأجور محامين الذين يقومون بتجهيز العقود اللازمة والجوانب القانونية المتفق عليها، إضافة إلى تكاليف الدعاية والإعلان عن المشروع وما إلى ذلك.

كل ما تقدم يمثل أن تكلفة لأي مشروع تمثل عام وإذا ما أسقطنا المعادلة السابقة على مشروع كهربائي فهذا يعني إضافة إليها

الخصوصيات المتعلقة بالمشروع الكهربائي والتي سنأتي على ذكرها لاحقاً.
كنا قد ذكرنا بأن نظم القدرة تتكون من نظم إدارة التوليد ونظم نقل القدرة إضافة إلى نظم توزيع القدرة واستثمارها والتي سنتطرق لها بالتفصيل في محاور تالية أما الآن فسنقتصر على شرح تكاليف محطات التوليد واختيارها وتحديد عناصرها وتأويل القسم المتعلق بكلفة الكهرباء المعزاة إلى المستهلكين (نظام التعرفة).

* **تكاليف محطات التوليد :**

بشكل عام يمكن تقسيم تكاليف توليد الطاقة إلى :

أ- تكاليف ثابتة : وهي التكاليف التي تكون مستقلة عن الطلب الأعظمي للمحطة.

ب- تكاليف نصف ثابتة : هي التي تعتمد على الطلب الأعظمي، إلا أنها مستقلة عن القدرة المولدة.

د- نفقات التشغيل.

نستطيع أن نمثل الكلفة الطلبية السنوية في محطات التوليد بالعلاقة (4-1)

$$E = a + b + C \longrightarrow [\text{ليرات سورية}] \qquad (4-1)$$

a : عامل ثابت لنفقات التشغيل (قرش/ك.و.س)

b : عامل ثابت التكاليف نصف الثابتة (ليرة/ك.و)

C : عامل ثابت التكاليف الثابتة (ليرة سورية)

بما أن ثابت التكاليف نصف الثابتة مستقل عن كمية القدرة المولدة لذلك ندعو تكلفته بالكلفة الموقفة أو الواقفة (Standing cost)

يمكننا سرد بعض القيم النموذجية للثوابت b و C في المعادلة (4-1) بشكل تقريبي من أجل أنواع محطات التوليد المختلفة كما في الجدول (4-1)

نوع محطة التوليد	قيمة b [ليرة/ك.و]	قيمة C [قرش/ك.و.س]
محطة توليد مائية	225 - 250	1,5
محطة توليد نووية	300 - 375	4 - 6
محطة توليد بخارية	150 - 200	5 - 6
محطة توليد بالديزل	60 - 80	30 - 40

عند اتخاذ القرار حول نوع محطة التوليد يجب اختيار النوع الذي يحقق كلفة التشغيل الكلية الأصغرية (أي مجموع الكلفة السنوية الثابتة والكلفة الثابتة وكلفة التشغيل).

ملاحظة: الأسعار والقيم الموجودة في الجدول (1) مأخوذة من المحطات المنفذة بين أعوام /١٩٦٠م - ١٩٧٠م/.

* تكاليف إنشاء المحطات المائية:

تختلف تكاليف المحطات المائية عن بعضها البعض اختلافاً كبيراً لأن هذه المحطات تحتاج إلى إنشاءات خاصة بالسد بالإضافة إلى بناء مجرى السد والبحيرة المتشكلة وغيرها. وتدل الخبرة أنه في الولايات المتحدة تتراوح تكاليف هذه المحطات بين /450-500/ دولار/كل كيلوواط للاستطاعات القريبة من /10 M.W/ و /350/ دولار لكل كيلوواط للمحطات التي تصل قدرتها إلى /100 M.W/.

* تكاليف انشاء محطات الاحتراق الداخلي:

إن مثل تلك المحطات تكون صغيرة الحجم نسبياً وهي تتراوح بين /10 - 10000 K.W/ وتتراوح التكاليف بالنسبة للمحطات الصغيرة والكبيرة من هذا النوع بين /175 - 300/ دولار لكل كيلوواط.

* تكاليف انشاء محطات المنشآت النارية:

يمكن استعمال محطات التوليد بالمنشآت النارية للاستطاعات التي تصل حتى /25 M.W/ (لأن المنشآت يمكن استثمارها في هذا النوع لتوليد استطاعات أعلى من /100 M.W/) في سلبياتها إضاعة طاقة كبيرة من الحرارة إلى الجو، لذلك من الضروري العمل على الاستفادة من هذه الحرارة بطريقة ما.

إن تكاليف محطات التوليد النارية لا تختلف كثيراً عن تكاليف محطات الديزل ويمكن القول أن كلفة محطة قدرتها /20 M.W/ تبلغ حوالي /150/ دولار لكل كيلوواط.

* تكاليف إنشاء المحطات النووية:

تدل الأرقام المنشورة من قبل العمل التي تولد الطاقة باستخدام المحطات النووية تتراوح بين /230-540/ دولار لكل كيلوواط وفقاً للاستطاعات المولدة هذا في الماضي (قبل عام ١٩٨٠) أما الآن ولغاية الاستطاعة السابقة يمكن أن تبلغ تكاليف انشاء محطات نووية قد تكون بحدود أقل من /220/ دولار/كيلوواط

* تكاليف الانتاج :

عند دراسة تكاليف انتاج وحدة كهربائية (كيلوواط ساعي واحد) عند لوحة المفاتيح في داخل محطة التوليد فإننا نأخذ بعين الاعتبار :

١ - تكلفة الوقود .
٢ - تكلفة اليد العاملة .
٣ - تكلفة المواد الأخرى .
٤ - الصيانة والاصلاح .

تختلف تكلفة الوقود إلى حد ما باختلاف بعد المحطة عن مصفاة البترول ، وتعتمد كذلك نفقات اليد العاملة إلى حد كبير على موقع المحطة أي حسبما تكون قريبة من المدن الكبيرة أو في منطقة نائية ، كما أن تعقيد الآلات المستعملة لتصميم المحطة يؤثر إلى حد ملحوظ على تكاليف اليد العاملة .

تبين الخبرة أن تكاليف اليد العاملة للكيلو واط الساعي الواحد في المحطات النهارية أقل بكثير من تكاليف الوقود .

كما أن تطور تصميم آلات المحطات الكهربائية يؤدي بصورة سريعة إلى إنقاص المعدل الحراري (أي الوحدات الحرارية اللازمة لتوليد الكيلوواط الساعي الواحد) وهذه بدورها تؤثر على تكاليف الانتاج .

تقدر نفقات الانتاج الكهربائي عادة على أساس كلفة وحدة الانتاج (كيلوواط ساعي أو سنتيم واحد ساعي) ويرمز لها بـ (ψ) .

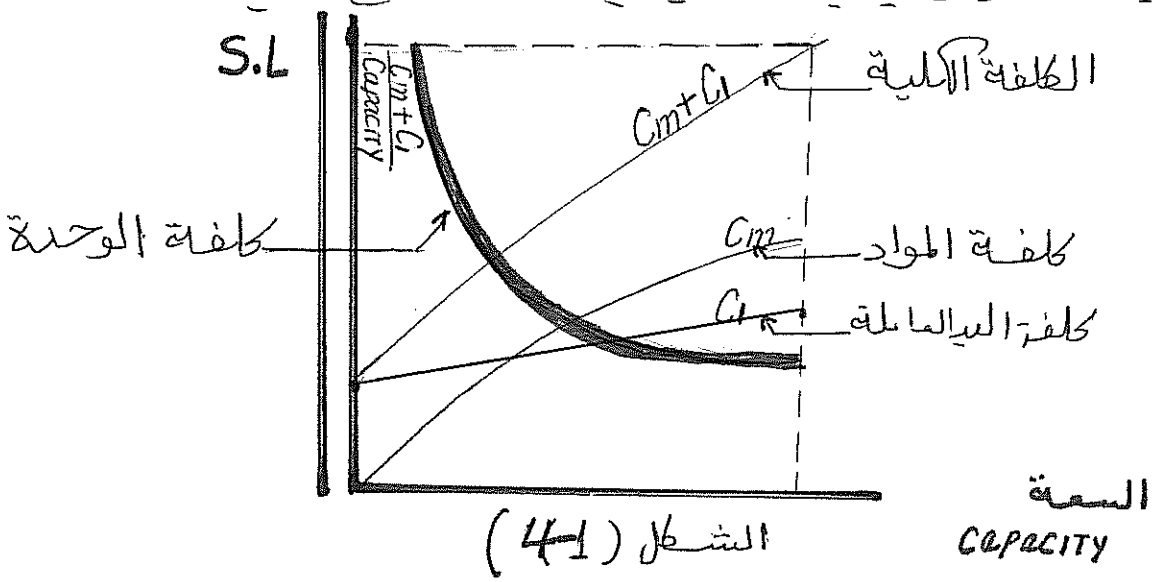
إن كلفة واحدة الانتاج الكهربائي تختلف باختلاف نوع وحدات التوليد واستطاعتها وتقريبها أو بعدها عن مصادر القدرة (وقود - ماء) كما تختلف باختلاف عامل الحمل Load Factor ، فكلما زاد عامل الحمل كلما انخفضت كلفة الكيلوواط الساعي المولد .

تتطلب ψ عادة على شكل جداول تصدرها الشركات الصانعة وتكون هذه الجداول محسوبة عند عامل حمولة قريب من الواحد (أي عند $T_{max}=8000\,h$) وبفرض قرب المحطة من مصادر القدرة .

* تكاليف التجهيزات :

تختلف تكاليف التجهيزات باختلاف الزمان والموقع والسعة في المحطة

وتقارن أسعار التجهيزات وتعرض على أساس سعر وحدة الاستطاعة وتسمى ذلك سعر الوحدة Unit Price . فكلما زادت سعة الآلة من نوع معين كلما نقص سعر الوحدة ، الشكل (4-1) يبين الاتجاه العام الذي تسير فيه العناصر الرئيسية للتكاليف في إنشاء نوع معين من الآلات .



الشكل (4-1)

من مناقشة الشكل السابق نخلص إلى الآتي :

١- إن تكاليف اليد العاملة والتكاليف الهندسية تزيد زيادة طفيفة بازدياد الحجم والاستطاعة .

٢- إن مختلف تكاليف المواد تتناقص في مبلغه كلما زادت الاستطاعة ابتداءً من المبدأ .

٣- إن مختلف التكاليف الاجمالية الذي يساوي مجموع المختلفين السابقين لا يمر من المبدأ وهناك تكاليف معينة عند السعة التي تساوي الصفر وهذه النفقات هي الحد الأدنى اللازم للمحافظة على المؤسسة في حالة مستعدة للانتاج .

٤- إن شكل مختلف التكاليف الاجمالية مشابه لمختلف تكاليف المواد في شكله واتجاهه .

٥- يتناقص سعر الوحدة عند ازدياد السعة لمحطة التوليد أو من التجهيزات ، لذلك سنستنتج بأنه تكاليف وحدتين من الآلات تساوي أقل من تكاليف وحدة واحدة مساوية لهما بالاستطاعة .

* تكاليف العامل :

تجرى أبحاث ومقارنات للعامل المختلفة لدراسة أسعار وحدة الاستطاعة المركبة بالاعتماد على المعايير التي تم سردها سابقاً عند دراسة تقييم المشاريع .

حيث يجب أن تقترن بتحليل مفصل لكل عمل بالنسبة إلى (صعوبات الإنشاء خلال التركيب، الحاجة إلى أساسات خاصة، العمل الإضافي اللازم لإنجاز العمل قبل موعده، التأخير الناجم عن الأحوال الجوية، تكاليف نقل الأجهزة، توفر المواد واليد العاملة ... الخ).

إن التطور الكبير لطرق انتاج الآلات والتصميم الذي أدى إلى هبوط سعر وحدة الاستطاعة، وبالتالي إن تكاليف وحدة الاستطاعة وحدها لا تكفي للدلالة على امتياز تصميم المعمل.

ويمكننا بصورة عامة أن نقول إن تكاليف مختلف المعامل تتراوح بين (120 - 350) دولار لكل كيلوات.

* اختيار موقع محطة التوليد:

إن اختيار موقع المحطة يعتمد في جميع الأحوال على التكاليف النسبية وعلى موجود محطات التوليد في المحطات وعلى التكاليف النسبية لعملية النقل إضافة إلى ما يلي:

١- يفرض تكافؤ جميع العوامل السابقة يكون المرغوب به إنشاء المحطة في مركز ثقل المنطقة التي يتوقع أن تستقبل القدرة المولدة في المحطة، ومن أجل المحاور الاحداثية المحددة كما يلي:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{n=1}^{m} P_n X_n}{\sum_{n=1}^{m} P_n} \quad ; \quad \bar{y} = \frac{\sum_{n=1}^{m} P_n Y_n}{\sum_{n=1}^{m} P_n}$$

حيث: x = فاصلة مركز المحطة.
y = ترتيب مركز المحطة.
P_n = الاستطاعة المطلوبة للنقطة n من المنطقة.

أما بالنسبة لحمولة كبيرة من الصعب جداً تحديد مركز ثقل الطلب الكهربائي وبالتالي محطة التوليد الملائمة لذلك الاتجاه الحديث هو مقارنة اقتصاديات الوقود والماء تجاه مسألة نقل القدرة من المحطة.

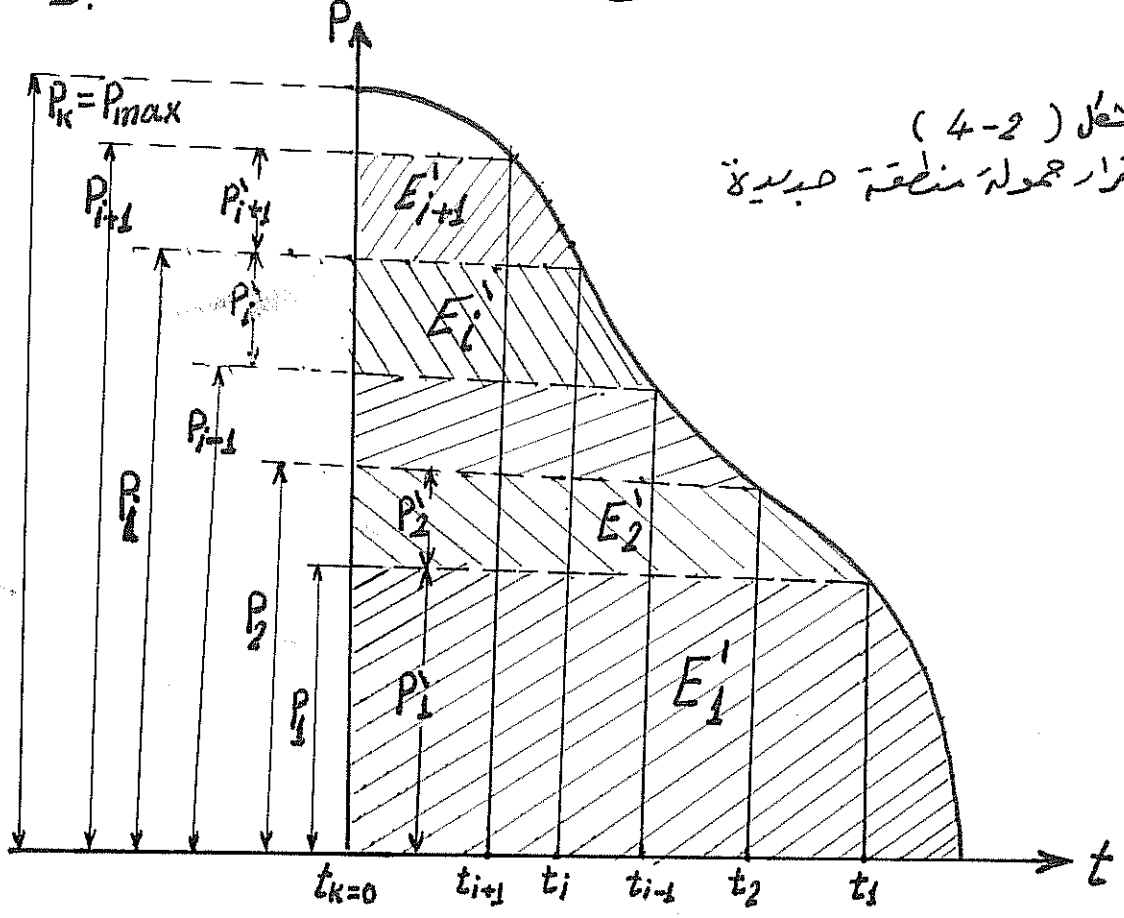
٢- بالنسبة لمحطات التوليد الحرارية الضخمة فإن التزويد بالوقود وبالكميات الطائلة من الماء هي المسائل الحيوية التي يجب اعتبارها وبالتالي تأمين مصدر مائي غزير يبقى درجة حرارته ثابتة.

