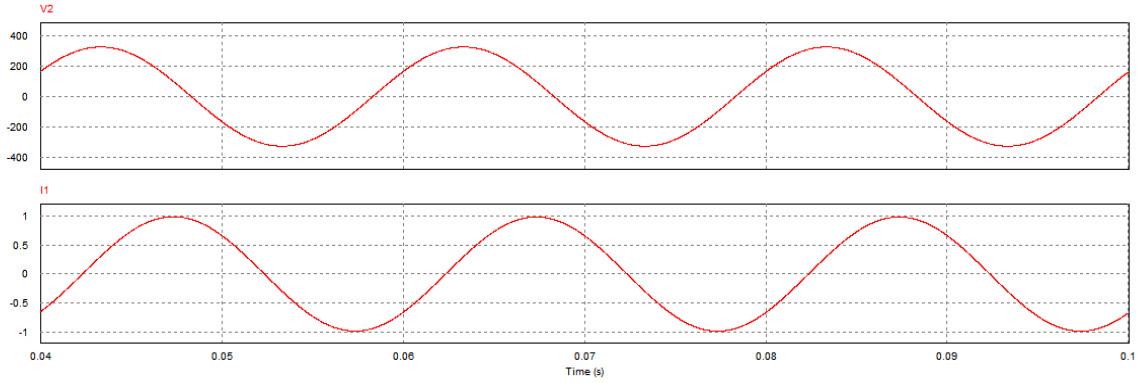


RAPPELS : NOTATIONS EMPLOYEES en régime sinusoïdal

- $v(t) = V \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t + \theta_v)$ est une grandeur instantanée de valeur efficace V et de phase θ_v à $t = 0$,



- \vec{V} est le vecteur de Fresnel associé à $v(t)$ dans un repère tournant à pulsation ω ,
- $\underline{V} = V \cdot e^{j\theta_v}$ est la grandeur complexe associée à $v(t)$ représentée dans le plan complexe par sa valeur efficace V et θ_v sa phase à $t = 0$.

<p>ψ phase à l'origine d'une grandeur $b(t)$ par rapport à une grandeur $a(t)$ est défini par l'angle orienté $\psi = (\vec{u}, \vec{v}) = \beta - \alpha$</p>	<p>En électricité, le déphasage φ est l'angle orienté $\varphi = (\vec{I}, \vec{V})$ ou l'argument $\varphi = \text{Arg}\left(\frac{\underline{V}}{\underline{I}}\right)$</p>

COMPENSATEUR SYNCHRONES

Le **compensateur synchrone** est une machine synchrone utilisée dans les réseaux de distribution électrique industriels ou dans les réseaux de distribution électrique d'un pays.

On fait tourner à vide une machine synchrone (MS) reliée au réseau, et non entraînée mécaniquement, elle est donc en mode moteur.

On peut alors en jouant sur son excitation fournir de la puissance réactive au réseau.

Cette machine doit donc comporter un rotor (roue polaire) bobiné.

La MS a alors un comportement capacitif, et peut remplacer des bancs de condensateurs de compensation.

La régulation d'excitation peut se faire sur une consigne de tension de l'installation ou de facteur de puissance.



Machine synchrone utilisée en compensateur d'énergie réactive

A) Modèle électrique de l'installation

1) Définir le facteur de puissance F_p d'une installation électrique et développer l'expression si le réseau est équilibré en utilisant les tensions simples.

Dans l'entreprise en question, l'installation électrique d'un atelier consomme une puissance active de $P = 50$ kW avec une tension entre phases de $U = 400$ V et un courant en ligne de $I = 95$ A.

2) Déterminer le facteur de puissance de l'installation F_p ainsi que la puissance réactive Q absorbée. Donner la valeur du courant I_n dans le neutre.

Le modèle de l'installation sera représenté par 3 impédances $\underline{Z} = R + jX$ couplée en étoile.

3) Déterminer les expressions et valeurs de Z , R et X pour chacune des branches.

