

Distr.
LIMITED

E/ESCWA/SDPD/2010/Technical Paper.4
8 November 2010
ORIGINAL: ARABIC

اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (الإسكوا)

تحسين كفاءة الطاقة في قطاع الكهرباء في منطقة الإسكوا

الأمم المتحدة
نيويورك، 2010

10-0395

أولاً- مقدمة

يرتكز إنتاج الطاقة الكهربائية بمعظمه على نظم الإنتاج الحراري. وهذا القطاع هو أحد الدعائم الرئيسية لتحقيق النمو الاقتصادي والاجتماعي في بلدان منطقة الإسكوا. فخلال العقود الماضية، شهد هذا القطاع تطوراً كبيراً وكانت مساهمته أساسية في تحقيق التنمية الاقتصادية والاجتماعية حيث وفر الإمدادات الكهربائية لمشروعات التنمية الوطنية التي شمل بعضها المناطق الريفية. وباستثناء اليمن، حيث نسبة المزودين بالكهرباء لم تتجاوز الخمسين في المائة والسودان حيث لم تتجاوز هذه النسبة الثلاثين في المائة، وصلت الشبكات الكهربائية إلى جميع الأراضي المأهولة في بلدان الإسكوا وزود معظم سكانها بالإمدادات الكهربائية.

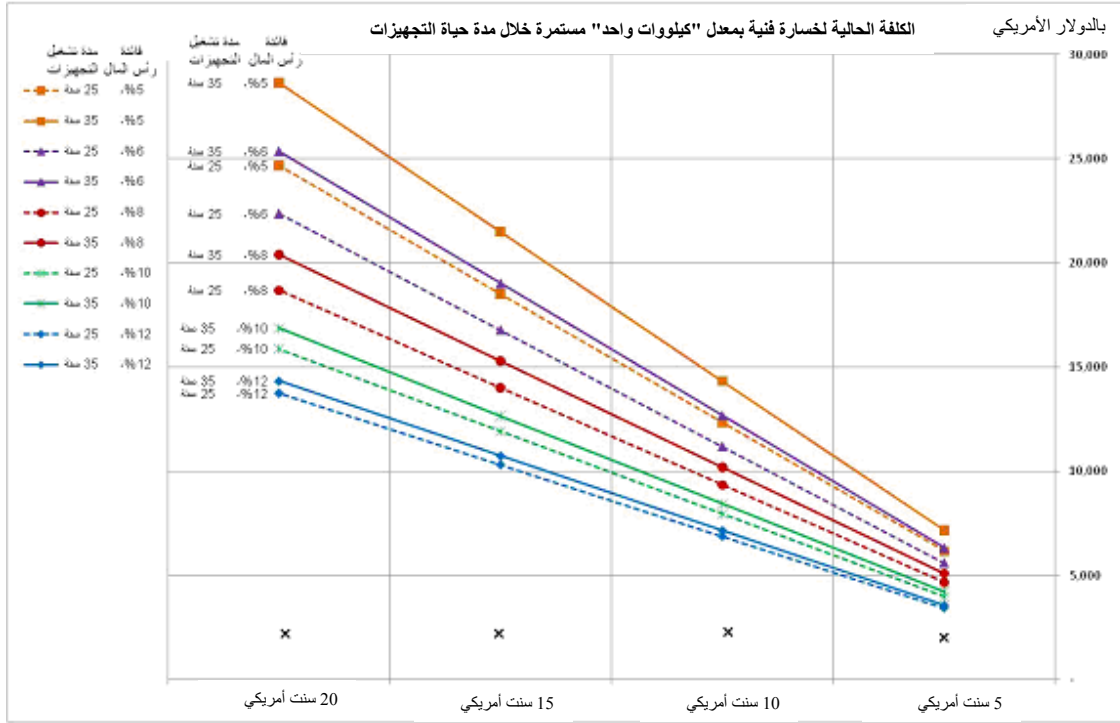
ثانياً- الكلفة الناتجة عن الخسارة الفنية والجدوى الاقتصادية من تخفيضها

إن زيادة الخسارة الفنية بمعدل كيلووات واحد يعني هدر طاقة كهربائية متراكمة خلال فترة عمل التجهيزات. فعلى مدار العام الواحد، يؤدي هذا الكيلووات إلى 8760 كيلووات ساعة، وخلال فترة حياة مكونات الشبكة، التي لا تقل عن 25 سنة، تصل الخسارة إلى 219 000 كيلووات ساعة. وبافتراض أن كلفة إنتاج الكيلووات ساعة هي بحدود 10 سنت أمريكي (علماً أن البلدان التي تتزود بالمحروقات بأسعار السوق العالمية تتكبد كلفة أكبر) وأن فائدة الرأسمال تساوي 6 في المائة مثلاً، فإن القيمة الحالية للطاقة المهدورة بسبب هذا الكيلووات الواحد من الخسارة الفنية هي بحدود 11186 دولار أمريكي. فيستحسن إذاً، من الناحية الاقتصادية، استثمار مبالغ إضافية ضمن هذه الحدود في تجهيز الشبكة الكهربائية لتخفيض الخسارة الفنية بحدود الكيلووات.

تتأثر هذه الكلفة، كما يتضح من الجدول أدناه، بفائدة رأس المال وبمدة عمل (أي حياة) التجهيزات وبكلفة الكيلووات ساعة التي تتغير وفق مصدر الطاقة ونظام التوليد وكفاءته.

الكلفة الحالية لخسارة فنية بمعدل "كيلووات واحد" مستمرة خلال مدة حياة التجهيزات

فائدة الرأسمال	5 في المائة		6 في المائة		8 في المائة		10 في المائة		12 في المائة	
	مدة الحياة		مدة الحياة		مدة الحياة		مدة الحياة		مدة الحياة	
كلفة الكيلووات ساعة (بالدولار الأمريكي)	25 سنة	35 سنة	25 سنة	35 سنة	25 سنة	35 سنة	25 سنة	35 سنة	25 سنة	35 سنة
5 سنت	6168	7164	5593	6342	4671	5098	3970	4218	3437	3583
10 سنت	12335	14328	11186	12684	9342	10197	7941	8435	6873	7167
15 سنت	18502	21492	16779	19025	14013	15295	11911	12653	10310	10750
20 سنت	24670	28656	22371	25367	18683	20393	15882	16870	13746	14333



منافع تخفيض الخسارات الفنية على الشبكة الكهربائية عديدة وهي كما يلي:

(أ) التوفير في رأس المال اللازم لتجهيز القدرة المركبة اللازمة لإنتاج هذه الطاقة المهدورة، ونقلها؛