٣- من العوامل الهامة التي تلعب دوراً مؤثراً في تحديد موقع المحطة مسألة تلوث البيئة، فتلوث الهواء بواسطة غازات الاحتراق وتلوث مياه النهر وبرك الاستشفاء الإشعاعي (في حال المحطات النووية) هي المسائل الهامة التي ينبغي تحليلها جيداً قبل اتخاذ القرار النهائي حول موقع المحطة، وبالنسبة للمحطات المائية من الهام دراسة ازدحام الورد.

٤- من وجهة نظر المرونة من الضروري توزيع محطات ذات عدد صغير من الوحدات الكبيرة عبر منطقة الحمولة كلها على أن توصل من بعضها بواسطة شبكة ارتباط مرنة.

٥- المشكلة الرئيسية في تشكيل الحمل الكهربائية تأمين الطلب المتغير للقدرة في الحمولة الكهربائية وبالتالي مرافق المحطات التي تتألف منها الحمولة يجب أن تكون بحيث تؤمن التغيرات المتالية للحمولة بين المحطات بشكل سهل وأوتوماتيكي.

* تركيب وحدات جديدة لتغطية حمولة منطقة جديدة أو تبديل جميع الوحدات العاملة بوحدات جديدة



الشكل (2-4)
مخطي استمرار حمولة منطقة جديدة

نفرض لدينا منطقة جديدة بحاجة لحمولة ما ، أو منطقة يراد تغيير الوحدات التي تغذيها حمولتها نتيجة فرضها عدم العمل لقدمها وعدم جدوى اصلاحها ، في أي الحالتين يجب أن يتم ذلك بدراسة اقتصادية جيدة وفقاً للمعطيات والقواعد والمعايير التي مرت معنا سابقاً وسنمر لاحقاً .

عادة ما تدرس الحمولة وفقاً لمخطي استمرار حمولة المنطقة دون انقطاع نتيجة لاوصال وحدات التغذية تباعاً وعلى مدى العام كله ، لذلك يكون مخطي استمرار الحمولة دائماً عبارة عن تابع بين الحمولة (الاستطاعة) وبين الزمن كما هو مبين في الشكل (2-4) أما تابعه رياضياً فيكون وفق المعادلة :

$$P = f(t) \quad \text{أو} \quad t = f(P) \qquad (4-1)$$

ولنحاول تغطية جميع أقسام ذلك المخطي بوحدات توليد متنوعة (K) واحدة سنرى أنه تكون المنطقات الاستوائية (الظليلة) من الشكل التي يرسم بها مخطي الحمل أصغرية .

ونفرض أن الوحدات المقترحة والتي عددها (K) تملأ الخصائص الاقتصادية المبينة في الجدول (4-2) التالي :

نوع الوحدة و رقمها	كلفة الكيلوات المركب	وسط النفقات الثابتة	كلفة الانتاج	الاستطاعة المراد تحديدها من كل نوع	القدرة المنتجة
	θ(S.L/KW)	r%	ψ(S.L/KWh)	P^1	E^1
1	θ_1	r_1	ψ_1	P^1_1	E^1_1
2	θ_2	r_2	ψ_2	P^1_2	E^1_2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$i-1$	θ_{i-1}	r_{i-1}	ψ_{i-1}	P^1_{i-1}	E^1_{i-1}
i	θ_i	r_i	ψ_i	P^1_i	E^1_i
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
K	θ_K	r_K	ψ_K	P^1_K	E^1_K

جدول (4-2)

إن مجموع النفقات الثابتة والمحولة (الطلبية) لجميع الأنواع هي (C) :

$$C = \sum_{i=1}^{i=K} r_i \theta_i P_i^1 + \sum_{i=1}^{i=K} \psi_i E_i^1 \qquad (4-3)$$

وبما أن استطاعة النوع (i) تحدد من ترتيب الاستطاعة كما يلي:

$$P_i^1 = P_i - P_{i-1} \qquad (4-4)$$

تكون القدرة المنتجة من كل نوع هي :

$$E_i' = \int_{P_{i-1}}^{P_i} t(P)\cdot dP = \int_0^{P_i} t(P)\cdot dP - \int_0^{P_{i-1}} t(P)dP \qquad (4-5)$$

بتبديل المعادلتين (4-5) و (4-4) في المعادلة (4-3) نحصل على :

$$C = \sum_1^K r_i\,\theta_i\,P_i - \sum_1^K r_i\,\theta_i\,P_{i-1} + \sum_1^K \psi_i \int_0^{P_i} t(P)\cdot dP - \sum_1^K \psi_i \int_0^{P_{i-1}} t(P)\cdot dP$$

$$\Leftarrow C = (r_1\theta_1 - r_2\theta_2)P_1 + (r_2\theta_2 - r_3\theta_3)P_2 + \cdots + r_K\theta_K P_K + (\psi_1 - \psi_2)\int_0^{P_1} t(P)\cdot dP + (\psi_2 - \psi_3)\int_0^{P_2} t(P)\cdot dP + \cdots + \psi_K \int_0^{P_K} t(P)\cdot dP$$

للحصول على القيمة الأصغرية للنفقات السنوية الكلية (C) يجب أن نفاضل طرفي المعادلة السابقة بالنسبة للاستطاعة P_i :

$$dC = (r_1\theta_1 - r_2\theta_2)dP_1 + (r_2\theta_2 - r_3\theta_3)dP_2 + \cdots + r_K\theta_K P_K + (\psi_1 - \psi_2)t_1\,dP_1 + (\psi_2 - \psi_3)t_2\,dP_2 + \cdots + \psi_K t_K P_K$$

وبإعادة ترتيب الحدود نحصل على :

$$dC = dP_1[(r_1\theta_1 - r_2\theta_2) - (\psi_2 - \psi_1)t_1] + dP_2[(r_2\theta_2 - r_3\theta_3) - (\psi_3 - \psi_2)t_2] + \cdots + dP_{K-1}[(r_{K-1}\theta_{K-1} - r_K\theta_K) - (\psi_K - \psi_{K-1})t_{K-1}]$$

لكي تكون (C) أصغرية يجب أن يكون $dC = 0$ ، ولتحقيق هذا يجب أن تنعدم أمثال تفاضلات الاستطاعة dP_i حيث أن التفاضلات تتغير لا يمكن أن تساوي الصفر ومن هنا نجد :

$$t_1 = \frac{r_1\theta_1 - r_2\theta_2}{\psi_2 - \psi_1}$$

$$t_2 = \frac{r_2\theta_2 - r_3\theta_3}{\psi_3 - \psi_2}$$

.....

.....

$$t_{K-1} = \frac{r_{K-1}\theta_{K-1} - r_K\theta_K}{\psi_K - \psi_{K-1}}$$

$$t_K = 0$$

وبصورة عامة :

$$t_i = \frac{r_i\theta_i - r_{i+1}\theta_{i+1}}{\psi_{i+1} - \psi_i} \qquad (4-6)$$

وهي العلاقة التي تعطينا مقادير الازمنة على محور الفواصل ، من منحني استقرار الحمولات لحدد تراتيب الاستطاعة (P_i) ومن ثم مقدار استطاعة كل نوع من الوحدات (P_i') على أساس اقتصادي .

يتم تحديد تراتيب الاستطاعة بدلالة الزمن t_i إما تحليلياً إذا كانت معادلة الحمولات المرتبة معروفة ، أو بيانياً من المنحني مباشرة إذا لم يكن بالامكان وضع المنحني بصيغة تحليلية .

لدينا ثلاث قيم t_i في الحالات الثلاث التالية :

أ - إذا كان : $t_{i+1} < t_i < t_{i-1}$

يكون وضع النوع (i) في منحني استقرار الحمولات بين النوعين ($i+1$) و ($i-1$) .

ب - إذا كان : $t_i < 0$ أو $t_{i+1} \geq t_i$

عندئذ سيستبعد النوع ($i+1$) من الوحدات المقترحة لانه غير صالح اقتصادياً .

د - إذا كان : $t_i \geq T$

عندها يستبعد النوع (i) من الوحدات المقترحة .

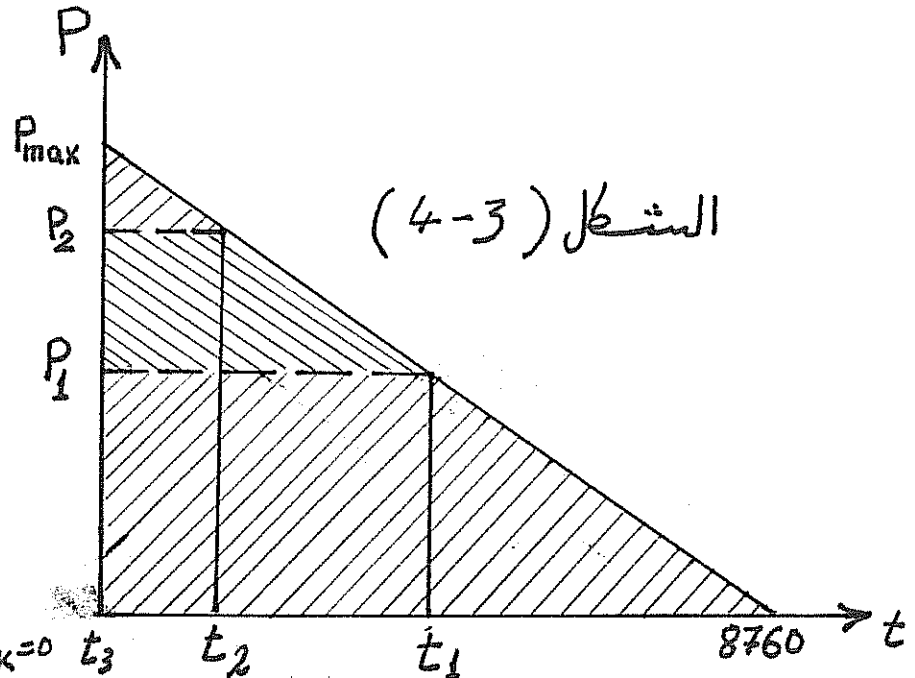
* تمرين محلول :

لدينا منطقة سكنية مخطي استمرار الحمولات لها من الشكل المثالي المبين في الشكل (3-4) والذي معادلته هي :

$$P = 100 \left(1 - \frac{t}{8760}\right) \text{ [MW]}$$

ومعطيات الأنواع المقترحة لتغطية هذا الحمل هي كما في الجدول التالي:

النوع	θ (S.L/KW)	τ %	ψ (S.L./KWh)
1- بخاري	1100	0.10	0.10
2- غازي كلاسيكي	600	0.12	0,11
3- غازي طائرات	340	0,13	0,15



الشكل (3-4)

المطلوب : 1- حساب فواصل أزمنة التشغيل والاستطاعة لكل نوع على أساس النفقات الصغرى .

2- حساب هذه النفقات الصغرى السنوية .

3- المقارنة بين النفقات الصغرى مع نفقات التشغيل لكل نوع على حدا لو غطى وحده مخطي استمرار الحمولات .

الحل :

1- تطبيق علاقة الزمن - المعادلة (4 - 6) :

$$t_1 = \frac{r_1\theta_1 - r_2\theta_2}{\psi_2 - \psi_1} = \frac{110 - 72}{0{,}01} = 3800\ h$$

$$t_2 = \frac{r_2\theta_2 - r_3\theta_3}{\psi_3 - \psi_2} = \frac{72 - 44{,}5}{0{,}0} = 695\ h$$

$$t_3 = 0 \quad (t_K = 0)$$

تطبيق معادلة منحني استمرار الحمولات لحساب ترتيب الاستطاعات :

$$P_1 = 100\left(1 - \frac{3800}{8760}\right) = 100 \cdot \frac{4960}{8760} = 56{,}6\ MW$$

$$P_2 = 100\left(1 - \frac{695}{8760}\right) = 100 \cdot \frac{8065}{8760} = 92\ MW$$

$$P_3 = P_{max} = 100\left(1 - \frac{0}{8760}\right) = 100 \cdot 1 = 100\ MW$$

بتطبيق العلاقة (4 - 4) لحساب الاستطاعة من كل نوع :

$P_1' = P_1 - P_{i-1} = 56{,}6 - 0 = 56{,}6\ MW$ استطاعة النوع البخاري

$P_2' = P_2 - P_1 = 92 - 56{,}6 = 35{,}4\ MW$ استطاعة النوع الغازي الكلاسيكي

$P_3' = P_3 - P_2 = 100 - 92 = 8\ MW$ استطاعة النوع الغازي طوارئ

2- حساب النفقات الأعظمية :

لحساب النفقات يلزم حساب القدرة المنتجة من كل نوع :

$$E_1' = P_1' \frac{T + t_1}{2} = 56{,}6 \frac{8760 + 3800}{2} = 355\,460\ MWh$$

$$E_2' = P_2' \frac{t_2 + t_1}{2} = 35{,}4 \frac{3800 + 695}{2} = 79\,560\ MWh$$

$$E_3' = P_3' \frac{t_3 + t_2}{2} = 8 \frac{0 + 695}{2} = 2780\ MWh$$

٢ - الكلفة الأصغرية :

تطبق العلاقة (3 - 4) :

$$C = r_1 \cdot \theta_1 \cdot P_1' + r_2 \cdot \theta_2 P_2' + r_3 \cdot \theta_3 P_3' + \psi_1 \cdot E_1' + \psi_2 \cdot E_2' + \psi_3 \cdot E_3'$$

$$C = 10^3 (110 \cdot 56,6 + 72 \cdot 35,4 + 44,2 \cdot 8 + 0,10 \cdot 335460 +$$

$$+ 0,11 \cdot 79560 + 0,15 \cdot 2780) = 51,84 \cdot 10^6 \text{ S.L}$$

٣ - ب - كلفة النوع الأول لوحدة : (الوقام بتغطية الحمل منفرداً)

للتحويل من صفاوات إلى الكيلوواط نقسم ٢ و نضرب بـ KW/ و نأخذ

$$C_1 = 10^3 \left(110 \cdot 100 + 0,10 \frac{8760 \cdot 100}{2}\right) = 54,80 \cdot 10^6 \text{ S.L}$$

ج - كلفة النوع الثاني لوحدة : ← الاستطاعة العظمى (الارتقاع)

$$C_2 = 10^3 \left(72 \cdot \underline{100} + 0,11 \frac{8760 \cdot 100}{2}\right) = 55,38 \cdot 10^6 \text{ S.L}$$

$P_{max} = P_1' = P_2' = P_3' = 100$ ←

د - كلفة النوع الثالث لوحدة : ← الزمن السنوي (القاعدة)

$$C_3 = 10^3 \left(44,2 \cdot 100 + 0,15 \frac{8760 \cdot 100}{2}\right) = 70,12 \cdot 10^6 \text{ S.L}$$

من المقارنة نجد أن :

$$C < C_1 < C_2 < C_3$$

وعليه تكون أفضلية الترتيب هي :

١ - مختلط بالاستطاعة المحسوبة في الطلب الأول .