L'atelier est situé à 850 m du local technique contenant le transformateur d'alimentation générale. La liaison s'effectue en 230 V/400 V triphasé, par l'intermédiaire de 3 câbles de 35 mm² de section pour les phases et de 10 mm² de section pour le neutre. Les câbles sont des conducteurs cylindriques en aluminium, de résistivité en conditions normales de fonctionnement : $\rho = 2,7 \times 10^{-8} \Omega.m$.

4) Calculer la résistance totale de chacun des câbles.

Par la suite on prendra les valeurs suivantes, R phase : 1,0 Ω , R neutre : 2,5 Ω .

5) Déterminer les pertes totales pour l'ensemble des câbles qui alimentent l'atelier.

6) Représenter alors le modèle électrique total de l'installation à partir du transformateur triphasé.

B) Amélioration du facteur de puissance :

Pour améliorer le facteur de puissance global, on décide d'utiliser un moteur synchrone placé dans le bâtiment. Ce moteur fonctionnera en compensateur synchrone automatique, de manière à ce qu'à chaque instant, le facteur de puissance du bâtiment soit égal à 1.

Les caractéristiques électriques du moteur sont les suivantes : 4 pôles, couplage étoile pour un fonctionnement sur le réseau triphasé 230 V/400 V, $P_{nominale} = 50$ kW.

Pour l'étude il sera modélisé suivant la méthode de la réactance synchrone (modèle linéaire dit de "Behn-Eschenburg"), conformément à la figure 4 correspondant à une phase de la machine dont les enroulements sont supposés couplés en étoile ; dans cette hypothèse on peut écrire $E_v = \beta I_e$ avec $\beta = 0,83 \times 10^3 \text{ V.A}^{-1}$.

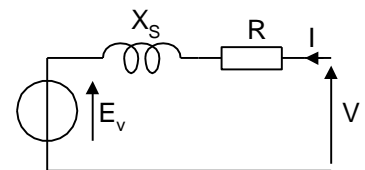


figure 4

Paramètres du modèle

Pour déterminer les paramètres du modèle de la machine synchrone, on a réalisé les essais suivants en fonctionnement alternateur.

Caractéristique à vide

On a relevé la valeur efficace de la tension à vide E_v entre phase et neutre en fonction du courant dans le circuit d'excitation I_e .

I_e (A)	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
E_v (V)	0	41,5	83	124	166	207

7) A partir de ce tableau de mesures justifier la valeur du coefficient $\beta = 0,83 \times 10^3 \text{ V.A}^{-1}$.

Essais en court-circuit

On effectue un court-circuit symétrique sur les trois phases, on obtient les deux essais suivants :

$$I_e = 0 \text{ A}, I_{cc} = 0 \text{ A}, \quad I_e = 0,38 \text{ A}, I_{cc} = 70 \text{ A}.$$

Par ailleurs, une mesure de la résistance entre phase et neutre a donné $R = 0,1 \Omega$.

8) A partir de ces résultats, justifier la valeur de $X_s = 4,5 \Omega$.

Pour la suite, on négligera la résistance R devant la réactance synchrone X_s , ainsi que les pertes mécaniques et les pertes dans le fer.

Compensateur synchrone

La machine fonctionne en compensateur synchrone : elle ne fournit aucune puissance mécanique mais elle fonctionne à vide en absorbant un courant en avance de $\pi/2$ rad sur la tension simple correspondante. Elle fournit donc une puissance réactive qui compense celle consommée par les lampes.

- 9) Indiquer à partir de l'étude de la partie A), la puissance réactive totale que doit fournir la machine synchrone et son signe.
- 10) En déduire la valeur efficace de l'intensité du courant qui doit circuler dans la machine pour fournir cette même puissance réactive.
- 11) Donner la relation entre \underline{V} , \underline{E}_v et \underline{I} , puis représenter ces grandeurs sur un diagramme de Fresnel. Déterminer la valeur du courant d'excitation correspondant à ce fonctionnement.
- 12) La tension composée d'alimentation à 400 V est maintenue. La machine fonctionnant en compensateur synchrone, en parallèle avec la charge (l'ensemble du bâtiment) elle fournit, comme précédemment, une puissance réactive égale à celle qui est consommée par les lampes. Déterminer la nouvelle valeur du courant dans les câbles de phase.
- 13) Déterminer la nouvelle valeur des pertes en ligne.
- 14) Proposer une ou plusieurs solutions pour diminuer encore ces pertes en ligne.

