

Article technique

Harmoniques de rainure dans les systèmes de génération électrique

Introduction

Les problèmes dérivés du manque de qualité électrique, et plus concrètement des harmoniques, sont habituellement bien connus des techniciens et des ingénieurs.

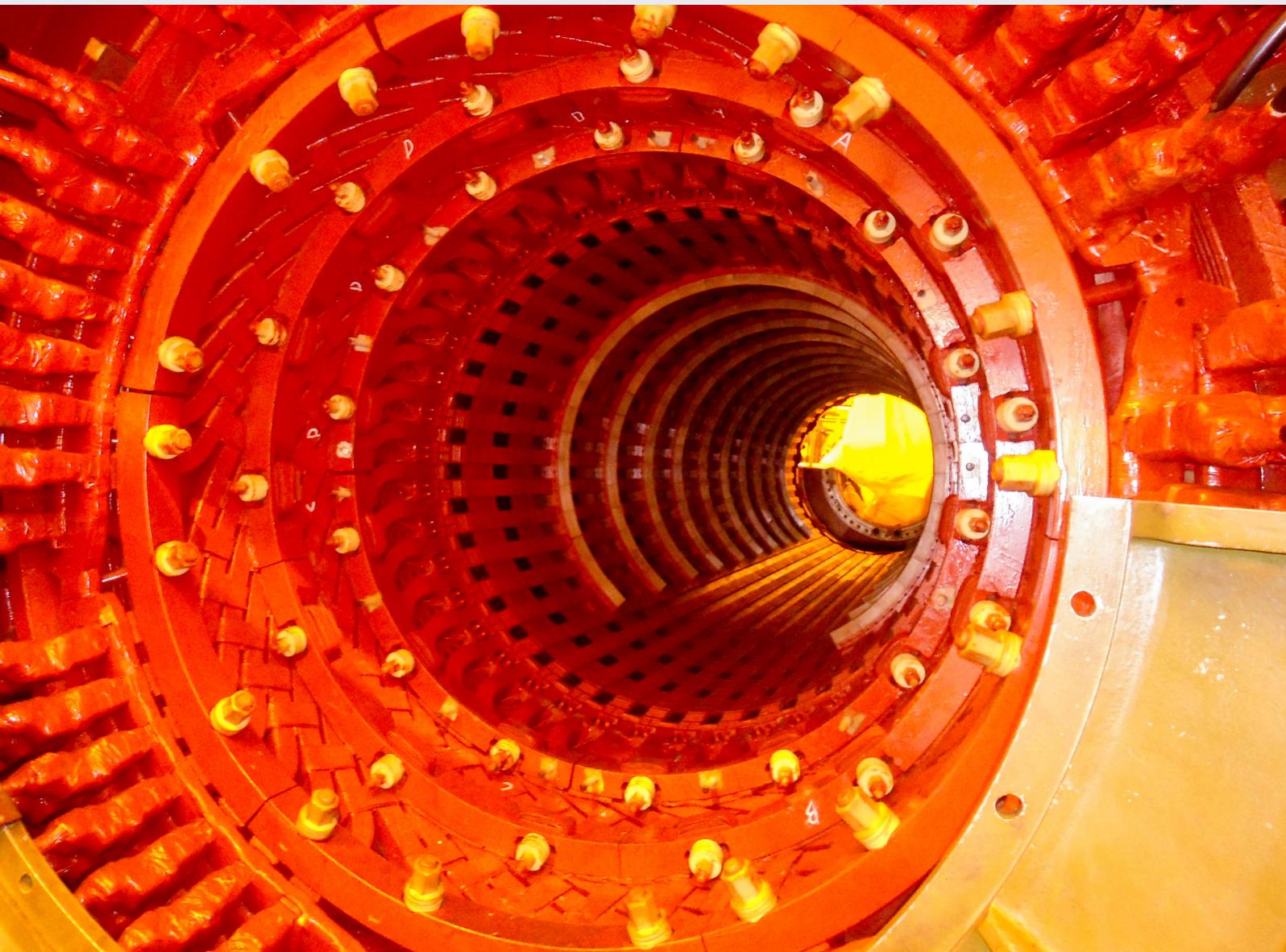
Les systèmes de filtrages s'occupent de réduire et d'atténuer le propre courant harmonique consommé par les récepteurs. Cependant, *si l'origine de la qualité électrique provenait du système de génération ?*