(ب) التوفير في استهلاك المحروقات اللازمة لإنتاج هذه الطاقة المهدورة؛

(ج) التوفير في استهلاك المحروقات يخفض الفاتورة النفطية للدول المستوردة للنفط ويحسن ميزان مدفوعاتها التجاري، ويؤمن للدول المصدرة للنفط كميات إضافية يمكن تصديرها إلى الخارج والاستفادة من عائداتها في أغراض التنمية؛

(د) الحد من ارتفاع حرارة المعدات والتجهيزات، الذي يسمح بتحاشي الأعطال الناجمة عن الحرارة الزائدة، ويطيل المدة الممكنة لعمل تلك المعدات والتجهيزات. إن الخسارة الإجمالية على الشبكة الكهربائية، أي مجموع الخسارات على كافة مكونات الشبكة، تظهر بشكل طاقة حرارية يتم تصريفها إما بصورة طبيعية وإما عبر الاستعانة بمبردات وبمراوح ومضخات لكي يتوقف الارتفاع في الحرارة عند درجة معينة. ومن الضروري الانتباه إلى أن ارتفاع حرارة مكونات الشبكة التي تحصل فيها هذه الخسارات يؤدي إلى إجهادها وتقصير مدة حياتها. وينص قانون Montsinger على أن ارتفاع الحرارة بمعدل عشر درجات مئوية يخفض إلى النصف مدة حياة المادة العازلة كهربائياً في التجهيزات والمعدات، بينما يؤدي تناقص هذه الحرارة بمعدل عشر درجات مئوية إلى زيادة مدة حياتها إلى الضعف؛

(هـ) المساهمة في المساعي العالمية لتخفيض الانبعاثات، لا سيما وأن منطقة الإسكوا ستكون من المناطق الأكثر تضرراً وستعاني من حدة تغير المناخ الناتج عن الانبعاثات، رغم أنها تاريخياً لم تساهم إلا بقدر ضئيل من الانبعاثات الناتجة عن الأنشطة البشرية؛

(و) تحسين نوعية الخدمات الكهربائية عبر تحسين مستوى التوتر/الجهد، وتلافي انخفاضه لدى إمداد المستهلك بحاجاته من الطاقة الكهربائية.

ثالثاً- الوضع الحالي في بلدان الإسكوا

بلغ إجمالي الطاقة الكهربائية المنتجة على شبكات البلدان الأعضاء في الإسكوا حدود 662 000 جيغاواط ساعة في عام 2009، حيث أنتج 92 في المائة منها تقريباً من مصادر حرارية تستخدم الفيول الثقيل والديزل أويل والغاز الطبيعي، ووصل منها إلى المستهلكين حوالي 567 000 جيغاواط ساعة. فإجمالي الخسارات الفنية على الشبكات بلغ إذاً حدود 15 في المائة من الطاقة الإجمالية المنتجة، ومعظمها ينتج من البترول والغاز.

وباستثناء قطر والكويت والمملكة العربية السعودية، حيث لم تتجاوز الخسارات الفنية على الشبكات حدود العشرة في المائة، من الواضح أن هذه الخسارات قد تجاوزت الحدود المعقولة مقارنة بالشبكات في البلدان المتقدمة.

نسبة الخسارة الفنية على شبكة النقل (النسبة المئوية)	نسبة الخسارة الفنية على شبكة التوزيع (النسبة المئوية)	نسبة الخسارة الفنية الإجمالية على الشبكة الكهربائية (النسبة المئوية)	البلد
منطقة الإسكوا			
2.49	13.24	15.73	الأردن
		12.40	البحرين
		8.5 ✓	المملكة العربية السعودية
4.5	13	17.5	السودان
3.01	24.68	27.69	الجمهورية العربية السورية
9	25	34	العراق
1.70	19.00	20.70	عمان
2.50	4.50	7 ✓	قطر
6	4	10 ✓	الكويت
1.9	26.1	28	اليمن
البلدان الأوروبية			
1.5	4.5	6	النمسا
1.5	7.0	8.5	الجمهورية التشيكية
1.6	4.7	6.3	فنلندا
2.3	5.0	7.3	فرنسا
2.4	6.8	9.2	اليونان
1.4	9.2	10.6	هنغاريا
1.6	5.0	6.6	النرويج

نسبة الخسارة الفنية على شبكة النقل (النسبة المئوية)	نسبة الخسارة الفنية على شبكة التوزيع (النسبة المئوية)	نسبة الخسارة الفنية الإجمالية على الشبكة الكهربائية (النسبة المئوية)	البلد
2.1	11.8	13.9	بولندا
1.1	6.4	7.5	البرتغال
2.6	13.5	16.1	رومانيا

سلوفاكيا	1.0	8.3	9.3
إسبانيا	1.2	7.1	8.3
السويد	2.1	2.3	4.4
المملكة المتحدة	1.6	6.0	7.6

المصدر: الاتحاد العربي للكهرباء، النشرة الإحصائية 2009، العدد الثامن عشر.

European Regulators Group for Electricity and Gas, ERGEG. Ref: E08-ENM-04-03, 15 July 2008. *Treatment of Losses by Network Operators. ERGEG Position Paper for public consultation.*

لذلك تبرز الحاجة إلى بذل الجهود وتكثيفها لتخفيض الفاقد على الشبكات الكهربائية في المنطقة، لا سيما على شبكات التوزيع. وتشير توقعات الطلب على الطاقة الكهربائية⁽¹⁾ إلى أن الحمل الأقصى في منطقة الإسكوا البالغ حالياً حوالي 120 000 ميغاواط سيتضاعف ليبلغ في عام 2020 حوالي 250 000 ميغاواط، وأن الطاقة المستهلكة سنوياً التي بلغت حوالي 567 000 جيغاواط ساعة في عام 2009 ستصبح في عام 2020 حوالي 1 652 000 جيغاواط ساعة. فتخفيض الخسائر الفنية من 15 في المائة إلى 10 في المائة، أي بحدود الخمسة في المائة (وهو رقم معقول جداً وبلوغه ممكن إذا توافرت الإرادة لذلك) سيسمح بتحاشي تجهيز وحدات إنتاج بقدرة مركبة إجمالية بحدود 12500 ميغاواط مع ما يلزم لنقل الطاقة المنتجة منها وتوزيعها، للفترة حتى عام 2020، وسعرها لا يقل عن خمسة عشر مليار دولار أمريكي. وسيؤدي تخفيض الخسائر أيضاً إلى التوفير في استهلاك المحروقات اللازمة لإنتاج حوالي 95 000 جيغاواط ساعة في عام 2020، وكذلك كميات الانبعاثات، وإلى المساهمة في تخفيف حدة تغير المناخ.

