

Chapitre

9

Régulation de tension et de vitesse

Dans ce chapitre

1. Introduction
2. Régulation de vitesse
3. Excitation des alternateurs
4. Régulation de tension
5. Réglage de la production

Travaux Dirigés

Exercices

1. Introduction

La tension constitue, avec la fréquence, un des principaux paramètres de la sûreté du système de puissance. Ce paramètre est commun aux différents utilisateurs : clients, distributeurs, producteurs, raccordés sur un même nœud électrique.

Par nature, la tension fluctue. Elle est d'abord affectée par des variations lentes et générales liées aux cycles d'évolution saisonnière, hebdomadaire et quotidienne de la consommation. Elle subit aussi des variations rapides liées à de multiples aléas : fluctuations aléatoires des charges, changements de topologie du réseau, déclenchements d'ouvrages de transport ou de groupes de production.

Il est donc nécessaire, pour que la tension soit maintenue en tout point du réseau dans la plage souhaitée, de disposer de moyens de réglage.

Le réglage de la fréquence (liée à la vitesse de rotation des alternateurs) est un problème intéressant l'ensemble d'un système électrique interconnecté. Tout déséquilibre entre la production et la consommation entraîne une variation de vitesse (déséquilibre entre le couple moteur fourni par la turbine et le couple résistant correspondant à la charge du réseau) et donc de fréquence. La fréquence doit être tenue dans une plage de ± 1 Hz (risque pour les pompes, pertes de transformateurs, synchronisation horloges, stabilité des machines, ...).

Le maintien d'une fréquence proche de sa valeur nominale est nécessaire au bon fonctionnement des matériels électriques optimisés pour cette valeur. De trop grandes excursions de fréquence sont en outre inadmissibles pour certains matériels, dont les groupes de production, qui se retirent du réseau pour des écarts de fréquence de 2 à 4 Hz.

Les petits écarts de la fréquence autour de sa valeur de référence, représentatifs du fonctionnement normal d'un système, sont compensés par l'inertie des masses tournantes des machines couplées au réseau.

Ces aspects font l'objet de travaux importants de la part des exploitants, car les consommateurs tant individuels qu'industriels deviennent exigeants quant à la qualité de la fourniture de l'énergie électrique.

2. Régulation de vitesse

Le turboalternateur est muni d'un régulateur (Fig. 9.1) pour rendre la vitesse du groupe, dont la fréquence du courant, sinon rigoureusement constante, du moins peu variable avec la charge.

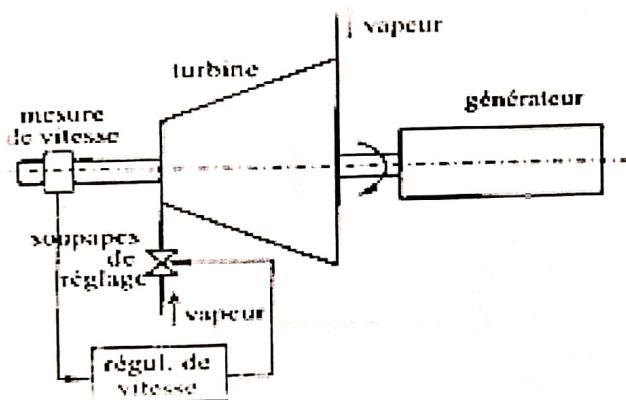


Fig. 9.1 Schéma de principe de la régulation de vitesse

Un modèle simple, dit à boules, est représenté schématiquement par la figure 9.2. L'axe du régulateur est entraîné par l'arbre du groupe. Lorsque la vitesse croît, les boules s'écartent par l'action d'une force centrifuge et le manchon M monte. La manœuvre de l'admission se fait par un servomécanisme, par exemple en utilisant de l'huile sous pression (figure 9.3).