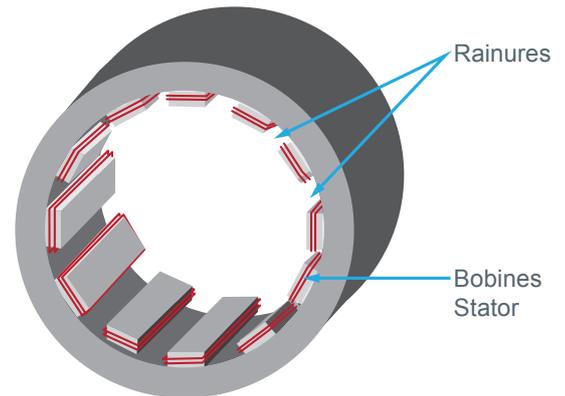
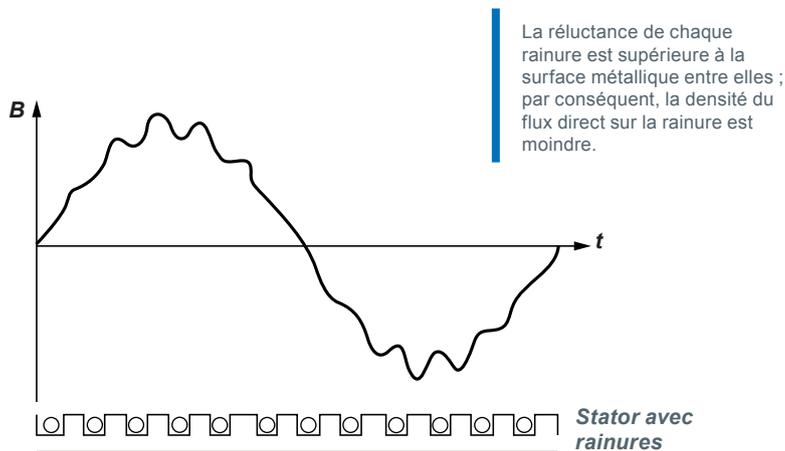
Dans le présent article, nous verrons ce que sont les harmoniques de rainure ainsi que l'étude d'un cas par résonance avec ce type d'harmoniques générés.

Harmoniques de rainure

La propre construction des enroulements des stators des machines électriques giratoires de courant alternatif peut produire l'apparition de composants harmoniques en tension dénommés « harmoniques de rainure ».

L'existence de rainures uniformes autour de la partie interne du stator cause des variations régulières de réluctance et de flux tout au long de la surface du stator, en causant la déformation de l'onde de tension.





Les harmoniques de rainure se produisent à des fréquences déterminées par l'espace qui se trouve entre les rainures adjacentes. L'ordre des composants est donné par l'expression :

$$v_{\text{rainure}} = \frac{2 \cdot M \cdot S}{P} \pm 1$$

où :

v_{rainure} = ordre de composant harmonique
 S = nombre de rainures du stator
 P = nombre de pôles de la machine
 M = nombre entier, normalement égal à 1, avec lequel se produisent les harmoniques de rainure de moindre fréquence.

Les principaux effets des harmoniques de rainure sont :

- Induction des harmoniques de tension au système électrique, en déformant l'onde en tension.
- Augmentation du taux de distorsion en tension THDU(%)
- Plus grande facilité de présentation de résonance avec des batteries de condensateurs
- Diminution du rendement des moteurs (couple inférieur, vibrations, etc.)
- Action inappropriée des dispositifs électroniques sensibles.