وسبق أن تناولت الإسكوا في بعض من نشراتها تحسين كفاءة الطاقة والإدارة الكفوءة لاستهلاكها في المباني وفي القطاعات الاقتصادية الأساسية. وتبحث هذه النشرة في كفاءة الطاقة في قطاع الكهرباء، وتحديدًا في معامل إنتاج الطاقة الكهربائية وعلى شبكات النقل والتوزيع، وأهمية رفع كفاءة الإنتاج والنقل والتوزيع، وبذلك تخفيض الفاقد أو ما اتفق على تسميته بالخسائر الفنية. وإن العمل في هذا الإطار هو من مسؤوليات الشركات والمؤسسات والإدارات التي تتولى تصميم هذه المرافق وإنشاءها وتجهيزها وتشغيلها وصيانتها، علماً أن أي جهد حقيقي في هذا الاتجاه سيكون ذا نتائج إيجابية واضحة نظراً إلى مركزية القرار ووجود مرجعيات محددة بمسؤوليات واضحة، في حين يشمل العمل على تحسين كفاءة استهلاك الطاقة لدى المستهلك النهائي ملايين المستهلكين من ذوي المستويات الثقافية والاقتصادية والاجتماعية المتباينة، وهو لذلك يتطلب تضافر الجهود والتنسيق بين جهات وشركاء متعددين.

وتستعرض هذه النشرة أسباب الخسائر الفنية التي يتوجب السعي إلى تخفيضها، واستخلاص الوسائل الممكنة لذلك داخل معامل الإنتاج ومحطات التوليد، خلال عملية إنتاج الطاقة الكهربائية، وعلى الشبكات الكهربائية، في المحولات وعلى الخطوط الكهربائية.

وتجدر الإشارة إلى أن تحسين كفاءة النقل والتوزيع، أي تخفيض الفاقد، سيحسن مستوى الخدمات الكهربائية إذ سيرافقه تحسين في مستويات التوتر/الجهد. فالمستهلك يعاني حالياً من انخفاض التوتر/الجهد على شبكات التوزيع الذي يرافق نسبة الخسارة الفنية المرتفعة.

رابعاً- تحسين كفاءة إنتاج الطاقة الكهربائية

(1) الاتحاد العربي للكهرباء، النشرة الإحصائية 2009، العدد الثامن عشر.

في إطار عملية تأمين الطاقة الكهربائية للمستهلكين، تعتبر كفاءة إنتاج الطاقة الكهربائية العامل الأهم كونها ترافق عملية الحصول على الطاقة الكهربائية من مصادر الطاقة الأولية. وتتراوح هذه الكفاءة بين حوالي 10 في المائة في النظم الفوطوطية (الكهروضوئية) وحوالي 90 في المائة في محطات التوليد ومعامل الإنتاج المائية.

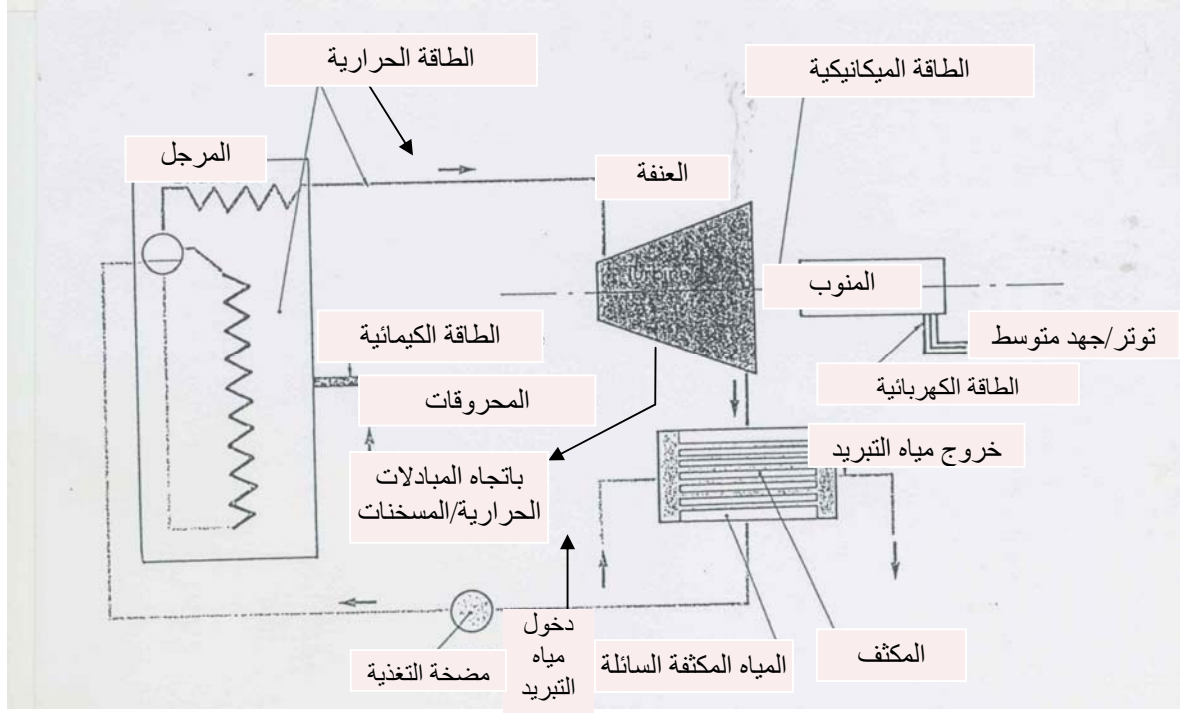
في عام 2009⁽²⁾، تراوحت كفاءة محطات الإنتاج الحرارية في بلدان الإسكوا بين 21 في المائة في السودان و40 في المائة في مصر. ويعود الارتفاع النسبي للكفاءة في مصر إلى وجود قدرات إفرادية عالية لا سيما لدى معظم الشركات الصانعة، وإلى استعمال مولدات الدورة المركبة حيث بلغت كفاءة التوليد بواسطة الدورة المركبة الستين في المائة، وإلى استعمال الغاز الطبيعي، حيث أن الكفاءة تتأثر بنوعية المحروقات المستعملة وهي على سبيل المثال وفق التالي لدى اعتماد نظام الدورة المركبة.

نوعية المحروقات	تغير الكفاءة (بالنسبة المئوية)	تغير القدرة المنتجة (بالنسبة المئوية)
الغاز الطبيعي	أساس مرجعي	أساس مرجعي
الديزل أويل	ناقص 2.1	ناقص 3
الفيول الثقيل	ناقص 7.6	ناقص 9.3

المصدر: GE Energy, GE Power Systems. Advanced Technology Combined Cycles.