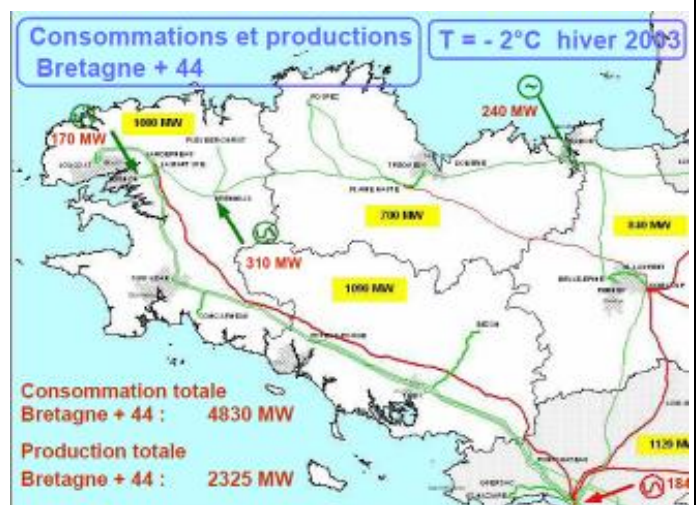
ACTUALITE en BRETAGNE : mise en place de compensateurs statique d'énergie réactive de forte puissance en 2007.

Afin d'assurer le niveau de tension sur le réseau électrique breton, RTE (Réseau de Transport d'Electricité) a installé deux compensateurs statiques de puissance réactive raccordés au réseau 225 kV (production de 300 MVAR) près de Lorient et Saint-Brieuc. Une première technologique en France pour des installations de ce type et de cette puissance. Elles permettent de repousser le seuil de défaut du réseau de 500 MW.

Jusqu'à l'extrême pointe du Finistère, la Bretagne doit être certaine de pouvoir alimenter ses habitants en électricité. Deux lignes de 400 kV desservent ainsi la région bretonne mais elles sont confrontées à un souci majeur de déséquilibre entre production et consommation.

En moyenne, la Bretagne ne produit que 5 % de l'énergie qu'elle consomme !

Typiquement, un jour d'hiver normal peut nécessiter le recours à environ 3 500 MW mais les principales sources de production bretonnes cumulent tout juste 680 MW avec la centrale marémotrice de la Rance (Ille-et-Vilaine) et les turbines à combustion de Brennilis et Dirinon (Finistère). Un parc éolien de 125 MW vient s'y ajouter – il sera porté à 1000 MW d'ici 2010 normalement – mais n'est pas suffisant pour compenser le manque de production...





Compensateur statique de Poteau Rouge à Caudan

Une conception respectueuse de l'environnement local

Le choix des sites d'implantation des CSPR de Plaine Haute et Poteau Rouge a été réalisé fin 2003 à l'issue d'études menées par RTE. Tous deux occupent les surfaces respectives de 1 600 et 2 000 m².

Les équipements ont été conçus pour s'intégrer au mieux dans l'environnement, avec notamment des mesures prises contre les nuisances sonores, et des bâtiments revêtus de bois, particulièrement harmonieux, novateurs sur de tels équipements industriels.

Compensateur

Les chiffres clés du CSPR de Poteau Rouge

	Poteau Rouge
Tension raccordement (kV)	225
Tension du CSPR (kV)	17,2
Puissance réactive produite (Mvar)	200
Puissance réactive absorbée (Mvar)	100
Investissement (millions d'euros)	9
Surface occupée (m ²)	2000
Maître d'ouvrage	RTE
Fournisseur CSPR	ABB



Les chiffres clés du CSPR de Plaine Haute

	Plaine Haute
Tension de raccordement (kV)	225
Tension du CSPR (kV)	16
Puissance réactive produite (Mvar)	100
Puissance réactive absorbée (Mvar)	50
Investissement (millions d'euros)	7
Surface occupée (m ²)	1600
Maître d'ouvrage	RTE
Fournisseur CSPR	ABB