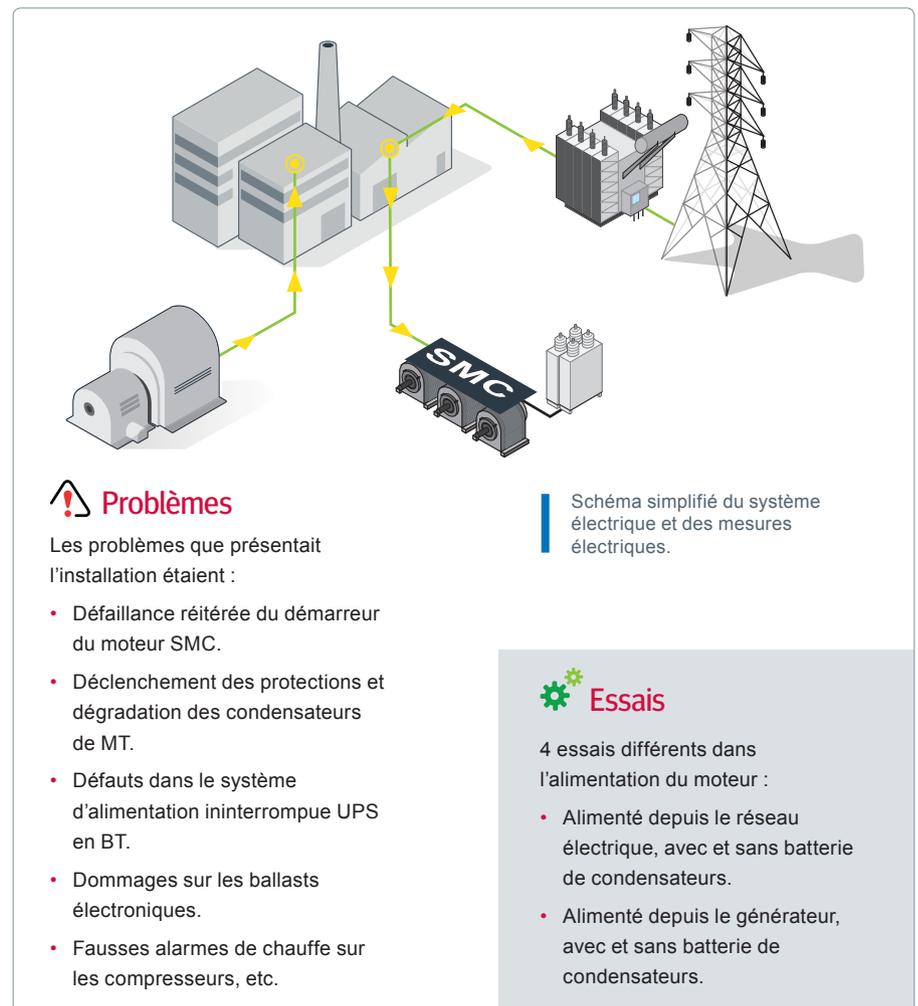
Résonance par harmoniques de rainure

Dans ce cas, nous nous trouvons devant une industrie qui disposait d'une double alimentation, formée par un générateur de 6,5 MW à 4,16 kV/60Hz,

et l'alimentation directe du réseau électrique par un réseau électrique primaire de 69 kV à travers un transformateur de 9 MVA et secondaire de 4,16 kV/60 Hz. L'installation disposait d'un système de contrôle de moteurs (SMC) qui était compensé par un condensateur de 50 kvar à 4,16 kV.

Éléments d'un Moteur à induction.

L'existence de rainures uniformes autour de la partie interne du stator cause des variations régulières de réluctance et de flux.



Le **Tableau 1** montre, à mode de résumé, les principaux paramètres électriques mesurés et nous voyons que la variation des composants

harmoniques sans (Fig. 1 et 2) ou avec (Fig.3 et 4) batterie de condensateurs est pratiquement la même et, à tout moment, avec des niveaux corrects.