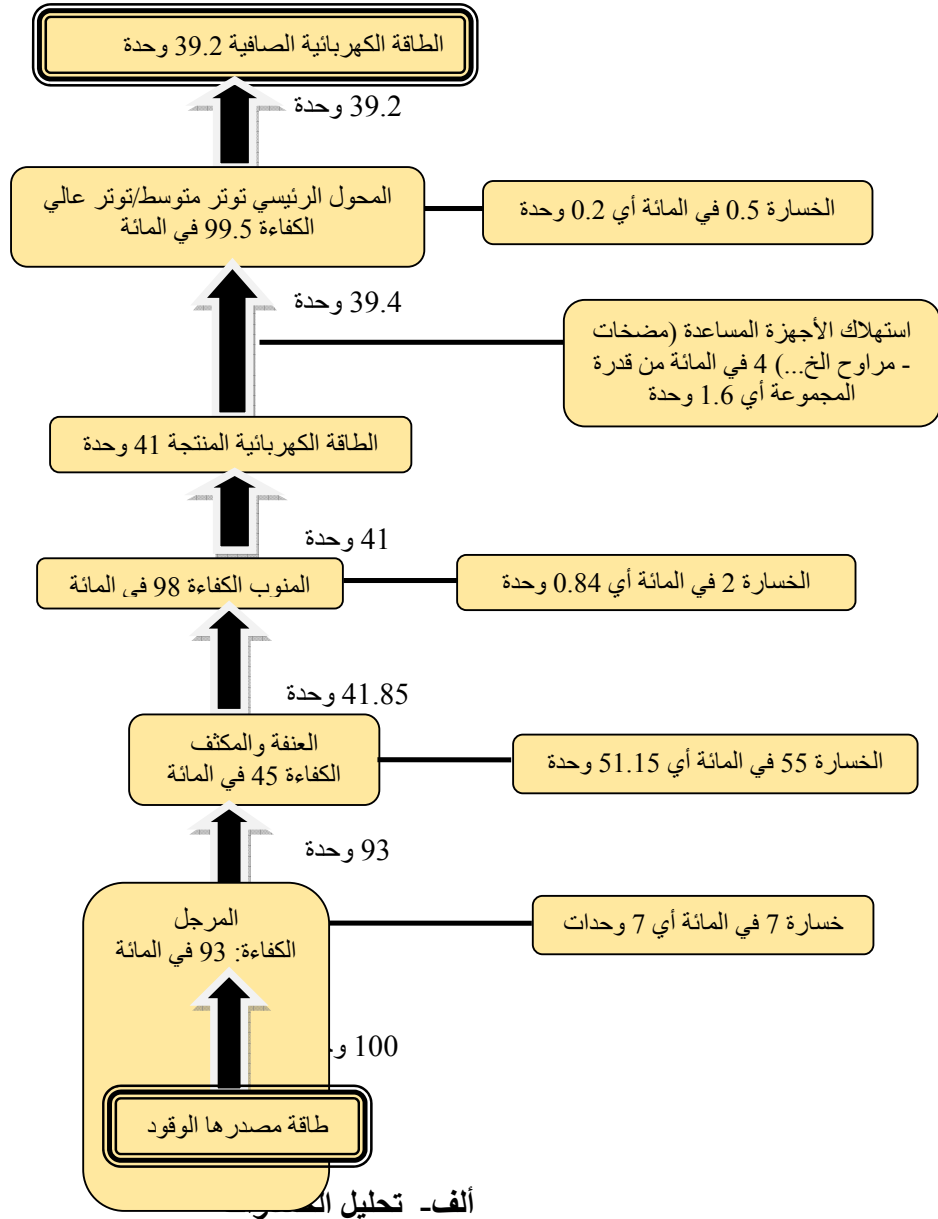
تؤدي الكفاءة المتدنية، في حالات استخدام الطاقة المتجددة، إلى ضرورة استخدام تجهيزات أضخم وأكثر اتساعاً لتأمين القدرة والطاقة المطلوبتين نفسيهما. أما في حالات استخدام الوقود الأحفوري على أنواعه في المحطات الحرارية التقليدية فهي تؤدي، إضافة إلى الحاجة إلى تجهيزات أضخم، إلى استهلاك كميات إضافية من المحروقات وإلى انبعاثات إضافية يمكن تحاشيها إذا تم تحسين الكفاءة. وإذا كان التدخل لتحسين الكفاءة محدوداً في حالات اعتماد الإنتاج الكهربائي بواسطة مجموعات الديزل والمجموعات الغازية، فإن التدخل في محطات الإنتاج البخاري ومحطات الدارة المختلطة أو الدورة المركبة يؤدي إلى تحسن واضح في الكفاءة بفضل اتساع تجهيزات المجموعات البخارية وتعددتها، كما يتضح من الشكل التالي:

(2) الاتحاد العربي للكهرباء، مرجع سبق ذكره.



تتوفر الطاقة الأولية في هذه الحالة في المحروقات، وبواسطة عملية الاحتراق، يمكن تحويل الطاقة الكيميائية الكامنة في المواد الكربونية والهيدروجينية إلى طاقة حرارية تستعمل في إنتاج بخار الماء الذي يمر عبر تجهيزات مصممة لتأمين عملية انتقال الطاقة الحرارية إلى بخار الماء. وثمّ ينتقل بخار الماء إلى العنفة البخارية (التوربينة) حيث يتم تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية تتحول بواسطة المنُوب إلى طاقة كهربائية متوفرة على مستوى التوتر/الجهد المتوسط وثمّ يُرفع التوتر/الجهد المتوسط إلى مستوى أعلى لنقله على الشبكة الكهربائية إلى مراكز الاستهلاك. أما بخار الماء فيتم تكثيفه، أي إعادة تحويله إلى سائل داخل المكثف، حيث يستعان بدارة خارجية من المياه للقيام بعملية التكثيف/التبريد المطلوبة.

يظهر الشكل المبين سابقاً أنّ تحويل الطاقة الأولية إلى طاقة كهربائية يمرّ في هذه الحالة بعدة مراحل ويعتمد عدة تجهيزات لا يمكنها أن تكون مثالية، فتحصل الخسارات التي يمكن العمل على تخفيض بعضها وفقاً للنظم العلمية المعروفة. والمخطط البياني التالي يعرض فكرة عن الخسارات الفنية التي ترافق هذه العملية، لمجموعة إنتاج ذات قدرة بحدود 175 ميغاواط، وتعتمد تحميص بخار الماء وإعادة تحميصه.