٢ - بخاري .

٣ - غازي كلاسيكي .

٤ - غازي طائرات .

مثال 2 :

لنفرض أنه في المثال الأول السابق كانت كلفة الكيلوواط المركب للنوع الثاني (غازي كلاسيكي) ($\theta = 1000$ ل.س) بدلاً من 600 فكيف تتغير الحل الاقتصادي ؟ وبالتالي أعد الاستطاعة المطلوبة من كل نوع ؟

الحل :

حسب العوامل الرئيسية وفقاً للعلاقة (4-6) ⇐

$$t_1 = \frac{r_1\theta_1 - r_2\theta_2}{q_2 - q_1} = \frac{110 - 120}{0{,}11 - 0{,}10} = -1000 < 0$$

إذاً يجب أن يستبعد النوع الثاني (غازي كلاسيكي) اقتصادياً غير مجدي ولكن لنتأكد ذلك نحسب t_2 ⇐ :

$$t_2 = \frac{120 - 44{,}2}{0{,}15 - 0{,}11} = 1895 > t_1$$ (هذا غير معقول لأنه يجب أن t_1 تكون أكبر من t_2)

بعد استبعاد النوع الثاني (2) نحسب الأزمنة من أجل الاطلاقات من وجود نوعين فقط بدلاً من ثلاثة أنواع :

$$t_1 = \frac{110 - 44{,}2}{0{,}15 - 0{,}10} = 1316\ h$$

$$t_2 = t_K = 0$$

ومنه :

$$P_1 = 100\left(1 - \frac{1316}{8760}\right) = 85\ MW$$

$$P_2 = 100\ MW$$

وبالتالي الاستطاعة المطلوبة من كل نوع وفقاً للعلاقة (4-4)

$$P_1' = 85 - 0 = 85\ MW$$

$$P_2' = 100 - 85 = 15\ MW$$

أي أن النوع الجاري 85 MW .

والنوع غازي طيران 15 MW .

خامساً - اقتصاديات نظم القدرة الكهربائية :

تحدثنا فيما سبق وبشكل مختصر عن المفاهيم الأساسية للاقتصاد الهندسي بشكل عام والاقتصاد في النظم الكهربائية على وجه الخصوص وبينا أهم المعايير المتبعة في تحديد التجهيزات والمشاريع الأكثر ملاءمة من الناحية الاقتصادية والأساليب المتبعة في أخذ القرار للاختيار الأمثل بعد ذلك سنرى كيف يتم تقدير وحساب التكلفة الاقتصادية للمشروع الكهربائي وفصلنا ذلك فيما يتعلق بأنواع المحطات ومجموعات التوليد للمشروع ما وطريقة حساب الجدوى الاقتصادية واختيار الأنسب من عدة مجموعات توليد أو اقتراح مجموعات أخرى .

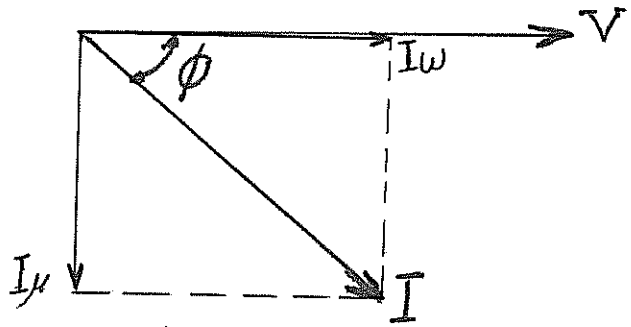
وإذا ما تناولنا في هذا الفصل كيفية تأثير العمل الاقتصادي لشبكة الكهربائية على عمل محطة القدرة الكهربائية بأسرها ، فيجب أن نتوقف عند تحسين اقتصادية عمل الشبكة الكهربائية ، ولعل أهم ما يميز عمليات الاستثمار هو أن التجهيزات المستعملة موجودة فعلاً (عكس عمليات التصميم) لذلك فإن الاهتمام الرئيسي ينصب على انقاص الضياعات بالنسبة للاستطاعة والقدرة في عناصر الشبكة مع المحافظة على الشروط الفنية المطلوبة .

إن أهم عمل اقتصادي يقوم به مهندس التصميم الدارس لنظام قدرة كهربائية ما في منطقة ما هو تحسين عامل الاستطاعة (POWER FACTOR IMPROVEMENT) .

وقبل أن ندخل في تفاصيل عامل الاستطاعة التي وآثارة الضارة وطرق تحسينه لابد لنا من فهم مبدأ عامل الاستطاعة .

إن أي تيار كهربائي تستجره أية دارة كهربائية ولتكن على سبيل المثال (دارة محرك كهربائي تحريضي) يتألف من مركبتين ، إحداهما تمثل التيار الذي يتحول إلى عمل مفيد (سطاني) I_w والأخرى تمثل مركبة تيار المغنطة I_M التي يطلق عليها في كثير من الأحيان

التيار الحامل (التيار الواقي) لا يقدم أي عمل مفيد،
إذاً العمل النافع والمفيد فقط يعود إلى المركبة I_w والتي تكون متوافقة
مع الجهد (V) في الطور، وهي أما المركبة I_μ عمودية على الجهد (V)
فهي لا تمثل أي عمل بل تكون مسؤولة عن المنطقة (توليد المنطقة)، وهذا
ما يبينه الشكل (5-1):



الشكل (5-1)

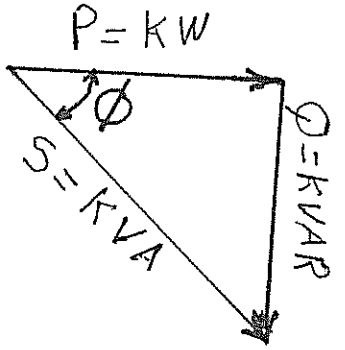
من الشكل السابق نستطيع أن نكتب المعادلة التالية:

$$I^2 = I_w^2 + I_\mu^2 \qquad (5-1)$$

نضرب طرفي المعادلة بالمقدار $(1000\ V)^2$ ⇐

$$(KVA)^2 = (KW)^2 + (KVAR)^2 \qquad (5-2)$$

إستناداً للمعادلة (5-2) يمكننا رسم مثلث الاستطاعة المبين
في الشكل (5-2):



الشكل (5-2)

من الشكل (5-2) يمكننا أن نكتب معادلة عامل الاستطاعة (P.F):

$$P.F. = \cos\phi = \frac{KW}{KVA} = \frac{I_w}{I} \qquad (5-3)$$

واعتماداً على المعادلة (5-3) يمكننا أن نعرف عامل الاستطاعة
بالطريقة التالية

١- عامل الاستطاعة هو جيب الزاوية (زاوية فرق الطور) المحصورة بين متجهي التيار والجهد للمادة الكهربائية.

٢- عامل الاستطاعة هو نسبة الاستطاعة الفعلية إلى الاستطاعة الظاهرية.

٣- عامل الاستطاعة هو نسبة التيار المفيد (النافع) إلى التيار الكلي.

إن معظم الأجهزة الكهربائية الصناعية تستهلك استطاعة ردية (Q) أثناء عملها، بالإضافة إلى الاستطاعة الفعلية (P). والمستهلك الرئيسي للاستطاعة الردية في الشبكة الكهربائية هو المحرك غير المتوافق حيث يستهلك ما يقرب (من ٦٠ — ٦٥ ٪ من الاستطاعة الردية الكلية للشبكة) ثم تأتي المحولات حيث تستهلك (٢٥ — ٣٥ ٪) من الاستطاعة الردية الكلية للشبكة. وأخيراً الخطوط الهوائية والمفاعلات وعناصر التقويم تستهلك حوالي (١٠ ٪) من الاستطاعة الردية الكلية للشبكة.

ولكن وحسب طبيعة الجهاز الكهربائي فقد تصل استطاعته الردية حتى (١٢٠ ٪ من الاستطاعة الفعلية).

إن نقل الاستطاعة الردية في الخطوط وعبر المحولات غير مجدي في الشبكات الكهربائية وذلك للأسباب التالية:

١- ظهور ضياعات جديدة في الاستطاعة الفعلية (حيث) حيث:

$$\Delta P = \frac{P^2+Q^2}{U^2}R = \frac{P^2}{U^2}R + \frac{Q^2}{U^2}R = \Delta P_a + \Delta P_r$$

٢- ازدياد هبوط الجهد:

$$\Delta U = \frac{RP+QX}{U} = \frac{RP}{U} + \frac{XQ}{U} = \Delta U_a + \Delta U_r$$

٣- الإقلال من استطاعة التمرير للخطوط، وذلك نتيجة لازدياد شدة التيار المار في الخط.

لذلك يعمد عادة إلى وضع منابع للاستطاعة الردية بقرب المحولات وهذا ما يسمى بتعويض الاستطاعة الردية.

ملاحظة: إن إضافة هذه الأجهزة يؤدي إلى زيادة رأس المال الموظف في الشبكة ولكنه من ناحية أخرى يقلل من كلفة الاستثمار.

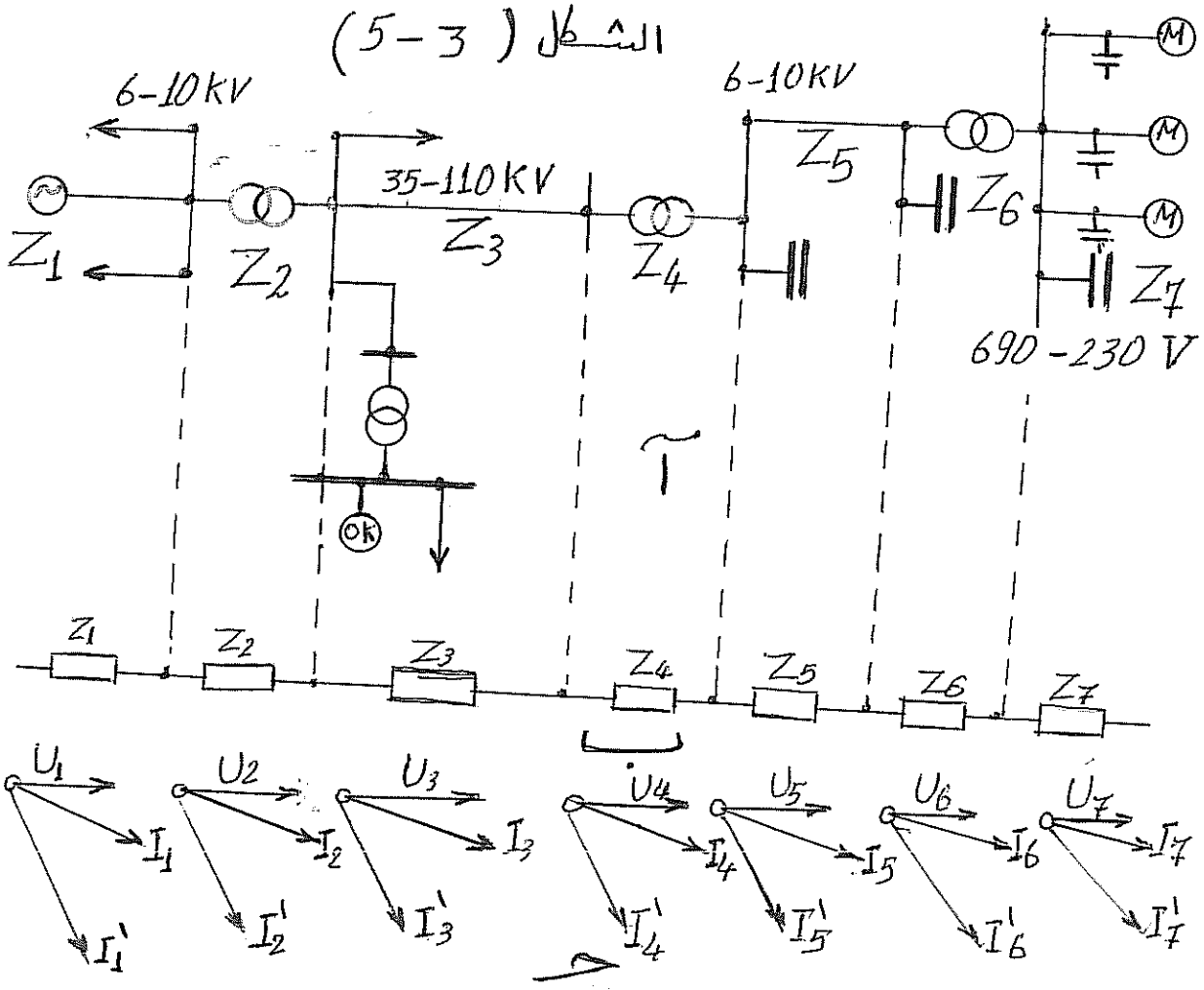
لذلك لابد في كل حالة من إجراء الحسابات الاقتصادية المناسبة قبل اتخاذ القرار بإضافة مثل هذه المنابع.

إن إضافة منابع محلية للاستطاعة الردية يخفف من حمولة الخطوط والمحولات في الشبكة وهذا يطابق تماماً رفع عامل الاستطاعة، وحيث أن القيمة المعروفة لعامل الاستطاعة الوسطي ($\cos\varphi_{av}$) بالنسبة للمنشآت الصناعية عند نقطة التغذية الكهربائية يجب أن لا تقل عن ٠,٩٢ - ٠,٩٥ يتم التوصل إلى قيمة عامل الاستطاعة المثالي في منشأة ما عن طريق تعويض الاستطاعة الردية بالوسائل الطبيعية أي (عن طريق تحسين نظام عمل الأجهزة الإفرادية واستعمال محركات ذات تركيب أفضل، والتخلص من المحركات والمحولات ذات التحمل الضعيف وغيرها) ودون لجوء لمصادر خاصة من نظام التغذية الكهربائية.

في الشكل (3-5) يبين نظام تغذية كهربائية في منشأة صناعية مع دارة المطافئة ومخططات الشاعية التي تتميز بزيادة زاوية الطور بين التيار والجهد في جميع عناصر الشبكة اعتباراً من المولد حتى مركز الاستهلاك.