Tableau 1

Comparatif des paramètres électriques à pleine charge sur moteur de 300 C.V., alimenté depuis le réseau électrique, avec et sans batterie de condensateurs de 50 kVAr, 4, 16 kV

~	Condensateur 50 kVAr	Tension (V)	Demande mesure			% THD		% harmoniques en tension et courant, phase 3									
			kW	kVAr	F.P.	V	I	3°		5°		7°		35°		37°	
								V	I	V	I	V	I	V	I	V	I
CFE	Hors fonctionnement	4155	212	125	0.86	1.01	1.92	0.49	0.66	0.38	1.52	0.26	0.81	0.04	0.03	0.16	0.04
	En fonctionnement	4155	212	99	0.90	0.77	1.92	0.14	0.52	0.34	1.54	0.11	0.88	0.04	0.06	0.19	0.09

Fig.1

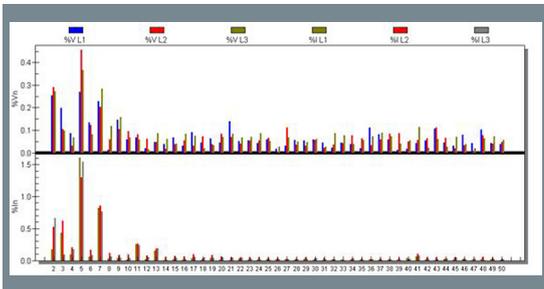
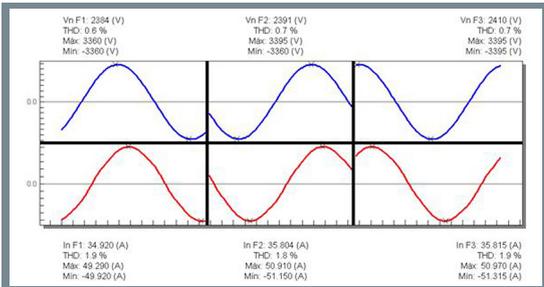


Fig.2



Personnalisées et effectives.
Les batteries de condensateurs (CONDENSATEURS) de CIRCU-TOR, sont spécialement fabriquées selon le type de solutions dont on a besoin.

Fig.3

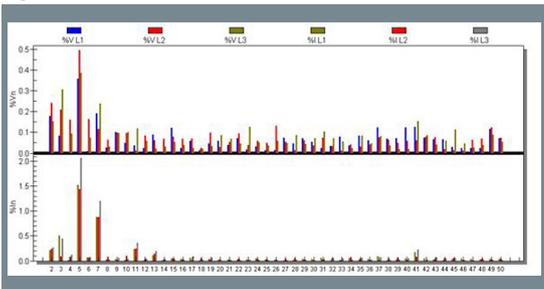
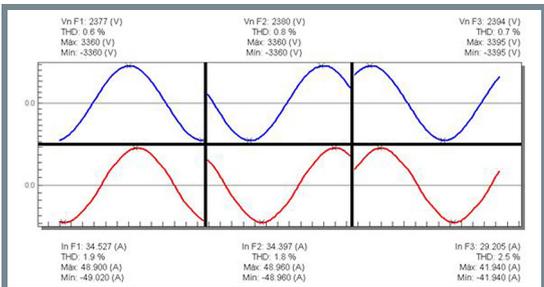


Fig.4



Le **Tableau 2** montre le comportement du système alimenté au générateur de 6,5 MW. Nous voyons qu'une augmentation considérable dans la distorsion

en tension apparaît lorsque nous connectons le condensateur de 50 kvar, principalement l'augmentation se produit sur l'harmonique d'ordre 37.