تتضمن الخسارات خلال عملية تحويل الطاقة الأولية إلى طاقة كهربائية ما يلي:

← الخسارات في المرحل:

- الخسارة في عملية الاحتراق الناجمة عن عدم الاحتراق الكامل؛
- الخسارة الناجمة عن ارتفاع حرارة غازات الاحتراق لدى خروجها من المدخنة، أي عدم الاستفادة من كامل الطاقة الحرارية المتوفرة؛
- الخسارة الناجمة عن تحويل الرطوبة في كميات الهواء المستعملة للاحتراق والماء المكون في عملية الاحتراق إلى بخار ماء يغادر المدخنة بحالته الغازية؛

- الخسارة الناجمة عن تسرب الماء وبخار الماء من الأنابيب والتجهيزات؛
- خسارة الطاقة الحرارية المنتقلة إلى خارج المرجل بواسطة الإشعاع والتوصيل والتحميل.

← الخسارات في العنفة والمكثف وملحقاتهما:

- الخسارة بسبب الفارق في ضغط بخار المياه على مدخل العنفة، كون القدرة الإسمية للعنفة محدّدة في تصميم يفرض تزويدها ببخار الماء على ضغط معين؛
- الخسارة بسبب تدني حرارة تحميص بخار المياه أو حرارة إعادة التحميص على مدخل العنفة إلى ما دون الحرارة المحدّدة في التصميم. فانخفاض حرارة التحميص مثلاً عشر درجات مئوية يؤدي إلى زيادة في حاجة العنفة من بخار الماء بنسبة ربع في المائة لتأمين إنتاج نفس الكمية من الطاقة، وإن انخفاض حرارة إعادة التحميص عشر درجات مئوية يؤدي إلى زيادة حاجة العنفة من بخار الماء بنسبة 0.35 في المائة لتأمين إنتاج الكمية نفسها من الطاقة؛
- الخسارة بسبب انخفاض درجة الفراغ في المكثف. فدرجة الفراغ الفضلى تتراوح بين 96 و97 في المائة، وانخفاضها يعني ارتفاع الضغط داخل المكثف، وبذلك انخفاض مردود العنفة وكفاءتها؛
- الخسارة بسبب الفوارق في مواصفات بخار الماء المسحوب من العنفة؛
- الخسارة داخل العنفة بسبب تهريب بخار الماء، والاحتكاك، والطاقة الكامنة في بخار الماء الخارج؛
- الخسارات باتجاه الخارج بسبب انتقال الحرارة وتهريب البخار والاحتكاك على مخدات العنفة؛
- الخسارة في المكثف بسبب ارتفاع حرارة مياه التبريد؛
- الخسارة في المكثف بسبب تسرب الهواء إلى داخله؛
- الخسارة في المكثف بسبب وجود ترسبات على مساحة أنابيب المكثف تحدّ من انتقال الحرارة؛
- سوء انتقال الحرارة عبر مساحات المبادلات الحرارية؛
- تسرب بخار الماء من المبادلات الحرارية؛
- خسارة طاقة حرارية من مبادلات الحرارة باتجاه المحيط الخارجي.

← الخسارات في المنوب:

- الخسارة في الدارة المغناطيسية، أي في الحديد، وهي نفسها تقريباً على كافة الحملات؛
- الخسارة في الدارة الكهربائية، أي في الموصلات النحاسية، وتتناسب قيمتها مع (الحمولة)²؛
- الخسارة بسبب الاحتكاك على مساند ومخدات المنوب؛

- الترويح في غاز الهيدروجين المستعمل لحاجات تبريد المنوب، في حال كان معتمداً، كون إنتاجه يكلف طاقة معينة؛
- الخسارات في جهاز التهيج.

← الخسارات في المحوّل:

- الخسارة في الدارة المغناطيسية، أي في الحديد، وهي نفسها تقريباً على كافة الحمولات؛
- الخسارة في الدارة الكهربائية، أي في الموصلات النحاسية، وتتناسب قيمتها مع (الحمولة)²؛
- هذه الخسارات في المحوّل تؤدي أيضاً إلى استهلاك الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيل المراوح والمضخات التي تؤمن تبريد المحوّل.

← استهلاك الأجهزة المساعدة الذي يتراوح بين 3 و 5 في المائة من قدرة مجموعة الإنتاج، ومن أبرز هذه الأجهزة:

- مراوح الهواء لتغذية المرجل وتأمين عملية الاحتراق؛
- مضخات التغذية التي تضغط المياه اللازمة لتغذية المرجل؛
- مضخات مياه التبريد اللازمة لتبريد المكثف؛
- مضخات رفع المياه المكثفة من المكثف؛
- ضواغط الهواء.

وكلها تعتمد على آلات دوارة ومحركات كهربائية ينبغي حسن اختيارها سواء لناعية كفاءتها أو لناعية عامل القدرة.

باء- إمكانيات تخفيض الخسارات

بعض الخسارات لا يمكن العمل على تخفيضها خلال عمليات إنتاج الطاقة الكهربائية، وهي بمعظمها تتعلق بظروف الطقس والبيئة وتصميم المعدات. لذلك من الضروري أخذ الظروف البيئية لموقع الإنتاج بعين الاعتبار والعناية في اختيار قدرات التجهيزات وقياساتها ومواصفاتها خلال مرحلتي التصميم والتصنيع بما يعزّز فرص تحسين الأداء خلال التشغيل. أما الخسارات التي يمكن للفريق الفني في محطات الإنتاج تخفيضها خلال التشغيل فهي عديدة وأهمها:

- ← على مستوى المرجل: - متابعة عملية الاحتراق وتنظيمها لتكون كاملة؛
- معالجة تسرّب المياه وبخار المياه ومنعه؛
- مراقبة حرارة خروج غازات الاحتراق من المدخنة وضبطها عند حدّها الأدنى (145 درجة مئوية تقريباً) الذي تفرضه ضرورة عدم تكوّن الحامض السائل لتفادي تآكل التجهيزات.

- ◀ على مستوى العنفة: - مراقبة وضبط تعيير قيم الحرارة والضغط بحيث تكاد توازي القيم المحددة أساساً في التصميم والمطلوبة لحسن الأداء؛
- مراقبة تسرب بخار الماء ومعالجته ومنعه.
- ◀ على مستوى المكثف: - مراقبة درجة الفراغ وضبطها على القيمة المطلوبة؛
- منع تسرب الهواء إلى داخل المكثف؛
- الإبقاء على مساحات انتقال الحرارة خالية من أي ترسبات.
- ◀ على مستوى المبادلات - مراقبة أي تسرب ومعالجته ومنعه؛
- الإبقاء على مساحات انتقال الحرارة خالية من أي ترسبات؛
- ضبط قيم الحرارة والضغط وفق التصميم الأساسي.
- ◀ على مستوى المنوب: منع تسرب الهيدروجين، في حال استخدامه للتبريد.