أ - يبين نظام التغذية
ب - يبين الدارة المطافئة
ج - المخططات الشاعية المحددة لزاوية الطور بين التيار والجهد (التيار المؤشر بالفتحة هو تيار قبل التعويض)

الشكل (3-5)



* تعاريف أساسية :

١- القيمة الآنية لعامل الاستطاعية : تعطى بالعلاقة :

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3}UI} \qquad (5-4)$$

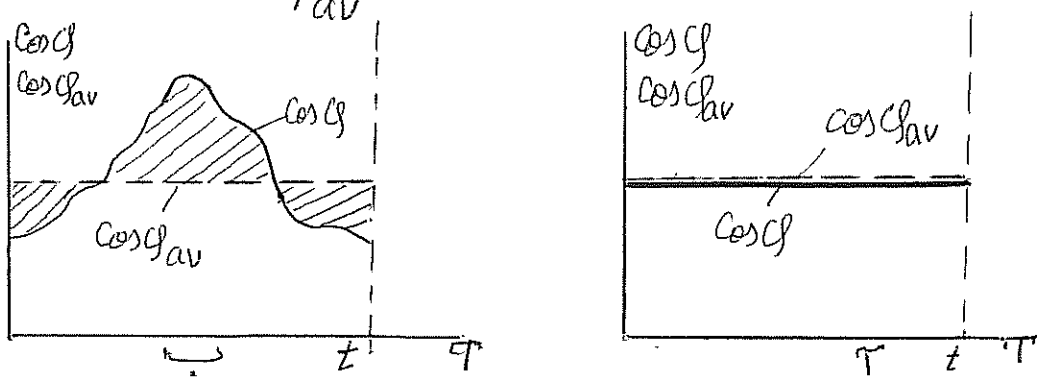
٢- القيمة المتوسطة لعامل الاستطاعة $\cos\varphi_{av}$ وهي متوسط القيم السابقة لعامل الاستطاعة خلال فترة زمنية معينة كما في الشكل (5-4) والذي يحسب رياضياً بالعلاقات التالية :

$$\cos\varphi_{av} = \cos\operatorname{arctg}\frac{\int_{t_1}^{t_2} Q\,dt}{\int_{t_1}^{t_2} P\,dt} \qquad (5-5)$$

- مقدار مقياس القدرة الردية خلال الفترة $t_1 - t_2$

- مقدار مقياس القدرة الفعلية خلال الفترة $t_1 - t_2$

$$\cos\varphi_{av} = \cos\operatorname{arctg}\frac{Q_{av}}{P_{av}} \qquad (5-6)$$



الشكل (5-4)
منحني الاستطاعة الردية

آ- ثابت ، ب- متغير ولكن تبقى خلال الزمن t القيمة ذاتها

٣- عامل الاستطاعة الطبيعي : $\cos\varphi_{nat}$

وهي قيمة عامل الاستطاعة بدون استعمال المعوضات.

٤- عامل الاستطاعة العام : $\cos\varphi_{gen}$

وهي قيمة عامل الاستطاعة مع استعمال المعوضات.

* طرق رفع عامل الاستطاعة :

يمكن أن تقسم هذه الطرق إلى :

آ- **انقاص الاستطاعة الردية المستهلكة في الشبكة :** حيث يتم ذلك بعدة وسائل منها :

1- استبدال المحركات ذات التحميل الضعيف بمحركات أصغر

إن الاستطاعة الردية المستهلكة بواسطة المحرك في نظام الحمل الطبيعي تحسب بالعلاقة $Q_N \approx \frac{P_N}{\eta_N} tg\varphi_N$ ..... (5-7)

حيث η مردود المحرك عند الحمل الكامل .

كما أن الاستطاعة الردية المستهلكة من قبل المحرك عند التشغيل على فراغ تساوي :

$$Q_{o.c} \approx \sqrt{3}\, U_N\, I_{o.c} \qquad (5-8)$$

حيث $I_{o.c}$ تيار التشغيل على فراغ .

$$\Delta Q_N = Q_N - Q_{o.c} \approx \frac{P_N}{\eta} tg\varphi_N - \sqrt{3}\, U_N I_{o.c} \qquad (5-9)$$

عند حمولات المحرك الغير متواقتة الأقل من الاسمية يكون ازدياد استهلاك الاستطاعة الردية بالمقارنة مع التشغيل على فراغ متناسباً مع مربع عامل التحميل للمحرك (k_z) :

$$\Delta Q \approx k_z^2 \Delta Q_N \approx Q - Q_{oc} \approx \frac{P}{\eta} tg\varphi - \sqrt{3} U_N I_{o.c} \quad (5-10)$$

حيث $k_z = \frac{P}{P_N}$ ← عامل تحميل المحرك .

وبذلك تكون الاستطاعة الردية المستهلكة بواسطة المحرك تساوي :

$$Q = Q_{o.c} + k_z^2 \Delta Q_N$$

وبالتالي فإن عامل الاستطاعة للمحرك عند التحميل الاختياري يساوي :

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{Q_{o.c} + \Delta Q_N k_z^2}{P_N k_z}\right)^2}} \qquad (5-11)$$

حيث $P = k_z P_N$ وبالتالي :

من العلاقة (5-11) يتبين أن عامل استطاعة المحرك يتناقص بنقصان عامل تحميل المحرك أي أن استبدال المحرك ذي التحميل الضعيف بمحرك ذي استطاعة أقل (بغير رفع عامل تحميل المحرك الجديد) سيؤدي إلى رفع عامل الاستطاعة .

من البديهي أن نقول بأن هذا التبديل يجب أن يؤدي إلى إنقاص الاستطاعة الفعلية الضائعة في الشبكة وفي المحرك، وبالتالي الضياع الكلي:

$$\Delta P_{TOTAL} = \Phi K_{\pi} + \Delta P \qquad (5-12)$$

حيث ΔP - ضياع الاستطاعة الكلي في المحرك.

K_{π} - عامل تغير الضياع ك.و/ك.فار.

$$\Delta P_T = [P_{0.C}(1-K_Z)^2 + K_Z^2 P_N] K_{\pi} + \Delta P_{0.C} + K_Z^2 P_{0.N} \qquad (5-13)$$

حيث $\Delta P_{0.C}$ هو ضياع الاستطاعة الفعلية عن فراغ، كيلوواط:

$$\Delta P_{0.C} = \left(\frac{1-Z}{Z}\right)\left(\frac{\gamma}{1+\gamma}\right) \qquad (5-14)$$

و $\Delta P_{0.N}$ ازدياد ضياع الاستطاعة الفعلية في المحرك عند حمولة 100% كيلوواط:

$$\Delta P_{0.N} = P_N \left(\frac{1-Z}{Z}\right)\left(\frac{1}{1+\gamma}\right) \qquad (5-15)$$

و γ هي عامل حسابي يعتمد على تركيب المحرك ويعطى بالعلاقة:

$$\gamma = \frac{\Delta P_{0.C}}{\Delta P_{0.N}} = \frac{\Delta P_{0.C}\,\%}{(100 - Z\%) - \Delta P_{0.C}\,\%} \qquad (5-16)$$

حيث $\Delta P_{0.C}\%$ - ضياع الاستطاعة الفعلية على فراغ بنسبة مئوية من الاستطاعة الفعلية التي يستهلكها المحرك عند التحميل الكامل.

تدل الأبحاث على أنه إذا كان التحميل الوسطي للمحرك:

التحميل < 45% من استطاعة المحرك الاسمية فاستبدال المحرك دائماً اقتصادياً.

التحميل > 70% من استطاعة المحرك الاسمية فاستبدال المحرك غير مناسب اقتصادياً.

أما تحميل بين (45 - 70%) من استطاعة المحرك فاستبدال المحرك يجب أن تكون مقترنة بنقصان ملحوظ في ضياعات الاستطاعة الفعلية في الشبكة الكهربائية وفي المحرك.

١- تخفيض الجهد عند المحركات ذات التحميل الصغير.

٢- الحد من تشغيل المحركات على فراغ.

٤- استبدال المحركات غير المتوافقة بمحركات متوافقة عند توفر الإمكانية حسب طبيعة العمل.

٥- رفع مستوى صيانة المحركات.

٦- تغيير المحولات ذات التحميل الصغير

ب - استعمال المعوضات :

١ - المعوضات المتوافقة : هي محركات متوافقة ذات تركيب بسيط وبدون حمولة على محورها ، ويمكنها أن تعمل كمولدات للاستطاعة الردية (عند الترتيب الزائد) أو كمستهلكات للاستطاعة الردية (عند الترتيب الناقص) . وبالتالي فإن التحكم بقيمة الاستطاعة الردية أو المستهلكة يتم بواسطة الترتيب.
في الوقت الحاضر تصنع معوضات متوافقة تتراوح بين (٥٠٠ - ٧٥٠٠٠ كيلوفار) . ومن الجدير بالذكر أن ضياعات الاستطاعة الفعلية في المعوضات المتوافقة تقدر بـ (٣٪ - ١٥٪) كيلوواط / كيلوفار ، وهذا رقم كبير .

٢ - المكثفات الساكنة : تشمل المكثفات الساكنة مولدات فقط للاستطاعة الردية وتتراوح استطاعة العنصر الواحد منها بين (٤ - ١٠) كيلوفار . ومن هذه العناصر تجمع بطاريات المكثفات بالاستطاعة المرغوبة . توصل المكثفات الساكنة إلى الشبكة على شكل مثلث . ويجب الانتباه إلى تفريغ الشحنة المختزنة في المكثفات عند فصلها عن الشبكة بشكل آلي وبدون تدخل المشرف على تشغيل الشبكة الكهربائية .

مزايا استعمال المكثفات الساكنة : من أهم مزايا المكثفات الساكنة :

١ - الضياعات في المكثفات أقل من ٠,٥٪ من استطاعتها الاسمية بينما تصل إلى ١,٥٪ بالنسبة للمعوضات المتوافقة ذات الاستطاعة ٥٠ - ١٠٠ ميغا فولت أمبير .
٢ - تركيبها سهل وكذلك تشغيلها وصيانتها .
٣ - عمرها طويل .
٤ - موثوقيتها عالية .
٥ - تشغيلها مرن إذ يمكن تعديل استطاعتها الاسمية حسب شرط العمل .
٦ - لا يوجد قيود على اختيار موقعها في الشبكة ويمكن تركيبها بمجموعات صغيرة بالقرب من الحمولة ، وهذه الميزة غير متوفرة في المعوضات المتوافقة .

تشمل المكثفات بالإضافة إلى تحسين عامل الاستطاعة - القيام بالتالي :

١ - توليد الاستطاعة الردية .
٢ - تقليص تنظيم الجهد في الخط .
٣ - تقليل الضياعات في الشبكة .
٤ - إعادة تناظر الحمولات على الأطوار الثلاثة .

* اقتصاديات تحسين عامل الاستطاعة :

يفضل تحسين عامل الاستطاعة دوماً إلى قيمته المثلى وهي الواحد، من الناحية الفنية، إلا أنه كلا من المستهلك ومؤسسات الكهرباء يبحثون فيما عن الفائدة التي يمكن الحصول عليها من تحسين عامل الاستطاعة، وهذا بدراسة يجب أن يتم على أساس اقتصادية دوماً من أجل تحقيق أقل تكاليف ممكنة.

أولاً بالنسبة للمستهلك :

نفرض أن المستهلك يدفع للمؤسسة (الفاتورة) على أساس قيمة (S) KVA = (S) الأعظمية التي يستهلكها، وبالطبع فإن تحسين عامل الاستطاعة سيقلل من قيمة هذه الاستطاعة الأعظمية ويحقق للمستهلك وفراً، إلا أن هذا الوفر يتطلب تجهيزات خاصة لرفع عامل الاستطاعة وبالتالي فهي تحتاج إلى نفقات إضافية. وبناءً على ذلك فإن المستهلك عملياً سوف يختار قيمة عامل الاستطاعة التي تحقق له أكبر وفر ممكن.

نفرض أن حمولة المستهلك هي P بعامل استطاعة $Cos\varphi_1$، والاستطاعة الظاهرية الأعظمية هي S_1، نفترض أن عامل الاستطاعة الجديد سيصبح $Cos\varphi_2$ والاستطاعة الظاهرية الأعظمية S_2 (بعد إضافة تجهيزات تحسين عامل الاستطاعة).

وإذا كان المستهلك يدفع قيمة الكهرباء حسب الطلب الأعظمي أي: $A(S.L/KVA)$ وذلك في السنة، عندها فإن الوفر السنوي الذي يحصل عليه بواسطة تحسين عامل الاستطاعة هو (X):

$$X = A(S_1 - S_2) = A\left(\frac{P}{Cos\varphi_1} - \frac{P}{Cos\varphi_2}\right) \quad \text{-----(5-17)}$$

أما عيار الاستطاعة الردية اللازم لتجهيزات تحسين عامل الاستطاعة بالمعادلة:

$$Y = P(tag\varphi_1 - tag\varphi_2) \quad \text{------(5-18)}$$

وإذا قبلنا بأن تجهيزات عامل الاستطاعة هي تجهيزات صناعات (ملتفات ساكنة) فإن عيار الاستطاعة الردية لتلك التجهيزات سوف يعيار الاستطاعة الظاهرية.

فإذا كانت كلفة هذه التجهيزات هي $B(S.L/KVA)$ في السنة فإن النفقات السنوية على تجهيزات تحسين عامل الاستطاعة:

$$X' = BP(tag\varphi_1 - tag\varphi_2) \quad \text{---(5-19)}$$

وبالتالي يكون الوفر السنوي الكلي يساوي:

$$Z = X - X' = AP\left(\frac{1}{Cos\varphi_1} - \frac{1}{Cos\varphi_2}\right) - BP(tg\varphi_1 - tg\varphi_2) \quad \text{---(5-20)}$$

ولغاية الحصول على الوفر الأعظمي نكتب :

$$\frac{dZ}{d\varphi_2} = 0 = -A P \sec\varphi_2 \operatorname{tg}\varphi_2 + B P \sec^2\varphi_2 = 0$$

$$A P \sec\varphi_2 \operatorname{tg}\varphi_2 = B P \sec^2\varphi_2 \Rightarrow$$

$$\frac{A \sin\varphi_2}{\cos^2\varphi_2} = \frac{B}{\cos^2\varphi_2} \Rightarrow$$

$$\sin\varphi_2 = \frac{B}{A} \quad \ldots\ldots (5-21)$$

أي نستطيع أن نعبر عن العلاقة السابقة (علاقة الوفر الأعظمي) بما يلي:

$$\sin\varphi_2 = \frac{\text{التكاليف السنوية لكل ل.ف.آ من تجهيزات رفع عامل الاستطاعة}}{\text{التكاليف السنوية الناتجة لكل ل.ف.آ من الطاقة الأعظمي}}$$

إن القيمة الجديدة لزاوية الاستطاعة (القيمة الاقتصادية) تكون مستقلة عن القيمة الأصلية لهذه الزاوية قبل وصل تجهيزات تحسين عامل الاستطاعة .