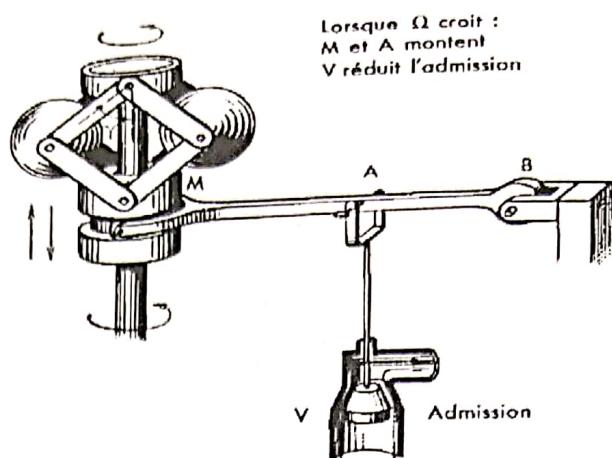


Fig. 9.2 Modèle du régulateur à boules

Le tiroir T (figure 9.3) commandé par le levier MAB envoie l'huile sous pression dans un vérin, dont la tige commande l'admission, d'un côté ou de l'autre du piston selon que la vitesse est supérieure ou inférieure à la vitesse désirée (vitesse de consigne). Lorsque celle-ci est atteinte, le tiroir coupe l'arrivée au vérin qui s'immobilise.

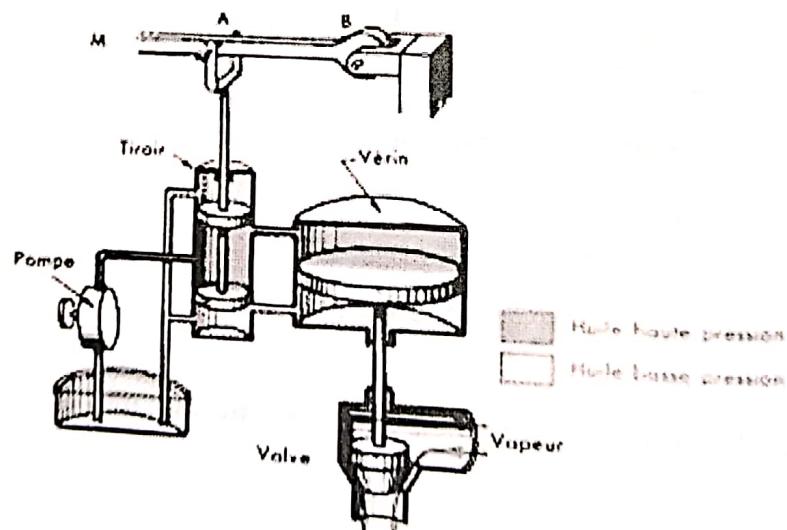


Fig. 9.3 Modèle du régulateur à boules avec servomoteur

Un tel système est sujet au *pompage*. Imaginons qu'après un temps de fonctionnement à la vitesse de consigne, pendant lequel l'admission donnait un couple moteur exactement égal au couple résistant, il se produise une brusque augmentation ΔC de ce couple résistant (figure 9.4). Il s'amorce alors une période de ralentissement (couple résistant > couple moteur) qui

ne cesse qu'à l'instant t_1 où le vérin a suffisamment ouvert l'admission pour que le couple moteur soit de nouveau égal au couple résistant $C + \Delta C$.

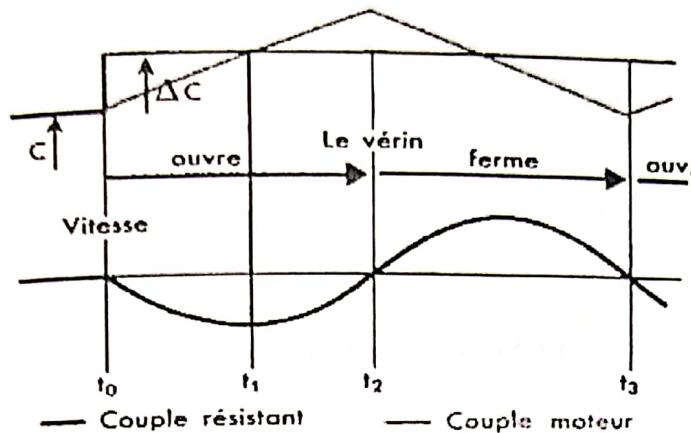


Fig. 9.4 Phénomène de pompage

Mais le vérin continue à ouvrir l'admission car la vitesse est alors trop faible et cela tant que cette vitesse, devenue croissante à partir de t_1 , n'a pas atteint la valeur de consigne (instant t_2). L'admission est alors trop forte, d'où une nouvelle phase du phénomène entre t_2 et t_3 , au cours de laquelle l'admission diminue et la vitesse passe par un maximum au dessus de la vitesse de consigne. En t_3 on est revenu exactement à la situation en t_0 , d'où une nouvelle oscillation... C'est un pompage qui ne s'amortit pas lorsque le couple résistant est indépendant de la vitesse.