Tableau 2

Comparatif des paramètres électriques à pleine charge sur le moteur de 300 C.V., alimenté par le générateur 6,5 MW, avec et sans banc de condensateurs de 50 kVAr, 4, 16 V

~	Condensateur 50 kVAr	Tension (V)	Demande mesure			% THD		% harmoniques en tension et courant, phase 3									
			kW	kVAr	F.P.	V	I	3°		5°		7°		35°		37°	
								V	I	V	I	V	I	V	I	V	I
G 6500 kW	Hors fonctionnement	4155	208	123	0.86	2.96	2.53	0.42	0.11	1.89	2.05	0.80	1.42	0.30	0.02	1.26	0.04
	En fonctionnement	4155	209	97	0.90	4.60	7.20	0.46	0.10	1.74	1.08	0.91	1.18	0.49	1.38	3.96	6.49

Fig.5

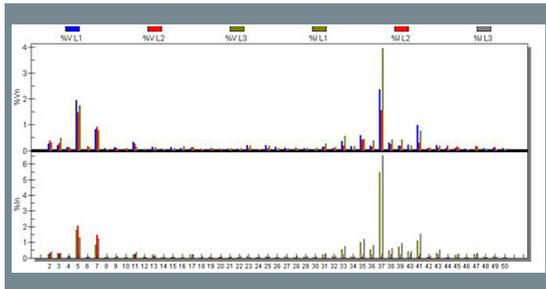


Fig.6

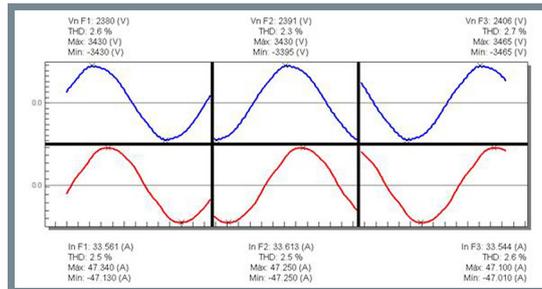


Fig.7

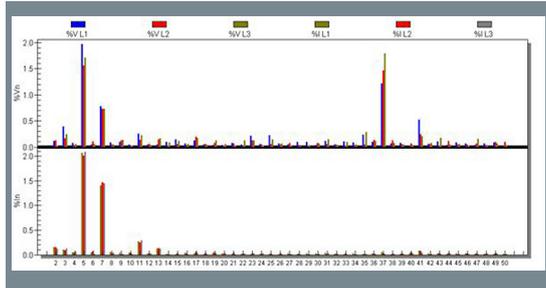
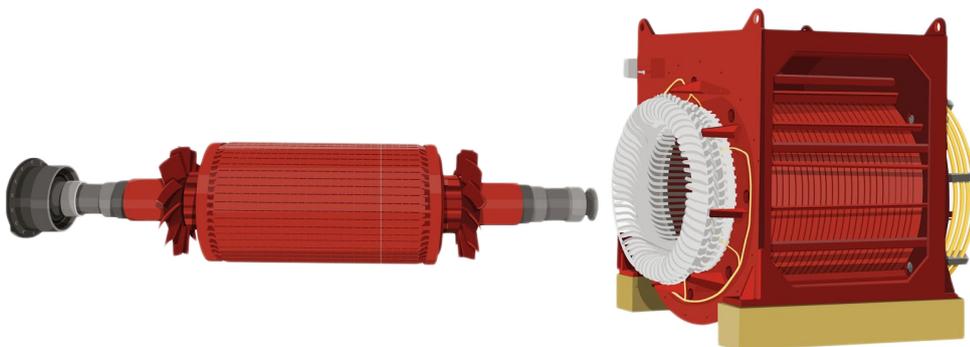
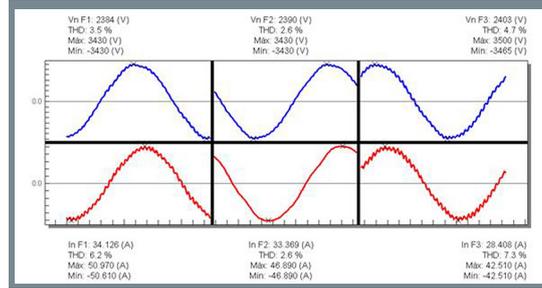


Fig.8



Détail du rotor et du stator d'un générateur.