أما إذا كانت تجهيزات تحسين عامل الاستطاعة تستهلك استطاعة فعلية على شكل ضياعات (استعمال معوضات متوافقة) فإن قيمة عامل الاستطاعة المقابلة اقتصادياً - تشتق كما يلي :

نفرض أن ω من الضياعات لكل ل.ف.آ من استطاعة تجهيزات التحسين، وحيث أن هذه الضياعات صغيرة جداً فسنفترض أن عيار الاستطاعة الردية لهذه التجهيزات يساوي عيار الاستطاعة الاسمية لها، ونفرض أن المنشأة تعمل (h) ساعة سنوياً فإن القدرة المستهلكة في الشبكة وبالاعتماد على المعادلة (5-18) تكون

$$Y' = \omega P (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) \cdot h \quad \ldots (5-22)$$

إذا كانت (C) الطاقة السنوية نتيجة استهلاك القدرة من تجهيزات تحسين عامل الاستطاعة، وبالتالي تكون التكاليف الطلبية السنوية الناتجة عن تجهيزات تحسين عامل الاستطاعة تعطى بالعلاقة: $M = X' + CP(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2)\cdot h$

$$M = (B+C) P (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) \quad \ldots (5-23)$$

حيث: C تعطى بالعلاقة $C = L\omega h$ ، L - كلفة القدرة ($S.L/K.w.h$)

وبالتالي يحدث الوفر الأعظمي عندما تكون :

$$\sin\varphi_2 = \frac{B+C}{A} \quad \ldots (5-24)$$

ثانياً - اقتصاديات تحسين عامل الاستطاعة بالنسبة لمؤسسات الكهرباء:

كما تحدثنا سابقاً إذا زاد الحمولة على محطات التوليد، يمكن تغطية هذه الزيادة إما بـ: ١- إضافة مولدات جديدة.

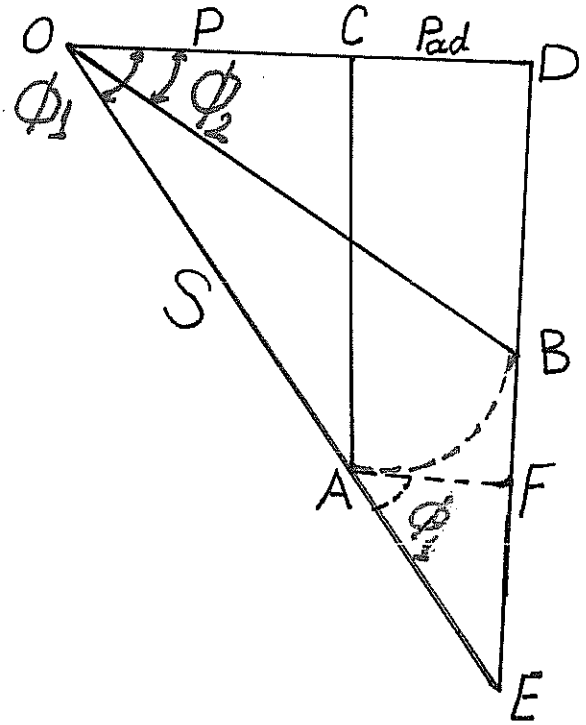
٢- إضافة تجهيزات لتحسين عامل الاستطاعة.

نفرض S هي الاستطاعة الظاهرية (الاسمية) K.V.A / لمحطة التوليد وإذا أمكن تحسين عامل الاستطاعة من $\cos\varphi_1$ إلى $\cos\varphi_2$ فإنه يمكن بهذا العمل تغطية بعض الزيادة في حمولة المحطة ذاتها بمقدار:

$$P_{ad} = S(\cos\varphi_2 - \cos\varphi_1) \quad K.W \qquad ...(5-25)$$

حيث سيتم الحكم النهائي على الطريقتين المذكورتين بالحساب الاقتصادي الذي يجب أن يأخذ بعين الاعتبار الطاقة لكل ك.ف.آ من السعة الجديدة التي يجب إضافتها والطاقة لكل ك.ف.آ من استطاعة تجهيزات تحسين عامل الاستطاعة وفيما يلي سنوضح كيفية إيجاد الطاقة السنوية الأعظمية لكل ك.ف.آ من تجهيزات عامل الاستطاعة التي تحمل هذه التجهيزات (اقتصادية) بالمقارنة مع تجهيزات التوليد الإضافية.

نفرض أن S [ك.ف.آ] هي استطاعة محطة التوليد
P [ك.و] الحمولة المفداة من هذه المحطة بعامل استطاعة $\cos\varphi_1$
P_{ad} [ك.و] الحمولة الإضافية الواجب تغذيتها.



شكل (5-4)

إذا قمت تغذية الحمولة الإضافية P_{ad} بواسطة المحرك ذاتيا بعد إضافة تجهيزات تحسين عامل الاستطاعة، عندئذ من الشكل (4-5) نستطيع أن نكتب بالاعتماد على المعادلة (5-25):

$$P_{ad} = S(\cos\varphi_2 - \cos\varphi_1)$$

$$AE = \frac{AF}{\cos\varphi_1} = \frac{P_{ad}}{\cos\varphi_1} = \frac{S(\cos\varphi_2 - \cos\varphi_1)}{\cos\varphi_1} \quad \ldots(5-26)$$

الاستطاعة العيارية لتجهيزات تحسين عامل الاستطاعة Q:

$$BE = (DE - DB) \quad \ldots\ldots(5-27)$$

$$\left.\begin{aligned} DE &= OD\,tg\varphi_1 \\ OD &= S.\cos\varphi_2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow$$

بالتعويض في (5-27) $\left\{\begin{aligned} DE &= S.\cos\varphi_2\, tg\varphi_1 \\ DB &= S.\sin\varphi_2 \end{aligned}\right.$

$$BE = S.\cos\varphi_2 tg\varphi_1 - S.\sin\varphi_2$$

$$BE = S(\cos\varphi_2 tg\varphi_1 - \sin\varphi_2)$$

$$BE = S\,\frac{\cos\varphi_2 \sin\varphi_1 - \sin\varphi_2 \cos\varphi_1}{\cos\varphi_1}$$

قيمة الاستطاعة العيارية بواسطة زوايا الطور (φ_1, φ_2)

$$BE = S\,\frac{\sin(\varphi_1 - \varphi_2)}{\cos\varphi_1} \quad \ldots\ldots(5-28)$$

إذا كانت x هي النفقات المبذولة السنوية لكل ك.ف.آ من السعة الإضافية التي يجب تركيبها، و y هي النفقات السنوية لكل ك.ف.آ من استطاعة تجهيزات تحسين عامل الاستطاعة، عندها ولكي تكون الاستثمارات أرخص يجب أن يتحقق:

$$y\,\frac{S.\sin(\varphi_1 - \varphi_2)}{\cos\varphi_1} \leqslant x\,\frac{S(\cos\varphi_2 - \cos\varphi_1)}{\cos\varphi_1} \Rightarrow$$

$$y \leqslant x\,\frac{\cos\varphi_2 - \cos\varphi_1}{\sin(\varphi_1 - \varphi_2)} \quad \ldots\ldots(5-29)$$

أو بعد عدة عمليات رياضية بسيطة نصل إلى:

$$\frac{x - y\sin\varphi_2}{\cos\varphi_2} \leqslant \frac{x - y\sin\varphi_1}{\cos\varphi_1} \quad \ldots\ldots(5-30)$$

مثال (1) : يراد التحقق من اقتصادية استبدال محرك استطاعته (100KW) ويعمل عند حمولة على المحور قدرها (50KW)، بمحرك آخر استطاعته (55KW) وعامل تغير الصياع K_π في هذه النقطة مساوي (0,1 KW/KVAR)، ثوابت المحرك هي : $I_{0.C}=57A$ ، $U_N=380V$ ، $\eta_N=0,92$ ، $\cos\varphi_N=0,89$

$\Delta P_{0.C}=3,5KW$

الحل : نحسب صياعات الاستطاعة الفعلية للمحرك الجديد (P'_T) والمحرك الأساسي المراد استبداله (P_T) ثم نقارن بينهما، نحسب المعادلة الرئيسية لحساب الصياعات وهي $\Delta P_T=[Q_{0.C}(1-K_Z)^2+K_Z^2Q_N]K_\pi+\Delta P_{0.C}+K_Z^2\Delta P_{aN}$

$Q_{0.C}=\sqrt{3}U_N I_{0.C}=\sqrt{3}\cdot 380\cdot 57\cdot 10^{-3}=37.5$ KVAR

$Q_N=\frac{P_N}{\eta_N}tg\varphi_N=\frac{100}{0,92}\cdot 0,515=56$ KVAR $\left[\cos\varphi_N=0,89\Rightarrow tg\varphi_N=0,515\right]$

$K_Z=\frac{P}{P_N}=\frac{50}{100}=0,5$ (عامل تحميل المحرك)

$\gamma=\frac{\Delta P_{0.C}\%}{(100-\eta\%)-\Delta P_{0.C}}=\frac{3,5}{(100-92)-3,5}=0,778$ (عامل هام يعتمد على تركيب المحرك)

$\Delta P_{aN}=P_N\left(\frac{1-\eta}{\eta}\right)\left(\frac{1}{1+\gamma}\right)=100\left(\frac{1-0,92}{0,92}\right)\left(\frac{1}{1+0,778}\right)=4,87$ KW

نعوض القيم السابقة في العلاقة الرئيسية المذكورة

$\Delta P'_T=[37,5(1-0,5)^2+0,5^2\cdot 56]\cdot 0,1+3,5+0,5^2\cdot 4,87=6,95$ KW

ثوابت المحرك المراد استبداله هي :

$\cos\varphi_N=0,89$, $\eta_N=0,905$, $U_N=380V$, $I_{0.C}=31,8A$, $\Delta P_{0.C}=2,31$ KW

بنفس الطريقة السابقة نجد القيم التالية للمحرك الأساسي كما يلي :

$Q_{0.C}=21$ KVAR

$Q_N=31,3$ KVAR

$K_Z=0,91$

$\gamma=0,322$

$\Delta P_{aN}=4,2$ K.W

(سبب الاستطاعة الفعلية التي تستهلكها المحرك عند الحمولة الطبيعية)

نعوض القيم السابقة في المعادلة (5-13) ⇐

$P_T = 8,39\ KW$ إجمالي وفر الاستطاعة الفعلية للزمن الأساسي المراد استبداله

بالمقارنة بين (P'_T) و (P_T) نرى أن التبديل يؤدي إلى إلغاء من الصباعات من $8,39KW$ إلى $6,95KW$ وبالتالي يبقى علينا التأكد من فرق كلفة رأس المال وكلفة الاستثمار اقتصادياً لنأخذ القرار بالاستبدال .

= . = . = . = . = . = . = . =

مثال (٢) : محطة توليد تغذي الحمولات التالية :

١- حمولات إنارة $P_1 = 2000\ KW$

٢- محركات تحريضية لعامل استطاعة وسطي $\cos\varphi_2 = 0,9$ متأخر ، مردودها $\eta_2 = \%89$ ، استطاعاتها $P_2 = 2000\ HP$.

٣- فرن تحريضي بعامل استطاعة $\cos\varphi_3 = 0,89$ متأخر ، استطاعته $P_3 = 1760\ KW$

٤- فرن مقاومات بعامل استطاعة وسطي $\cos\varphi_4 = 0,707$ متقدم ، ومردود $\eta_4 = \%93$ ، استطاعته $P_4 = 3000\ HP$.

المطلوب : P- أوجد عامل استطاعة المحطة .

ب- إذا تم تحميل الحمولة كلها على كابل مغذ واحد يتعرض للحرارة ذاتها ، ما هي الاستطاعة الأعظمية التي يحملها الكابل ؟ .

ج- إذا قامت مولدة باستطاعة $P_G = 5000KW$ وبعامل استطاعة يساوي الواحد بتغذية جزء من الحمل ، ما هي حمولة المولدة الأمثل وعامل استطاعتها ؟ .

الحل : P- نوجد أولاً مركبات الاستطاعتين الفعلية والردية لكل حمولة .

١- حمولات الإنارة $P_1 = 2000\ KW$ ، $Q_1 = 0$

٢- $P_2 = \dfrac{2000 \cdot 0,746}{0,89} = 1676\ KW$

$\cos\varphi_2 = 0,9 \Rightarrow \varphi_2 = 25^\circ 50' \Rightarrow tg\varphi_2 = 0,484$

$Q_2 = P_2\, tg\varphi_2 = 1676 \cdot 0,484 = 811\ KVAr$

$P_3 = 1760\ KW$

$\cos\varphi_3 = 0,8 \Rightarrow tg\varphi_3 = 0,75$

$Q_3 = P_3\, tg\varphi_3 = 1760 \cdot 0,75 = -1320\ KVAr$

$P_4 = \frac{3000 \cdot 0,746}{0,93} = 2406\ KW$ -٤

$\cos\varphi_4 = 0,707 \Rightarrow tg\varphi_4 = 1$

$Q_4 = P_4 \cdot tg\varphi_4 = 2406 \cdot 1 = 2406\ KVAr$

نقوم بترتيب النتائج في الجدول التالي :

المولد	P_{Π} KW	Q_{Π} = KVAr
إثارة	2000	0
محرك تزامني	1676	-811
محرك تزامني	1760	-1320
محرك متوافق	2406	+2406
المجموع	7842	+275

إذا اعتبرنا أنه زاوية عامل الاستطاعة للحطة هي φ عندها:

$tg\varphi = \frac{Q}{P} = \frac{275}{7842} = 0,03506 \Rightarrow$

$\varphi \approx 2^0 \Rightarrow \cos\varphi = 0,9994$ متقدم

ب- $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{7842^2 + 275^2} = 7850\ KVA$

ج - الاستطاعة الفعلية المقدمة من المنوبة الثانية (P_2') :

$P_2' = P_T - P_G = 7842 - 5000 = 2842\ KW$

الاستطاعة الردية المقدمة من المنوبة الثانية (Q_2') :

$Q_2' = Q_T - Q_G = 275 - 0 = 275\ KVAr$

إذا اعتبرنا أنه زاوية الاستطاعة للمنوبة الثانية (φ_{II}) فإن:

$tg\varphi_{II} = \frac{Q_2'}{P_2'} = \frac{275}{2842} = 0,09677 \Rightarrow \varphi = 5^0 31'$

$\cos\varphi_{II} = 0,9954$ متقدم

مثال (٣) : تعمل جملة كهربائية عند استطاعتها الاسمية الأعظمية [KVA] بعامل استطاعة 0,71 متأخر، يمكن تغطية الزيادة في الحمولة بواسطة آ- رفع عامل استطاعة الجملة إلى 0,87 باستعمال مزحيات الطور

ب- تركيب مجموعات توليد إضافية، المطلوب تحديد كلفة تجهيز تحسين عامل الاستطاعة لكل ك.ف.آ، إذا كانت كلفة مجموعات التوليد هي (60 S.L/KVA)، يمكن افتراض أن كلفة الفائدة والاستهلاك هي 10% في الحالتين.

الحل: آ-

$$\cos\varphi_1 = 0,71 \Rightarrow \varphi_1 = 44^\circ 46'$$

$$\cos\varphi_2 = 0,87 \Rightarrow \varphi_2 = 29^\circ 33'$$

$$\sin(\varphi_1 - \varphi_2) = \sin 15^\circ 13' = 0,2625$$

ب- باستعمال المعادلة (5-29) ونعوض x هي التكاليف السنوية لكل ك.ف.آ من محطة التوليد نكتب:

$$x = \frac{10}{100} \cdot 60 = 6 \text{ S.L} \quad \Rightarrow$$

$$y \geq 6 \frac{0,87 - 0,71}{0,2625}$$

$$y \geq 3,658$$

الكلفة لكل ك.ف.آ من استطاعة تجهيزات تحسين عامل الاستطاعة

$$E = \frac{3,658}{0,1} = 36,58 \text{ S.L}$$

= . = . = . = . = . = . =

سادساً- نظم التعرفة (Tariffs):

تعريف التعرفة:

١) هي جدول الأسعار الذي يتم بموجبه حساب قيمة القدرة المستهلكة.