2.1 Amortissement des oscillations

Pour amortir rapidement ces oscillations, on asservit le régulateur (figure 9.5). La tige du vérin déplace l'articulation B du levier de façon que le tiroir ferme l'arrivée d'huile du vérin avant que la vitesse ne soit revenue à la valeur de consigne (figure 9.5).

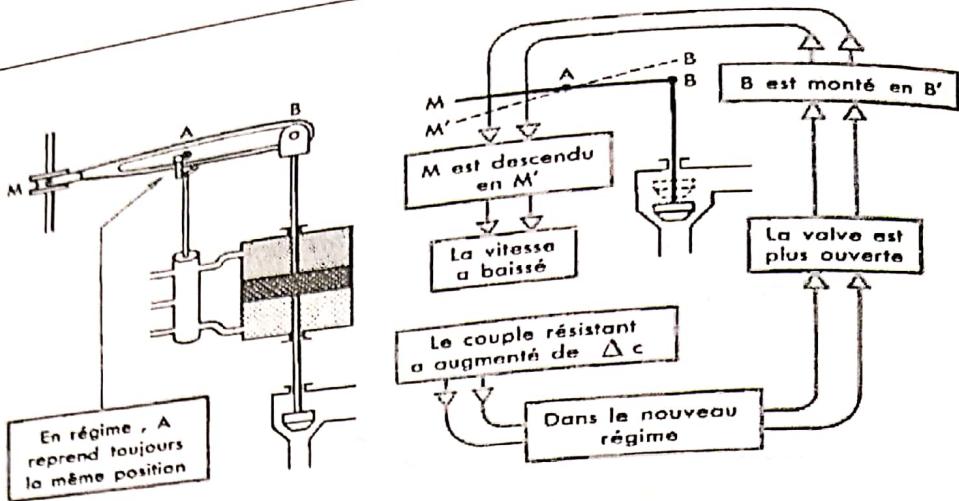


Fig. 9.5 Modèle du régulateur à boules

Comme le montre la figure 9.6, les dépassemens du réglage sont de plus en plus petits : les oscillations s'amortissent. Mais la nouvelle vitesse du régime qui s'établit est inférieure à celle du régime précédent (dans le cas d'une augmentation du couple résistant). D'une façon générale, pour tout régime établi, le tiroir doit se trouver dans la même position (fermée) ce qui fixe la position de A. Pour une ouverture donnée de l'admission, donc pour une puissance donnée, l'articulation B a une position déterminée. Il en résulte une position déterminée du levier BAM, du manchon M et finalement une vitesse déterminée. On dit qu'on a asservi la vitesse à la puissance.

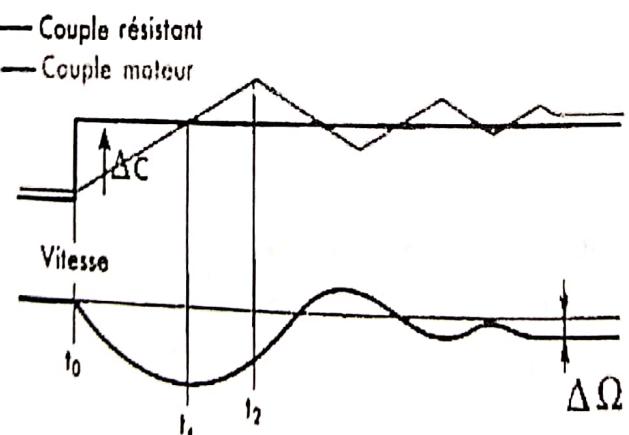


Figure 9.6 Amortissement des oscillations

Pour les régimes établis, la vitesse est une fonction décroissante de la puissance demandée à la turbine. Pratiquement, le graphe $\Omega = f(P)$ est une droite légèrement descendante. Pour les groupes électrogènes, on considère plutôt la vitesse n en tr/seconde. La chute relative de vitesse $S = (n_0 - n)/n_0$,

Lorsqu'on passe de la marche à vide à la marche en charge maximale, est appelée *constante de régulation* ou *statisme* (figure 9.7).