Normalement, tant sur le stator que sur le rotor, il existe des enroulements constitués par des conducteurs en cuivre par lesquels circulent les courants fournis ou cédés à un circuit extérieur qui constitue le système électrique.

Source : www.endesaeduca.com
Ressources / concepts essentiels / les générateurs

Comme on peut l'apprécier sur les (Figures 6 et 7 sans condensateur) et (5 et 8 avec condensateur), nous voyons que la distorsion harmonique en opérant avec le générateur est supérieure, en comparaison avec la distorsion qui se présente en opérant directement avec le réseau électrique ; nous voyons que les composants d'ordre 5° et 37° se présentent avec des amplitudes apparemment négligeables (1.89% et 1.26% respectivement).

Avec la batterie de condensateurs en fonctionnement, la résonance se présente sur l'harmonique 37° en amenant son amplitude à des valeurs élevées (>3%). Au cours de l'essai, des défaillances sont apparues, entre autres, la fausse alarme sur la commande de la chaudière par le fait de la distorsion du voltage se présente sur tous les circuits alimentés par le générateur.

La cause de cette résonance est due à la combinaison de paramètres de court-circuit sur le bus de 4,16 kV, 71230 kVAcc, et la taille du condensateur, 50 kVAR. En effet, la fréquence de syntonie est donnée par :

$$n = \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q}}$$

où :

n = ordre harmonique de résonance
 S_{cc} = Puissance de court-circuit disponible sur le point de connexion du banc des condensateurs
 Q = Puissance effective du banc des condensateurs

par conséquent :

$$n = \sqrt{\frac{71230}{50}} = 37,74$$



Fig.9

$$v_{rainure} = \frac{2 \cdot M \cdot S}{P} \pm 1 = \frac{2 \cdot 1 \cdot 72}{4} \pm 1 = 35 \text{ et } 37$$

Nous avons également vu que le générateur était à 4 pôles et qu'il avait 72 rainures sur son stator, raison pour laquelle, en appliquant la formule initiale, nous trouvons que ses harmoniques de rainure de l'ordre le plus bas sont de 35 et 37, coïncidant avec la résonance présentée dans l'installation et qui comportait les différents problèmes sous-jacents. (Fig.9)

Un aspect intéressant de cet essai a été le fait que, au fur et à mesure que la charge descendait jusqu'à 0, la distorsion de l'onde de tension s'accroissait, comme le montre la figure avec le profil du taux de distorsion en tension THD(U)%.

Conclusions

Dans ce cas, la mesure immédiate a été de laisser le condensateur de 50 kVAR en permanence hors fonctionnement, en envisageant le besoin d'utiliser une batterie de condensateurs avec un filtre de rejet désaccordé à 7%. Néanmoins, la présence du 37° harmonique de tension, pour être un problème inhérent à la conception du générateur, n'a pas pu être éliminée et, par conséquent, dans des périodes de basse charge, la même fausse alarme s'est présentée sur la commande de la chaudière. En conséquence, il a été suggéré d'alimenter à travers un système UPS type online la commande de la chaudière pour, de cette façon, éliminer ce composant de la tension d'alimentation.

Il devient de plus en plus indispensable d'employer des équipements de compensation avec des filtres de rejet ou désaccordés en raison de l'augmentation des applications avec des dispositifs électroniques et d'électronique de puissance, dont nous ne pouvons pas actuellement négliger les effets.

La mise en œuvre d'un système de surveillance nous facilite le diagnostic, le contrôle et l'utilisation efficace de l'énergie électrique, ainsi que pouvoir détecter toute anomalie que présenterait notre installation. ▀



Bibliographie :

- "Máquinas eléctricas"
Stephen Chapman
Éd. McGrawHill 2ème édition.
- "Eficiencia en el uso de la energía eléctrica"
Josep Balcells,
Francesc Fornieles,
Vicente Barra.
Éd. Marcombo