٢) - هو المعادلة المستعملة لحساب فاتورة استهلاك الكهرباء.

* أغراض التعرفة وأهدافها: إن توليد القدرة الكهربائية لا يتم بدون كلفة، ولكي تستمر أعمال التوليد وتحقق البقاء هو الذي من الضروري استعادة هذه التكاليف المبذولة من مستهلكي الطاقة الكهربائية، والأموال المستردة يجب أن تكون موزعة - قدر الإمكان - بشكل عادل على المستهلكين المختلفين ما لم تكن هناك خطة معينة لتشجيع بعض الطرق الخاصة، كالمزارعين أو بعض الصناعات المحلية وغيرها.

كنا قد أشرنا سابقاً في فصل التكاليف بأنها تتألف من تكاليف ثابتة وتكاليف نصف ثابتة وتكاليف متحولة، بالإضافة إلى هذه التكاليف لابد من استعادة تكاليف الخدمات المبذولة على المستهلك (قراءة العدادات - إعداد الفواتير - الجباية النفقات العامة وفوائد الأموال المستثمرة في الاشراف والحراسة ... الخ).

وبشكل عام تشترك جميع أنظمة التعرفة في الأهداف التالية:

١- استعادة رؤوس الأموال الموظفة في معدات التوليد والنقل والتوزيع.

٢- استعادة تكاليف التشغيل والصيانة.

٣- استعادة تكاليف أجهزة القياس والعدادات، وإعداد الفواتير، والجباية والخدمات الأخرى.

٤- عائدات مرضية على رؤوس الأموال الموظفة في المشروع.

* العوامل المؤثرة على تشكيل التعرفة: مع أن النفقات المختلفة الداخلة في معادلة التعرفة ليس صعباً تحديدها لكن توزيع هذه النفقات على أنواع المستهلكين العديدة للوصول إلى معادلة معقولة يعتبر أمراً صعب للغاية.

سنقوم بذكر عشرة عوامل لها تأثير كبير في إيجاد المعادلة التي تستخدم في نظام التعرفة والتي يستلزم عادة وسطاً علماً أنها لن تلبي جميع الشروط التي سنذكرها في العوامل العشرة ذاتها.

١- في جميع الصناعات تقريباً ماعدا صناعة توليد الطاقة - لانتاج كثيراً بالتغيرات الموسمية على الطلب، ويعود ذلك أنه في فترة الطلب المنخفض تقوم المنشأة الانتاجية بتخزين الفائض لديها إلى فترة ذروة الطلب، لذلك يبقى الانتاج ثابتاً على مدار السنة وبالتالي تقصر الآلات الانتاجية على تغطية الطلب الوسطي، أما في قطاع التوليد للطاقة الكهربائية فالوضع مختلف تماماً نظراً لعدم وجود وسائل تخزين الطاقة الكهربائية على نطاق واسع وبالتالي لابد من تأمين الطاقة لحظة استهلاكها وبالكمية الطلوبة، وعليه فإن سعة المحطة يجب أن تكون متوافقة مع الطلب الأعظمي ولابد من إبقاء التجهيزات في محطة التوليد بحالة جاهزية تامة لتلبية متطلبات الاستهلاك الطلوبة في أية لحظة.

مما سبق نرى أن نظام التعرفة يجب أن يحتوي على رسم مناسب على الطلب الأعظمي بالإضافة إلى ثمن القدرة المستهلكة.

٢- من أجل استطاعة فعلية مستهلكة فإن المستهلك ذا عامل الاستطاعة المنخفض سيقوم باستجرار تيار أكبر وبالتالي إضافة لاستهلاكه قسم أكبر من الطاقة سيؤدي صناعة النحاس في خطوط النقل وشبكة التوزيع ويجب أخذ ذلك بالاعتبار في نظام التعرفة.

٣- إن تحسين عامل الحمولة يؤدي إلى توليد كمية من القدرة في المحطة أكبر هذا يعني أن التكاليف الثابتة للمحطة سوف توزع على كمية أكبر من القدرة المولدة مما يؤدي إلى تقليل كلفة واحدة القدرة المولدة، وبالتالي نظام التعرفة يجب أن يقدم سعراً منخفضاً للاستهلاك العالي، وهذا السبب يجعل الرسم المفروضة على المحولات المنزلية والتجارية أقل من محولات الانارة وذلك نظراً لأن محولات القوى المحملة تشمل على استهلاك كبير مما يحسن عامل الـ

٤- إن استعمال الطاقة في غير فترات الذروة يحسن عامل النبائي، وهذا بدوره يحسن عامل الحمل في محطات التوليد مما يقلل الطاقة الاحتياطية، وبالتالي يجب أن تلحظ التعرفة إعطاء أفضلية - بسعر زهيد - للطاقة المولدة في غير فترات الذروة بحيث يشجع المستهلك على استهلاك الطاقة في هذه الفترات.

٥- يجب أن يأخذ نظام التعرفة بعين الاعتبار أيضاً دخل المستهلك لدفع فاتورة الكهرباء، (مع أن الكهرباء تشمل لدفع الرسوم في المحال التجارية والمنزل) إلا أن أسعار القدرة من أجل الاستعمال التجاري قد تكون أعلى.

من ناحية أخرى، من أجل الاستهلاك الصناعي وحيث أن كلفة القدرة المستهلكة كبيرة جداً لذلك فإن أية زيادة في التعرفة ستزيد من كلفة الانتاج، وفي حالة الاستهلاك المنزلي فإن الكميات المستهلكة غير كبيرة نسبياً مع الصناعية، وعليه فإن المستهلك قادر على دفع سعر أكبر من سعر الكهرباء الصناعية، لذلك في كثير من الأحيان يكون سعر الكهرباء الصناعية أقل من سعر الكهرباء المنزلية أو التجارية.

٦- يجب أن تكون التعرفة بسيطة بحيث تكون عمليات إعداد الفواتير سهلة، كما تكون في الوقت ذاته مفهومة بالنسبة للمستهلك.

٧- يجب أن يأخذ نظام المعرفة بعين الاعتبار توتر التغذية (مرتفع أو منخفض)، فإذا تمت التغذية بواسطة التوتر العالي (حيث المستهلك بالقرب من مركز التحويل) حينها الخاصة فإن مؤسسة الكهرباء تتحمل جميع أموال تمديد هذا المركز وصيانته والإشراف عليه، وبالتالي فإن المعرفة في مثل هذه الحالة يجب أن تكون أقل منها بالنسبة للتغذية عند التوتر المنخفض.

٨- يجب أن يكون نظام المعرفة - سهلاً لاستهلاك المزيد من الكهرباء من جهة - وهذا يدفع من جهة أخرى إلى تحسين عامل الاستطاعة - لأهميته وبالتالي تحسين عامل الحمل.

٩- يجب أن يكون نظام المعرفة مختصراً لكثير من التعقيدات في التمديدات والقياسات كأن تكون المعرفة مفضلة لمحولات الإنارة وأخرى لمحولات القوى المحركة وبالتالي وجوب استعمال تمديدات خاصة وعدادات لكل منهما، فضلاً عن صعوبة تحديد نوع الحمولة في مكان ما فإنها تكون محولات إنارة وقوى محركة في الوقت نفسه.

١٠- يجب أن تتوخى المعرفة بحيث تخفف المعرفة الأعباء المالية عن الطبقات الفقيرة في المجتمع (تفضيل الاحتياجات الضرورية عن الاحتياجات الكمالية) وبالتالي فائدة لأغلبية الناس من ولتعرفة الأفلية منهم إلى الضروري، على سبيل المثال (أن تكون تعرفة القوى المحركة - سعر أعلى من سعر محولات الإنارة) فإن المستهلكين الفقراء يحتاجون ربما أكثر من المستهلكين الأغنياء.

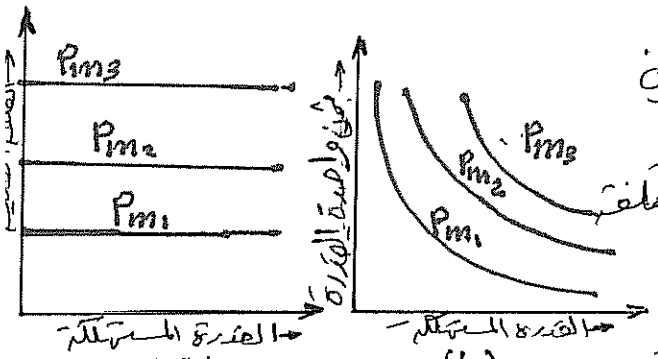
* أنواع التعرفة: إن الأنواع المختلفة للتعرفة الموجودة مقيد الاستعمال وذلك تبعاً لطبيعة الاستهلاك ويمكن إيجازها بما يلي:

١- تعرفة الطلب المنبسط.
٢- تعرفة السعر المنبسط أو تعرفة الخط المستقيم.
٣- تعرفة السعر المتدرج أو تعرفة القياس المتدرج.
٤- تعرفة السعر المتدرج المعدلة أو تعرفة القياس المتدرج المعدلة.
٥- تعرفة المجموعات.
٦- تعرفة هوبكنسون أو التعرفة ذات الجزأين.
٧- تعرفة عامل الاستطاعة.
٨- تعرفة دوهرتي أو التعرفة ذات الأجزاء الثلاث.

ولاحقاً سنناقش كلاً من الأنظمة المذكورة للتعرفة أعلاه ببعض من التفصيل.

*١- تعرفة الطلب المنبسط (Flat Demand Rate):

إن هذه الطريقة تقدم أقدم طرق استيفاء ثمن القدرة الكهربائية، حيث ثمن الفاتورة كما يدفع على أساس الصابيح المركبة أو المحولة المركبة وعدا استخدام الكهرباء مثلاً من أجل جميع المستهلكين كما أن تقديرات الطاقة الطلبية، وكلفة الوحدة بدلالة القدرة الكهربائية من أجل مجموعات مركبة مختلفة يبينها الشكل (1-a6 و b).

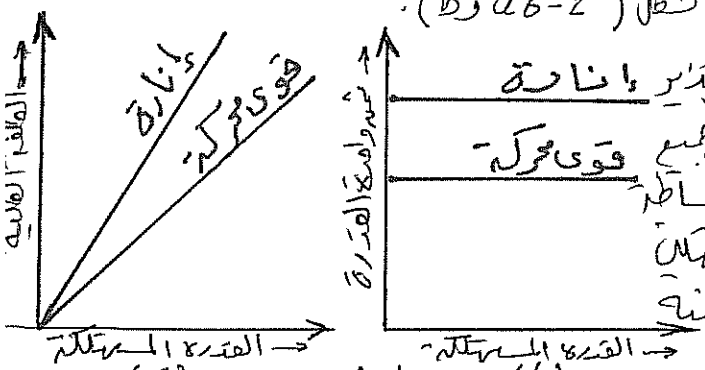


شكل (6-1)

الميزة الرئيسية لهذه الطريقة هو اختصار تجهيزات القياس، وقراءة العدادات وإعداد الفواتير وكلفة الجباية وهذه جميعها تساهم إلغاء أو التقليل الإجمالية.
أما السلبية الرئيسية هي عدم أخذ فترة استخدام القدرة من قبل المزودة بعين الاعتبار، لذلك فإن ذلك قليل لدى بعض الناس إن استخدام تجهيزات الكهربائية باستمرار حتى وإن لم تكونوا بحاجة إلى استخدامها.

*٢- تعرفة الخط المستقيم (السعر المنبسط) (Straight-Meter Tariff):

في هذه الطريقة يكون سعر الكيلو واط الساعي الواحد محدداً وتعتمد فاتورة الكهرباء على كمية القدرة الكهربائية المستهلكة كما هو مبين في الشكل (2-a6 و b).

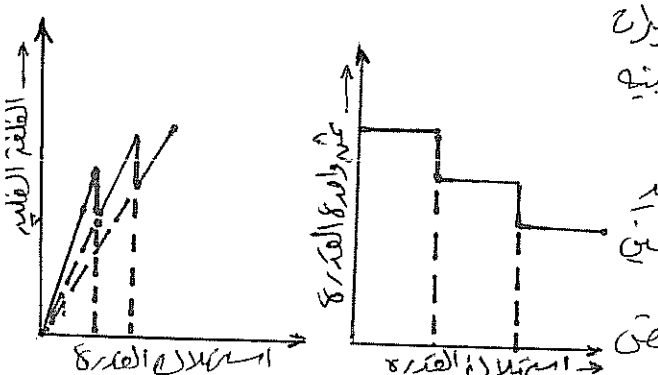


شكل (6-2)

الميزة الرئيسية لهذه الطريقة هي أنها تحد من التبذير في الاستهلاك نظراً لأنه المستهلك يدفع ثمن جميع القدرة المهدورة والمستقادة منها، إضافة إلى باطل هذه الطريقة هي مفروضة من قبل المستهلك الذي يلي ضرورة دفع ثمن محدد للوفاقية المتفق التي يحصل عليها.
أما السلبية الأساسية لهذه الطريقة هي أن المستهلك الذي لا يستهلك لفترة معينة من الزمن أية قدرة عندما يطلب يدفع شيء للمؤسسة، علماً أنه قد كلفت المؤسسة مبالغ معينة جراء الحفاظ على حصته المحجوزة في الخطة في حالة جاهزة دوماً لإمداده بالكهرباء.

*٣- تعرفة السعر المتدرج (Step Meter Tariff):

في هذه الطريقة لا تكون ثمن الكيلوات الساعي من القدرة محددة ولكنها تتناقص على شكل درجات كلما ازدادت القدرة المستهلكة، وتتزايد الطاقة الطلبية وكلفة الوحدة كتابع للقدرة المستهلكة تبينه الشكل (3-a6 و b).

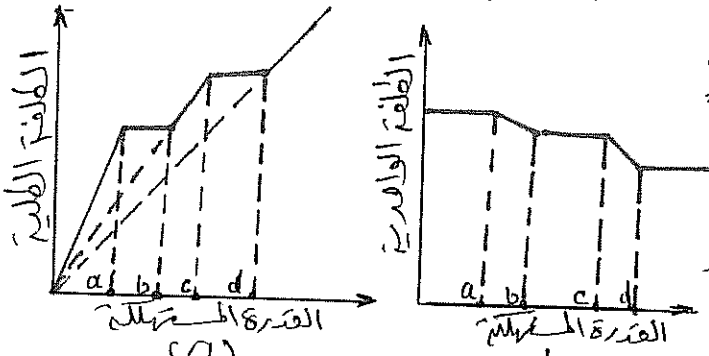


شكل 6-3

الميزة الرئيسية لهذه الطريقة أنها تعكس كلف التوليد المنخفضة نتيجة زيادة الاستهلاك الكهربائي أي لتحسين عامل الحمل (أي تحسين استهلاك الكهرباء).
سلبية هذه الطريقة هي أن الطاقة الطلبية للقدرة تتناقص بعد عبور الحد الفاصل بين درجتين.