وينبغي عموماً التقيد قدر الإمكان بتعليمات الشركة المصممة/الصانعة والتشغيل في الظروف المحددة في التصميم.

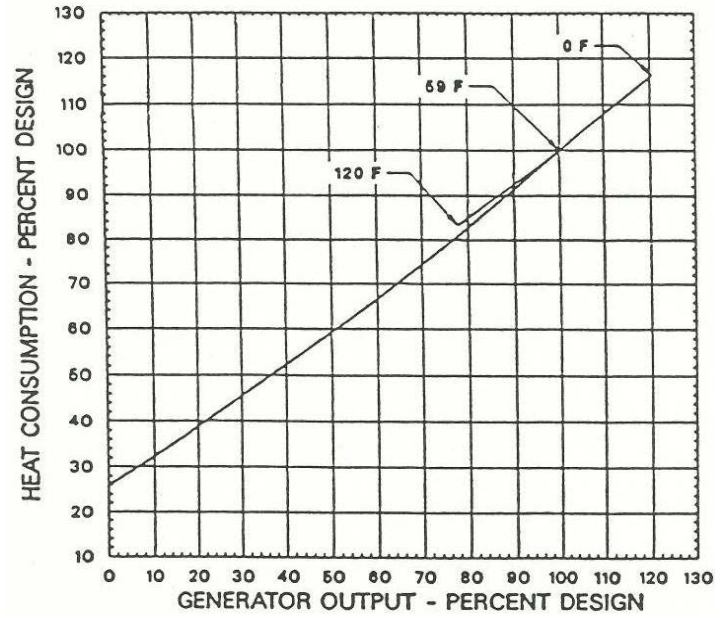
جيم- أهمية تجارب الأداء الدورية

من الضروري إجراء تجارب دورية لمقارنة القياسات الحالية (للحرارة والضغط والتدفق ونسبة الأكسجين في غازات المدخنة وغيرها) بالقياسات السابقة، وحساب كفاءة المرجل والعنفة والتجهيزات الرئيسية الأخرى، وحساب استهلاك المجموعة من المحروقات لإنتاج الكيلووات ساعة على عدة حمولات (40 في المائة – 60 في المائة – 80 في المائة و 100 في المائة) ومقارنتها بالكفاءة الإسمية والاستهلاك الملحوظ لها أساساً، وذلك للتأكد من حسن سير الأداء والتدخل لمعالجة أي عطل والقيام بأعمال تنظيف مساحات تبادل الحرارة وضبط سائر التجهيزات وتعييرها.

دال- تأثير الحمولة على الكفاءة

تتأثر الكفاءة ومن خلالها استهلاك المحروقات لإنتاج الكيلووات ساعة بالحمولة. ويتم الحصول على الكفاءة الفضلى عند التشغيل على الحمولة الإسمية، وتنخفض الكفاءة مع انخفاض الحمولة. ويبرز ذلك بشكل كبير مع العنفات الغازية وبشكل أقل مع المجموعات البخارية، وبشكل وسطي مع مجموعات الدورة المركبة كما هو مبين في الأشكال أدناه:

تغير الاستهلاك الحراري مع نسبة الحمولة



GENERAL ELECTRIC MODEL PG654 1 (B) GAS TURBINE ESTIMATED
PERFORMANCE - CONFIGURATION: NATURAL GAS

Compressor Inlet Conditions 59 F (15.0 C), 60 % Rel. Humidity
Atmospheric Pressure 14.7 psia (1.013 bar)
DESIGN OUTPUT KW 38340



Combined-Cycle Unit	Net Power, MW	Net Heat Rate (LHV) BTU/kWh	Kj/kWh	Thermal Efficiency (LHV), %
------------------------	------------------	--------------------------------	--------	-----------------------------------

STAG 107 H	400	5,687	6,000	60
------------	-----	-------	-------	----

.Ambient Air Conditions = 15° C (59°F) 1,0133 barA (14.7 psia), 60% RH

المصدر: GE Power Systems GER-3936.

لذا من الضروري تنسيق العمل بين مجموعات الإنتاج الموجودة على الشبكة الكهربائية بحيث تعمل بكفاءتها الفضلى. وهنا يبرز دور مركز التنسيق الوطني/مركز التحكم الوطني ودراسات حركة الطاقة ومهارات المهندسين والفنيين العاملين في المجال.

ولرفع قيمة الكفاءة الإجمالية، ينبغي عند الحاجة للمياه، الجمع بين إنتاج الطاقة الكهربائية وإنتاج المياه المحلاة وذلك عبر معالجة مياه البحر.

ويمكن الاستفادة من الكفاءة العالية التي تؤمنها وحدات الإنتاج بقدرات إفرادية كبيرة، لا سيما التي تعمل وفق نظام فوق الحرج، علماً أن مصر خطت لاستخدام هذا النظام.

خامساً- الخسارات الفنية على الشبكات

تتكون هذه الخسارات من:

1- الخسارة في المحولات

1-أ- الخسارة في الدارة المغناطيسية للمحولات، أي في الحديد، وهي لا تتأثر بالحمولات. فهي تحصل بالكامل لدى وضع المحولات تحت التوتر/الجهد، ولذلك تعرف بالخسارة خارج الحمولة.

1-ب- الخسارة في الدارة الكهربائية للمحولات، أي في الموصلات النحاسية (أو ربما الموصلات من الألومنيوم في بعض الحالات). وهي تتغير مع الحمولة/التيار وفق قاعدة التناسب الزوجي، أي أنها تتناسب مع (الحمولة)²، فإذا كانت الحمولة مرتين أصبحت الخسارة أربع مرات.

2- الخسارة في الموصلات الكهربائية

أي في الخطوط الهوائية وفي الكابلات الجوفية (الأرضية). وتتأثر هذه الخسارة أساساً بأطوال ومقاطع ونوعية المواد المكونة (كالحاس والألومنيوم)، لذلك تبرز جدوى اختيار الطرق الأقصر لمسارات الخطوط الهوائية والكابلات الجوفية، واختيار المقاطع وفق النظم الفنية الاقتصادية. وهي تتغير مع المحولات وفق القاعدة نفسها التي تحكم تغيرها في الدارة الكهربائية للمحولات.