* ٤- تعرفة السعر المتدرج المعدلة (Medified Step-Rate Tariff):

تجاوز هذه التعريفة صعوبات الطريقة السابقة الناتجة عن إنقاص التكاليف الطاقية عند الفاصل بين درجتين وذلك عن طريق تعديل السعر، ونتيجة لذلك فإن الطاقة الطلبية عوضاً أن تتناقص إلا أنها فإنها تبقى ثابتة كما هو مبين في الشكل (4-6 a و b) كما أن سعر الوحدة لا يهبط بشكل فجائي إلى قيمة أخفض وإنما يتناقص بشكل تدريجي، ويبقى الخلل في أن استهلاك الطاقة بين a و b غير مدفوع.



شكل (4-6)

* ٥- تعرفة المجموعات (Block Rate Tariff):

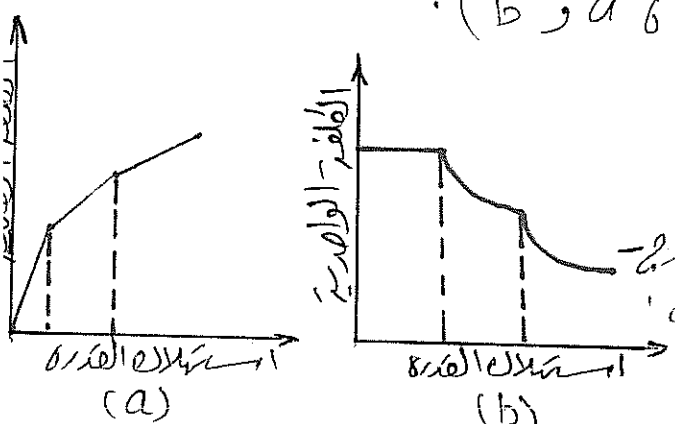
في هذه الطريقة تفرض رسوم الطاقة على مجموعات متتالية بأسعار أقل وأقل بينما تكون الرسوم على المجموعات الأسبق أعلى، على سبيل المثال، بالنسبة إلى (50) وحدة من الطاقة نفترض أن الـ (20) الأول يدفع بسعر (UNIT/10 S.L) والـ (20) الثاني بـ (UNIT/7 S.L) والمجموعات الباقية بسعر (UNIT/5 S.L) في تعرفة المجموعات فإن ثمن القدرة الطلبية يكون

$$20 \cdot 10 + 20 \cdot 7 + 10 \cdot 5 = 390 \text{ S.L}$$

بينما سيكون دفع مثل هذه الفاتورة حسب تعريفة السعر المتدرج هو:

$$50 \cdot 5 = 250 \text{ S.L}$$

وهكذا نرى بأن الدفع في التعرفة السابقة (تعرفة المجموعات) بأسعار مختلفة بالنسبة للمجموعات. بينما القدرة الطلبية بطريقة السعر المتدرج تكون بسعر مقابل للمجموعة النهائية، وتختلف الطاقة الطلبية والطاقة للوحدة بدلالة القدرة الكهربائية المستهلكة مبينة بالشكل (5-6 a و b).



شكل (5-6)

الميزة الرئيسية لهذه الطريقة أنها تلحظ تناقص الكلف مع زيادة الطاقة المستهلكة - كما في حالة التعرفة بالسعر المتدرج - إلا أنها لا تعاني من سيئة استهلاك القدرة بدون كلفة أو كلفة عالية.

*٦- تعرفة هوبكنسون ذات الجزأين (Hopkinson's Two Part Tariff):

من الاعتراف أنه تقوم مؤسسة الكهرباء بمحاسبة المستهلكين بشكل عادل حسب القدرة الكهربائية المستهلكة اليومية، حيث أن تكلفة التوليد تتألف من تكاليف ثابتة وتكاليف ثابتة وأخرى متحولة، وهذه الطريقة للتعرفة هي أول نظام ينتبه إلى الحقيقة هذه. فالجزء الأول من التعرفة يحدد الرسوم المفروضة على الطلب الأعظمي، والجزء الثاني من التعرفة يحدد (يثمن) القدرة التي استهلكها المستهلك، حيث يمكن التعبير عن ذلك رياضياً بالمعادلة (6-1):

تكاليف ثابتة وتكاليف ثابتة

$$E = a \times KW + b \times KWh \quad \cdots (6-1)$$

التكاليف الكلية — تكاليف متحولة

ملاحظة: قد يكون كل من قيمة التكاليف المطلوبة (b) أو القدرة المتبقية (a) منطقياً أو متدرجاً. هذه الطريقة توجد سنوياً وهي أن قياس عملية الذروة ضرورية جداً، أي أن هذه التعرفة قابلة للتطبيق على المنشآت الصناعية المتوسطة والكبيرة.

في بعض الحالات ولتجنب تركيب أجهزة قياس لتعرفة الطلب الأعظمي يمكن الحصول على رسوم الحمولة الأعظمية عن فاتورة الكهرباء مباشرة وذلك بمعاملين قياسيين.

على سبيل المثال يحصل على قيمة الفاتورة عن طريق هذا الحمولة المركبة بعدد ساعات تابع لعدد الوحدات المبنية أو المستهلكة الأعظمية للمبنى، ومن هذه الطريقة أيضاً أن المستهلك يجب أن يدفع لقاء استطاعته خلال فترة إنارة الغرف ولوحة تستخدم أية قدرة منها، مع العلم أنها يجب أن تكون محدودة القيمة.

*٧- تعرفة دوهرتي أو تعرفة الأجزاء الثلاثة (Doherty Rate or Three Part Tariff):

وهي التعرفة الرشيدة التي تحاسب المستهلك بشكل صحيح نسبياً عن القدرة المنقولة إليه من مؤسسة الكهرباء، وذلك بالنسبة لجميع شروط الحمولة المختلفة. وكما ذكرنا سابقاً أن تكاليف التوليد تتألف من نفقات ثابتة وتكاليف ثابتة ومتحولة. ولذلك فإن نظام تعرفة دوهرتي يتألف من ثلاثة أجزاء يعبر عنه رياضياً:

نفقات ثابتة

$$E = a + b(KW \text{ or } KVA) + C\ KWh \quad \cdots (6-2)$$

الطاقة الكلية — نفقات ثابتة — نفقات متحولة

حيث (a) مرتبط بكلفة التمديدات التي أجرتها المؤسسة لإيصال الكهرباء للمستهلك، إضافة إلى نفقات العدادات وقراءتها والنفقات الإدارية الأخرى.

(b) متناسبة مع الطلب الأعظمي، وهي تشمل جميع التكاليف المستقلة عن القدرة المستهلكة وهي متعلقة فقط بالاستطاعة المركبة لمحطة التوليد.

(c) متناسبة مع القدرة المستهلكة، وهي تشمل تكاليف الوقود ... الخ.

* ٨- تعرفة عامل الاستطاعة (Power Factor Tariff):

من أجل حمولة أعظمية محددة [KW] فإن مستهلكاً ما ذا عامل استطاعة منخفض يستجر تياراً أكبر من مستهلك يستجر الحمولة نفسها ولكن لعامل استطاعة مرتفع، وبالتالي فإن متطلبات سعة الخطة وكذلك سعة شبكتي النقل والتوزيع بالنسبة للمستهلك الأول أكبر منها بالنسبة للمستهلك الثاني، وبالتالي فإن مؤسسة الكهرباء تتحمل نفقات سنوية إضافية نتيجة للحمل ذي عامل الاستطاعة المنخفض لدى المستهلك علماً أن المؤسسة تتقاضى المبلغ ذاته من المستهلكين لقاء القدرة المستهلكة حسب نظام التعرفة ذي الجزئين، ولتصحيح هذا الخلل يمكن اللجوء إلى إحدى التعرفات التالية من أجل تشجيع المستهلك على تحسين عامل الاستطاعة:

أ- التعرفة حسب استطاعة الذروة (KVA) (KVA Maximum Demand Tariff):

هي تعرفة ذات جزئين باستثناء أن الحمولة هنا محددة بالكيلوفولت أمبير عوضاً عن الحمولة بالميلوواط كما هو الحال سابقاً، لذلك فإن عامل الاستطاعة المنخفض سوف يزيد الحمولة الأعظمية بالكيلو فولت أمبير من أجل استطاعة محددة للحمولة بالميلوواط وهذا بالتالي يزيد الرسوم المفروضة على المستهلك من الاستمرار على عامل استطاعة منخفض.

ب- التعرفة حسب الكيلوواط ساعي والكيلوفار ساعي (KWH and KVARH Tariff):

حسب هذه التعرفة فإن المستهلك يحاسب ليس فقط على القدرة الفعلية المستهلكة وإنما أيضاً على القدرة الردية المستهلكة، لذلك فإن عامل الاستطاعة المنخفض يؤدي إلى زيادة القدرة الردية المستهلكة وبالتالي يزيد من فاتورة الكهرباء مما يضطر المستهلك للعمل لرفع عامل الاستطاعة لحمولته.

ج- تعرفة عامل الاستطاعة ذو المقياس المنزلق (Liding Scale Power Factor Tariff):

في هذا النوع من التعرفة تؤخذ قيمة محددة لعامل الاستطاعة كأساس، وأي انحراف عن هذه القيمة الوسطية سواء إلى أعلى أو أسفل يحاسب عليها المستهلك، فإما أن يطالب بتخفيض التعرفة إلى الأدنى (أعلى) أو يغرم برسوم إضافية (أسفل).

* تعديل التعرفة (Rate Adjustment):

إن قيمة الثوابت الداخلة في نظم التعرفة كافة مرتبطة بشروط معينة خاصة بالتشغيل وأسعار الوقود ... إلخ، ولكي تتجنب إعادة النظر بنظام التعرفة بشكل متكرر ودائم حسب تغيرات هذه الشروط، ومن أجل أن تكون التعرفة قادرة بشكل دائم على استعادة التكاليف الحقيقية من المستهلك، يمكن أن تنص على إمكانية تغيير التعرفة من أجل تغيير قيمة الفاتورة كلها عند اختلاف سعر الوقود عن قيمته الأصلية، وكذلك يمكن أن تنص على تغيير التعرفة حسب اختلاف الأجور والضرائب أيضاً، وقد توضع تحفيزات محددة في التعرفة - في بعض الأحيان - لقاء دفع الفاتورة بسرعة.

* إختيار نوع التغذية الكهربائية من الشبكة العامة أم من المولد الخاص؟
(Comparison Between Private Generating Planet And Public Supply)

في معظم الحالات يفضل أصحاب المعامل شراء الطاقة الكهربائية من الشبكة العامة مباشرة عن توليدها محلياً عن طريق محطة توليد خاصة وذلك للأسباب التالية:

١- لأن ذلك يخفف عن إدارة المعمل عبء مسؤولية التوليد وتفرغهم لشؤون الإنتاج.

٢- المسافة اللازمة لخطوط النقل عند شراء الطاقة من الشبكة العامة أقل بكثير من المسافة اللازمة لخطوط التوليد.

٣- زيادة الحمولة في المعمل لا تشكل مشكلة بالنسبة للشبكة العامة كما أن التوسع المستقبلي للمعمل ستوفر ويمكن تأمينه دون صعوبة تذكر.

٤- إن موثوقية التغذية هي أهم عامل يميز التغذية من الشبكة العامة، إذ أن احتمال انهيار التغذية في المعمل نتيجة عطل في محطة التوليد المحلية لعدة أيام وارد دوماً. أما في الشبكة العامة فمن النادر أن تنقطع التغذية لمدة تزيد عن ساعة واحدة.

٥- التغذية الكهربائية من الشبكة العامة أرخص.

وإنما ينصح الخبراء في علم الطاقة أصحاب المعامل ذي محطات التوليد الخاصة بأن يكتفوا بإتصال معامل الشبكة العامة، حتى أن ذلك لا يفيد فقط كتغذية احتياطية للمعمل ولكن يمكن أن يفيد في المعمل في فترات الحمولة العظمى (كالليل أو نهاية الأسبوع) إذا يصبح من غير الاقتصادي تشغيل مجموع التوليد من أجل حمولات صغيرة على الرغم من المزايا العديدة التي ذكرناها آنفاً، قد يقع الاختيار في بعض الأحيان على التوليد المحلي وذلك للأسباب التالية:

١- استعمال البخار الفائض: يوجد بعض الصناعات تستخدم في عملياتها التكنولوجية البخار (كمعمل الورق - السكر - أعمال التنظيف)، يمكن استخدام البخار الفائض في مديرية لضغوط عالية لتدوير التوربين وتوليد الكهرباء.

٢- المحطات ذات الحرارة الضائعة: تستخدم الصناعات الناتج كوقود لتوليد الكهرباء (كحرارة الكوك في معامل الحديد - عادم الأفران الإنشائية) تستخدم تكنولوجيا ذات فعالية عالية في محركات غازية لتدوير المولدات الكهربائية.

٣- التوليد باستخدام الوقود الرخيص: ذو الطاقة الرابية الصغيرة والذي لا يبرر نقل هذا الوقود فيتم استخدامه للتوليد المحلي (ذات المطاحن مثلاً).

٤- محطة الديزل: في البلدان التي يتوفر فيها المازوت بسعر رخيص ومتطلبات التوليد حوالي 500 كيلوواط/ فينصح التوليد أفضل نظراً لمردود الديزل المرتفع

٥- حالات الطوارئ: (كالمستشفيات) في الأبنية التي لا يسمح بانقطاع التغذية ينصح ضرورة حيازة لأي حالة طارئة تغذية من الشبكة العامة.

مثال 1- لدينا محطة توليد بخارية فيها المعطيات التالية :

- كلفة المحطة (700 S.L) لكل كيلوواط من الاستطاعة المركبة .
- الفائدة والاستهلاك والتأمين والضرائب (10%) من كلفة المحطة .
- كلفة عملية التوزيع الأولي (300000 S.L) .
- الفائدة والاستهلاك والتأمين والضرائب (5%) من كلفة عملية التوزيع الأولي .
- كلفة التشغيل في السنة (300000 S.L) .
- كلفة الفحم (ثمنه + نقله + معالجته) (50 S.L) لكل (1) طن متري/م^3 .
- كلفة صيانة المحطة في السنة أ- كلفة ثابتة (25000 S.L) .
  ب- متحولة (35000 S.L) .
- الاستطاعة المركبة في المحطة (12000 KW) .
- الطلب الأعظمي من المحطة (10000 KW) .
- عامل الحمل السنوي (70%) .
- كمية الفحم المستهلكة في السنة (30000) طن متري .

نفرض أن تكاليف النقل والتوزيع الأولي تضاف إلى كلفة التوليد أوجد :

1- كلفة التوليد الاحمالية لكل كيلوواط ساعي .
2- التعرفة ذات الجزئين (طريقة هوتيلنغ) .

الحل :

1-

• الكلفة الكلية للمحطة = كلفة الكيلوواط × استطاعة المحطة المركبة .

= 700 · 12000 = 8400000 S.L

• الاستهلاك السنوي والفائدة والتأمين والضرائب على كل المحطة :

0,1 · 8400000 = 840000 S.L

• الاستهلاك السنوي والفائدة والتأمين والضرائب على التوزيع الأولي :

0,05 · 300000 = 15000 S.L

• كلفة الفحم السنوية :

50 · 30000 = 1500000 S.L

• مجموع التكاليف الثابتة = الاستهلاك السنوي على المحطة + الاستهلاك السنوي على التوزيع الأولي + الكلفة الثابتة السنوية من كلفة صيانة المحطة

840000 + 15000 + 25000 = 880000 S.L

• مجموع التكاليف المتحولة = كلفة الفحم السنوية + الكلفة المتحولة السنوية من كلفة صيانة المحطة + كلفة التشغيل في السنة .

1500000 + 300000 + 35000 = 1835000 S.L

* التكاليف الكلية = مجموع التكاليف الثابتة + مجموع التكاليف المتحولة :

$$= 880\,000 + 1835\,000 = 2715\,000$$

ملاحظة : ايجاد التكاليف الكلية غير مطلوبة لحل المسألة ولكنها يمكن استخدامها في وضع طلب رئيسي للمسألة .

** الكلفة [لكل كيلوواط] من الطلب الأعظمي = $\frac{\text{مجموع التكاليف الثابتة}}{\text{الطلب الأعظمي للمحطة}}$

$$= \frac{880\,000}{10\,000} = 88 \text{ S.L}$$

- الكلفة [لكل كيلوواط ساعي] المستهلكة من قبل المستهلك = $\frac{\text{مجموع التكاليف المتحولة}}{\text{القدرة المولدة في السنة}}$

القدرة المولدة في السنة = الحمولة المتوسطة × عدد ساعات السنة

الحمولة المتوسطة = عامل الحمل × الطلب الأعظمي للمحطة

$$= 0{,}70 \cdot 10\,000 = 7000 \text{ KW} \Rightarrow$$

القدرة المولدة في السنة :

$$= 7000 \cdot 8760 = 61{,}32 \cdot 10^6 \text{ KWh}$$

وبالتالي : الكلفة [لكل كيلوواط ساعي] المستهلكة :

$$= \frac{1835000}{61{,}32 \cdot 10^6} = 0{,}02993 \text{ S.L} \approx 0{,}03 \text{ S.L}$$

≈ 3 S.P (قروش سورية)

٢- وعليه فإن التعرفة ذات الجزئين للمحطة هي :

$$88 + 0{,}03 = 88{,}03 \text{ S.L}$$

أي أنه 88 ليرة سورية تدفع مقابل واحد من المستهلكين الطلب الأعظمي لكل مستهلك إضافة إلى (ثلاثة قروش) عن كل كيلوواط ساعي يستخدمها المستهلك .

ملاحظة : الأرقام الواردة في المسألة هي أرقام لمثال أي عن واقعة لأي محطة مجاورة استطاعتها (١٢٠٠٠) كيلوواط هي صغيرة نسبياً لعدد كبير من المستهلكين .

مثال ٢ :

لدينا محطة تجارية لها نفس المواصفات (في المثال ١ السابق) فإذا أضفنا المعطيات التالية :

- كلفة التوزيع الثانوي (700 000 S.L)
- الفائدة والاستهلاك والتأمين والضرائب (5 %) من كلفة التوزيع الثانوي .
- الحصة التي توزع كأرباح على المساهمين / سنة (700 000 S.L) .
- كلفة الصيانة للتوزيع الثانوي / سنة (100000 S.L) .
- القدرة المصروفة من قبل التجهيزات (%) من القدرة المولدة الإضافية في محطة التوليد .
- القدرة الضائعة في شبكة التوزيع (6 %) من القدرة المولدة .
- عامل التباين بين المستهلكين (2) .

أوجد : ١- التعرفة ذات الجزئين (طريقة هوتلنغ) وم للمستهلك .

٢- التعرفة المنبسطة [لكل كيلوواط ساعي] الخاضعة للرسوم عوضاً عن التعرفة ذات الجزئين .

الحل : ١-

	تكاليف متحولة ليرة / سنة		تكاليف ثابتة ليرة / سنة
التكاليف الطلبية من المثال السابق	1835 000	+	880000
الفائدة والاستهلاك من كلفة التوزيع الثانوي	-	+	35000
حصص المساهمين	-	+	700 000
الصيانة	100 000	+	-
المجموع الطلبي ⇐	1935000	+	1615000

$= 3\,550\,000$ S.L

الطلب الأعظمي للمستهلكين = الطلب الأعظمي للمحولة × عامل التباين

$= 2.10000 = 20\,000$ K.W

القدرة الواصلة إلى المستهلك بعد أخذ ضياعات القدرة في الخطوط سنوياً بين الاعتبار والقدرة المصروفة في تجهيزات المحطة الإضافية بعين الاعتبار :

$= 0,9 \cdot 61.32.10^6 = 55,188 \cdot 10^6$ KWh ⇒

الكلفة [لكل كيلوواط] من الطلب الأعظمي = مجموع التكاليف الثابتة / الطلب الأعظمي للمستهلكين

$= \frac{1615000}{20000} = 80,75$ S.L / سنة

١ الكلفة [لكل كيلوواط ساعي] = مجموع التكاليف المحولة / القدرة الواصلة للمستهلكين

$$= \frac{1935000}{55,188 \cdot 10^6} = 3,514 \quad S.P \text{ (قرش سوري)}$$

وبالتالي فإن المعرفة ذات الجزئين ستكون (80,75) ليرة لكل كيلوواط من الطلب الأعظمي في السنة إضافة إلى (3,514) قرش لكل كيلوواط ساعي

٢- المعرفة المبسطة الطلبية = التكاليف الطلبية / القدرة الواصلة للمستهلكين

$$= \frac{3550000}{55,188 \cdot 10^6} = 6,431 \quad S.P/KWh$$

= . = . = . = . = . =

مثال ٣ : معمل مقترح حمولته (200 KW) وبعامل استطاعة (0,8) وقد عرضت مؤسسة الكهرباء المحلية تزويد المعمل بالقدرة باستعمال إحدى التعرفتين التاليتين :

آ- تغذية بتوتر عال بسعر (2 S.L/KVA) من الطلب الأعظمي في الشهر + (4 S.P/KWh).

ب- تغذية بتوتر منخفض بسعر (2,1 S.L/KVA) من الطلب الأعظمي في الشهر + (4 S.P/KWh).

تقدر كلفة معدات التوتر العالي بـ (48 S.L/KVA) والصيانات فيها عند الحمل الكامل هي (4%)، مصاريف الفائدة والاستهلاك .... الخ هي (15%) من رأس المال. فإذا كان المعمل يعمل (48) ساعة أسبوعياً أحسب أي التعرفتين أفضل بالنسبة لصاحب المعمل ؟.

الحل : سنقوم بتقييم المصاريف السنوية الكلية في كل من نظامي التعرفة المذكورين ثم نقرر أيهما يعطي الحل الأرخص.

آ- نظام التعرفة الأول :

المصاريف الكلية السنوية = المصاريف للفائدة والاستهلاك + المصاريف السنوية نتيجة الطلب الأعظمي + المصاريف المحولة نتيجة لاستهلاك القدرة الفعالة.

المصاريف الثابتة السنوية (مصاريف الفائدة والاستهلاك) = كلفة عناصر ومعدات التوتر العالي مضروبة بالنسبة 15%

الحمولة P ← $\frac{200}{0,8} = 250$ KVA ← $\cos\varphi$

التوتر الأعظمي = الدخل الأعظمي = (التوتر الأعظمي + الصيانات)

الصيانات = $\frac{250 \cdot 4}{100} = 10$ KVA

الدخل الأعظمي = 250 + 10 = 260 KVA

كلفة معدات التوتر العالي

$260 \cdot 48 = 12480$ S.L

المصاريف الثابتة السنوية =

$12480 \cdot 0,15 = \{1872$ S.L$\}$

المصاريف السنوية نتيجة للطلب الأعظمي :

$260 \cdot 2 \cdot 12 = \{6240$ S.L$\}$

المصاريف المحولة نتيجة لاستهلاك القدرة في السنة ← عددنا بيع السنة ← الدخل الأعظمي

$260 \cdot 0,8 \cdot 48 \cdot 52 \cdot 0,04 = \{20767\ S.L\}$

← عدد ساعات العمل

* المصاريف الطلبية السنوية

$1872 + 6240 + 20767 = 28879\ S.L$

ب - نظام المعرفة الثاني :

المصاريف السنوية الطلبية = المصاريف السنوية نتيجة الطلب الأعظمي +
المصاريف السنوية نتيجة لاستهلاك القدرة

الطلب الأعظمي : $\frac{200}{0,8} = 250\ KVA$

المصاريف السنوية نتيجة الطلب الأعظمي

$250 \cdot 2,1 \cdot 2 = \{6300\ S.L\}$

المصاريف السنوية نتيجة لاستهلاك القدرة

$200 \cdot 48 \cdot 52 \cdot 0,04 = \{19968\ S.L\}$

* المصاريف الطلبية السنوية :

$6300 + 19968 = 26268\ S.L$

بالمقارنة بين المصاريف الطلبية السنوية لكل من نظامي المعرفة المقدمين لصاحب المحل نجد أن النظام (ب) نظام التغذية بالتوتر المنخفض هو الأرخص وبالتالي يجب أن يقع عليه الاختيار

= . = . = . = . =

مثال 4: لدينا معمل يعمل باستطاعة أعظمية قدرها (900 KW) ويعامل حوله (30%)، يراد تغذيته بالقدرة الكهربائية بإحدى الطريقتين التاليتين:

آ - محطة توليد محلية خاصة تعمل بالوقود وفق المعطيات التالية:

- رأس المال اللازم (500 000 S.L)،
- ثمن الوقود (80 S.L/TON).
- الوقود المستهلك (0,3 KG/KWh) من القدرة المولدة.
- كلفة الصيانة والإصلاح (0,25 S.P/KWh) من القدرة المولدة.
- كلفة زيت التزييت ومياه التبريد والمستودعات (0,3 S.P/KWh) من القدرة المولدة.
- الأجور (18000 S.L/year).
- كلفة الفائدة والاستهلاك (10%) من رأس المال اللازم.

ب - من الشبكة العامة وفقاً للمعطيات التالية:

(80 S.L/KW) من استطاعة الذروة في السنة + (3 S.P/KWh)

المطلوب: مقارنة المصاريف السنوية الكلية لكلا من الاقترامين السابقين.

الحل:

آ - بالنسبة لمحطة التوليد الخاصة:

المصاريف السنوية الثابتة = $0,10 \cdot 500\,000 = 50\,000$ S.L

القدرة الوسطية = $900 \cdot 0,30 = 270$ KW

القدرة المولدة في السنة = $270 \cdot 8760 = 2\,365\,200$ KWh

ثمن الوقود / كيلو واط ساعي بالقروش = $0,3 \cdot \frac{80}{1000} \cdot 100 = 2,4$ S.P/KWh

الكلفة الكلية لكل كيلو واط ساعي = $2,4 + 0,25 + 0,3 = 2,95$ S.P/KWh

الكلفة الاجمالية للوقود والصيانة والزيت والمياه ... الخ في السنة

$$= \frac{2,95 \cdot 2365200}{100} = 69\,770 \text{ S.L}$$

* الكلفة السنوية الكلية = المصاريف السنوية الثابتة + الأجور + الكلفة الاجمالية للوقود والصيانة والزيت والمياه ... الخ

الكلفة السنوية الكلية = $50\,000 + 18000 + 69\,770 = 137\,770$ S.L

ب - التغذية من الشبكة العامة :

الكلفة الكلية في السنة : كلفة الاستطاعة الأعظمية (الثابتة) + الكلفة المتحولة
(الاستطاعة المستهلكة سنوياً × ثمن الكيلوواط الساعي)

كلفة الاستطاعة الأعظمية (الثابتة) :

$= 80 \cdot 900 = 72000$ S.L

الكلفة المتحولة =

$= \frac{3}{100} \cdot 270 \cdot 8760 = 70956$ S.L

* الكلفة الكلية السنوية =

$= 72000 + 70956 = 142956$ S.L

= . = . = . = . = . = .

مثال ٥ : معمل يتغذى الطاقة الكهربائية بنظام المعرفة يدفع بموجب (100 S.L/KW) في السنة عن محولة الذروة + (65 S.P/KW h) من الطاقة المستهلكة، بالإضافة إلى (5 S.L/KW) في السنة عن الطلب الأعظمي وذلك من أجل كل هبوط للقدرة مساوٍ لـ (0,1) لعامل الاستطاعة عن القيمة (0,8) لعامل الاستطاعة المتأخر علماً أن الطلب الأعظمي للمعمل هو (500 KW) بعامل استطاعة متأخر (0,6) وعامل الحمل الإجمالي هو (50 %)، فإن الفائدة والاستهلاك هي (10 %) في الـ

المطلوب : حساب المبلغ الأعظمي / لكل ك.ف.آ التي يجب صرفها على المكثفات لتحسين عامل الاستطاعة إلى (0,8)

الحل : نحسب أولاً الغرامة الناتجة عن هبوط القدرة وفقاً لعامل الاستطاعة الذي تأخر من (0,8) إلى (0,6) :

الغرامة عن عامل الاستطاعة $= \frac{(0,8-0,6)\,5}{0,1} = 10$ S.L/KW

الغرامة السنوية من الطلب الأعظمي $= 500 \cdot 10 = 5000$ S.L

ملاحظة : لكن وبما أن الطلب الأعظمي يحدث (آنياً)، فإن سعة تجهيزات تقديم القدرة (تجهيزات رفع عامل الاستطاعة) تحسب بالاعتماد على المحولة الوسطية أو المحولة الدائمة وليس المحولة العظمى، بينما تحسب المصاريف الثابتة دائماً بالاعتماد على الحمل الأعظمي بالكيلوواط أو الكيلوفولت أمبير.

عامل الحمل ٪ الحمل الأعظمي = الحمل الوسطي

$$= 500 \cdot \frac{50}{100}$$

$$= 250 \text{ KW}$$

$$\cos \varphi_1 = 0,6 \Longrightarrow tg\, \varphi_1 = \frac{4}{3}$$

$$\cos \varphi_2 = 0,8 \Longrightarrow tg\, \varphi_2 = \frac{3}{4}$$

وبالتالي فإن سعة تجهيزات تقديم الطور يجب أن تكون وفقاً للعلاقة (5-18)
أي لمعادلة عبار الاستطاعة الردية Y

$$Y = Q = P(tg\, \varphi_1 - tg\, \varphi_2)$$

$$= 250\left(\frac{4}{3} - \frac{3}{4}\right) = \frac{875}{6} = 146 \text{ KVA}$$

فإذا كانت كلفة تجهيزات تحسين عامل الاستطاعة (تقديم الطور) هي B فرنكاً للعلاقة (5-19) فإن المصاريف السنوية عن تجهيزات تحسين عامل الاستطاعة تكون:

$$X' = B\,P(tg\, \varphi_1 - \varphi_2) = B\,Y$$

$$X' = 0,1 B \cdot 146$$

وهذه المصاريف يجب أن لا تزيد عادة عن القيمة السنوية المفروضة
إذا لم نقم بتحسين عامل الاستطاعة أي X' في حدودها العظمى يجب
أن تساوي (5000 S.L)

$$5000 = 0,1 \cdot B \cdot 146 \Longrightarrow$$

$$B = \frac{5000}{0,1 \cdot 146} \simeq 343 \text{ S.L/K.V.A}$$

كلفة تجهيزات (المبلغ الأعظمي) لتحسين عامل الاستطاعة لكل
كيلوفولت أمبير في السنة.

= . = . = . = . = . = .