ألف- جدوى اعتماد المحولات ذات الخسارات الأدنى

1- الخسارة في الحديد المغناطيسي

من الضروري العمل على تخفيض الخسارة في الدارة المغناطيسية المكونة من حديد خاص تتم معالجته بطرق تكنولوجية متطورة وقد يتضمن بعض الإضافات من مادة السيليوم وسواها، بهدف تخفيض هذه الخسارة. وينبغي التشديد على تشجيع الشركات الصانعة للمحولات على التركيز على اختيار نوعية الحديد وقياساته وطرق معالجته والتعامل معه لدى قصه لخفض الخسارة إلى قيمتها الدنيا الممكنة تكنولوجياً. وفي الحديد المغناطيسي من الدرجة العادية تتراوح الخسارة القياسية بين 1.06 و 1.65 وات في الكلف الواحد من الحديد إذا كان الحقل المغناطيسي يساوي 1.7 تسلا والذبذبة 50 هرتز، بينما تتراوح بين 0.81 و 1.35 وات في الكلف الواحد من الحديد في الحديد المغناطيسي من الدرجة العالية الجودة الذي يعمل في الظروف نفسها. وتجري حالياً أبحاث متطورة لتصنيع نوعية خاصة من الحديد تقل فيه الخسارة عن 0.3 وات في الكلف الواحد⁽³⁾. لذلك من المفيد لشركات ومؤسسات الكهرباء أن تدرج في دفاتر شروطها ما يدفع الشركات الصانعة إلى ذلك عبر تسعير كيلووات الخسارة في الحديد، وإضافته إلى سعر المحول قبل شرائه بحيث يتم اختيار المحول الذي يكون مجموع سعره وكلفة الطاقة المهدورة فيه خلال مدة وجوده على الشبكة هو الأدنى.

يبين الجدول أعلاه في المقطع ثانياً الكلفة الحالية لخسارة فنية بمعدّل "كيلووات واحد" مستمرة خلال مدة حياة التجهيزات، وهي متغيرة مع فائدة رأس المال ومع كلفة الكيلووات ساعة ومع مدة عمل التجهيزات. ويمكن اعتماد هذه الأرقام لتسعير الكيلووات المهدور في الدارة المغناطيسية للمحولات.

2- الخسارة في النحاس

تتغير الخسارة في النحاس مع (الحمولة)²، فتزداد مع مربع قيمة التيار. لذلك من الضروري حساب المقطع الكافي للموصلات بحيث تكون هذه الخسارة هي الأدنى، مع أخذ الكلفة الاقتصادية للطاقة المهدورة بعين الاعتبار. وكما هي الحال مع الحديد، يمكن تسعير كيلووات الخسارة في النحاس بعد أخذ منحنيات الاستهلاك التي يعمل معها المحول بعين الاعتبار كون تغيرات الخسارة في النحاس تتأثر بالحمولات.

إنّ مجموع كلفة النحاس (أو الألومنيوم) للموصلات وكلفة الحديد المغناطيسي في الكلفة الإجمالية للمحول تقل عن النصف. ومن السهل تبرير الزيادة في كلفة النحاس والحديد لتخفيض الخسارة في المحول.

3- استهلاك أجهزة المساعدة على التبريد

في حال ارتفاع الخسارة داخل المحولات لا بدّ من تبريد هذه المحولات وذلك عبر تشغيل مراوح هواء ومضخات زيت ومضخات مياه، وكلها تجهيزات مستهلكة للطاقة. ويشكل هذا الاستهلاك كمية لا يُستهان بها من إجمالي الخسائر الفنية. ومن الأفضل الاعتماد قدر الإمكان على التبريد الطبيعي بالهواء (وهذا ما يحصل غالباً طالما أنّ الحمولة هي دون ثلثي الحرارة الإسمية للمحول) مع أخذ الجوانب الاقتصادية وقياسات المحولات والمساحات المتوفرة لتركيبها بعين الاعتبار.

وتشدّد الجهات الصانعة والجهات المسؤولة عن الشبكات الكهربائية على أهمية الخسارة على المحولات، لا سيّما المحولات ذات القدرات الكبيرة. فالخسارة على محول شبكة التوزيع تمثل 2.5 في المائة للمحول الصغير (100 ك.ف. أ مثلاً)، بينما الخسارة على محول أكبر هي دون الواحد في المائة (1000 ك.ف. أ مثلاً). وتتنخفض الخسارة عادة عندما يتعلق الأمر بمحولات القدرة توتر (جهد) عالي/توتر عالي وتوتر عالي/توتر متوسط لتصل إلى ما دون 0.5 في المائة.

باء- جدوى اعتماد التوتر/الجهد الأعلى المبرر اقتصادياً

فيما يتعلق بقدرة محددة، كلما ارتفع التوتر/الجهد انخفض التيار وكذلك الخسارة، ولكن اعتماد مستويات التوتر الأعلى يؤدي إلى زيادة مستوى العزل. لذلك كان من الضروري اعتماد الخيار الفني الاقتصادي الأجدى الذي يأخذ بعين الاعتبار كلفة الكيلووات ساعة المهدور وكمية الهدر، وسعر المعدات وفق مستوى عزلها.

ومن الطبيعي أن تزيد الجدوى من اعتماد التوتر/الجهد الأعلى كلما كانت القدرة المطلوب نقلها أكبر، وكلما زادت المسافة المتوجب نقل هذه القدرة عليها. فالكابل ذو الكلم الواحد من الطول والعامل تحت توتر/جهد 400 فولت، يؤدي إلى نسبة خسارة معادلة لما يحصل مع كابل بطول ألف كلم على مستوى توتر 400 كيلو فولت. والكابل الذي يتم تشغيله تحت توتر/جهد 200 كيلو فولت مع خسارة 4 ميغاواط، يصبح بخسارة ميغاواط واحد فقط إذا تم تشغيله تحت توتر/جهد 400 كيلو فولت.

جيم- حساب المقطع الاقتصادي للموصلات (الخطوط العارية والكابلات المعزولة)

يتم التركيز عادةً على حساب المقطع اللازم اعتماده للخطوط والكابلات انطلاقاً من الشروط الفنية، لناحية عدم تجاوز انخفاض التوتر حداً معيناً وعدم تجاوز الحرارة الحد المقبول وتحمل تيار قصر الدارة وغيرها من الشروط. لكن من الناحية الاقتصادية، يبقى من الأجدى زيادة المقطع وتحمل الكلفة الإضافية الناتجة عن ذلك (ضمن سعر الكابلات وتكاليف تركيبها) إذا كان من شأنه تخفيض الخسارة الفنية وتحاشي هدر الطاقة. وإن اختيار المقطع الملائم اقتصادياً، إضافة إلى الملاءمة الفنية، يقضي بأن تكون القيمة الحالية لمجموع رأس المال اللازم للتجهيز ومصاريف الصيانة وكلفة الطاقة المهدورة مستقبلاً هي الأدنى. ويتأثر ذلك بالطبع بعدة عوامل تدخل في عملية الحساب وهي التالية:

- أسعار التجهيزات ومكوناتها، من نحاس أو ألومنيوم، وقياساتها، والعزل الكهربائي، وأسعار النقل والتركيب وما يتطلبه بما في ذلك أعمال الهندسة المدنية؛
 - مدة حياة التجهيزات وعدد ساعات عملها سنوياً وحمولتها على مدار السنة وفق منحنيات الاستهلاك، وكميات الطاقة المهدورة، وتوقعات التزايد المستقبلي؛
 - مصاريف الاستثمار والصيانة؛
 - فائدة رأس المال؛
 - كلفة إنتاج الكيلووات ساعة من الطاقة الكهربائية المهدورة بسبب الخسارة الفنية.
- يستحسن للطرف الذي يتولى تخطيط الشبكة الكهربائية وتصميمها أن يأخذ هذه العوامل في الاعتبار، وفقاً لظروف كل بلد وكل شبكة كهربائية، وأن يستند إليها في احتساب مقاطع الخطوط والكابلات فلا يكتفي باختيار المقاطع المقبولة فنياً من دون التطرق إلى الخيار الفني الاقتصادي الأجدى.

دال- جدوى تحسين عامل القدرة

إن انخفاض عامل القدرة الذي ينتج عن القدرة العكسية المطلوبة على الشبكة يؤدي إلى زيادة في قيمة التيار اللازم للمستهلكين على مستوى توتر/جهد معين. ويرافق هذه الزيادة ارتفاع في قيمة الخسارة الفنية التي تتناسب زوجياً مع التيار أي (التيار)². لذلك يكون من الأفضل تحاشي نقل القدرة العكسية على الشبكة وتأمين

إنتاجها حيث يتم استهلاكها، أي لدى المستهلك النهائي أو في أقرب نقطة ممكنة (في محطات التحويل القريبة مثلاً)، وذلك باعتماد المكثفات الكهربائية وحسن اختيارها وتركيبها حيث يلزم. ويمكن عند الضرورة اللجوء إلى تجهيز ما يسمى بالمعوضات المتزامنة على الشبكة، تحاشياً للاضطراب إلى إنتاج هذه القدرة العكسية المطلوبة من المستهلكين في معامل الإنتاج ونقلها على الشبكة (مع ما يرافق ذلك من خسائر فنية) إلى المستهلك النهائي. وتؤكد الدراسات الاقتصادية جدوى رفع عامل القدرة على مستوى المستهلك. وقد نجحت شركات ومؤسسات ومرافق الكهرباء في معظم الأحيان في حث كبار المستهلكين على تلافي استهلاك الطاقة العكسية بتركيب عدادات لتسجيل هذا الاستهلاك وتضمينه الفاتورة المطلوب دفعها من المستهلك، بحيث يتم بيع كمية الكيلوواط ساعة إلى المستهلك كما يحصل بالنسبة إلى كمية الكيلووات ساعة المستهلكة.

هاء- جدوى تخفيض نسبة التشوه

تؤدي بعض الأجهزة المستهلكة للطاقة الكهربائية، والمسماة غير خطية المتواجدة بصورة خاصة في مجال الإلكترونيات والأجهزة المنزلية والحواسيب، وغيرها من الأجهزة، إلى وجود متوافقات أي تيارات وتوترات مع دذبّة مضاعفة لـ 50 أو 60 هرتز. ويؤدي ذلك إلى زيادة إضافية في الخسارة الفنية التي تظهر بشكل طاقة حرارية قد تصل إلى حدود 10 في المائة في الموصلات والمحولات. وتحاشياً لهذا التشوه والتلوث، يتوجب تركيب مصافي كهربائية تمنع مرورها إلى الشبكة الكهربائية.

واو- جدوى الاستفادة من التقنيات الحديثة

إنّ تصميم الشبكات الكهربائية وتشغيلها وفقاً للتقنيات الحديثة المتوفرة، وما تتضمنه الشبكات الذكية وما تتيحه نظم المعلوماتية والاتصالات يفيد في تحسين أداء حركة الطاقة على شبكات النقل والتوزيع وتخفيض الخسارة الفنية.

جدول المصطلحات الفنية

إنكليزي	فرنسي	عربي
Synchronous compensators	Compensateurs synchrones	المعوضات المتزامنة
Radiation	Rayonnement	الأشعاع
Rotating machines	Machines tournantes	آلات دوارة
Superheated steam	Vapeur surchauffée	البخار المحمص
Resuperheated steam	Vapeur resurchauffée	البخار المعاد تحميمه
Convection	Convection	التحميل
Flow	Débit	تدفق
Voltage	Tension	التوتر/الجهد
Conduction	Conduction	التوصيل
Current	Courant	التيار
Excitation System	Système d'excitation	جهاز التهيج (الاستثارة)
Acid	Acide	الحامض
Amorphous steel	Acier amorphe	الحديد/الفولاذ غير المتبلور
Load	Charge	الحمولة
Bare conductors	Conducteurs nus	الخطوط العارية
None linear circuit	Circuit non linéaire	دائرة غير خطية
Electric Circuit	Circuit électrique	الدائرة/الدورة الكهربائية
Magnetic Circuit	Circuit magnétique	الدائرة/الدورة المغناطيسية
Combined cycle	Cycle combiné	الدورة المختلطة/الدورة المركبة
Air compressors	Compresseurs d'air	ضواغط الهواء
Power factor	Facteur de puissance	عامل القدرة
Steam bleedings	Soutirages de vapeur	مسحوبات البخار من العنفة
Turbine	Turbine	العنفة (التوربينة)
Super critical	Supercritique	فوق الحرج
Reactive Power	Puissance réactive	القدرة العكسية
Short circuit	Court circuit	قصر الدارة
Standard	Standard	قياسي
Insulated cables	Cables isolés	الكابلات المعزولة
Thermal efficiency	Rendement thermique	الكفاءة الحرارية
Heat exchangers	Échangeurs thermiques	المبادلات الحرارية
Harmonics	Harmoniques	متوافقات
Gas Turbines	Turbines à Gaz	المجموعات الغازية

إنكليزي	فرنسي	عربي
Power Plants	Centrales de Production	محطات التوليد/معامل الإنتاج
Boiler	Chaudière	المرجل
Electric filters	Filtres electriques	مصافي كهربائية (مرشحات)
Condenser	Condenseur	المكثف
Capacitors	Condensateurs	المكثفات الكهربائية
Load curve	courbe de Charge	منحنى الاستهلاك
Alternative Current Generator	Alternateur	المنوب
Conductors	Conducteurs	الموصلات
Harmonic ratio	Taux d'harmoniques	نسبة التشوه