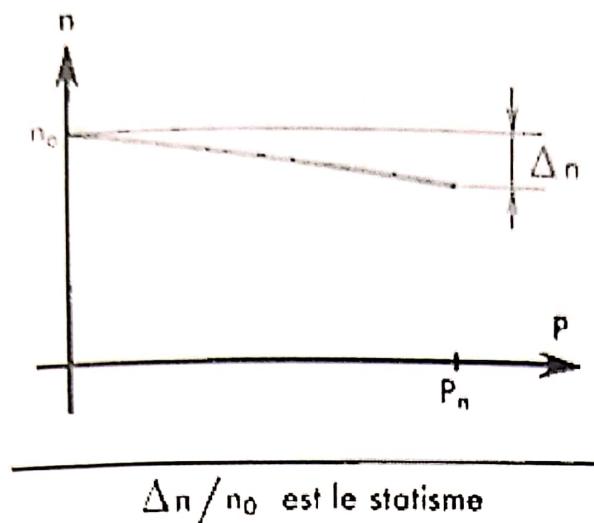


Fig. 9.7 Caractéristique de statisme

On utilisera le terme constante de régulation (note : R) lorsque le statisme sera exprimé en pu du système de base choisi.

Pour les turbines puissantes, le statisme est de l'ordre de 10%. Lorsqu'on passe de la marche à vide à la marche en charge maximale, la vitesse du groupe, donc la fréquence, baisse de 1/10, soit 50 Hz.

On appelle puissance réglante l'accroissement de puissance qui fait tomber la fréquence de 1 Hz. Par exemple, la puissance réglante d'une turbine de 100 MW dont le statisme est de 10% est : $100/5 = 20 \text{ MW/Hz}$.

2.2 Réglage secondaire

Le régulateur que l'on vient de présenter plus haut, effectue un réglage dit *primaire*, qui ne maintient pas constante la fréquence. Aussi, on lui adjoint un dispositif de réglage *secondaire*, ou de compensation, qui permet de ramener la fréquence à sa valeur normale. Il consiste à faire porter l'articulation B par un écrou que le moteur de commande m visse plus ou moins sur la tige filetée du piston du vérin (figure 9.8).

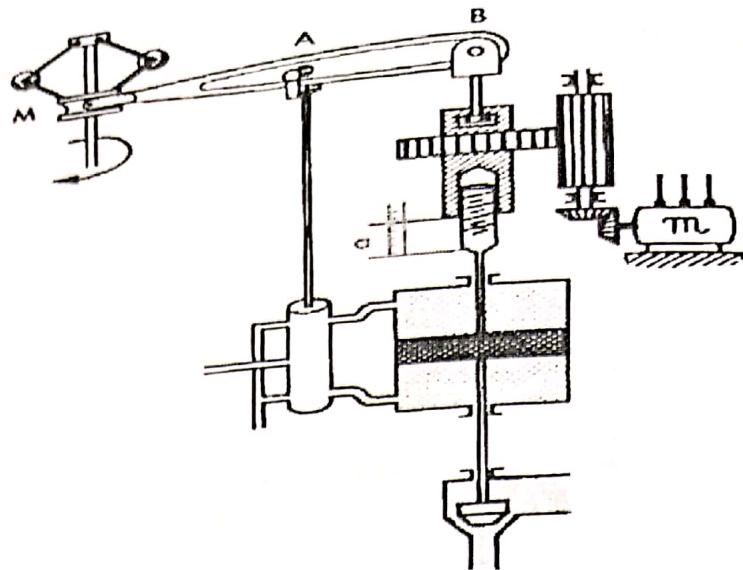


Fig. 9.8 Régulation secondaire de vitesse

A chaque position de l'écrou sur la tige correspond une caractéristique de réglage (figure 9.9).

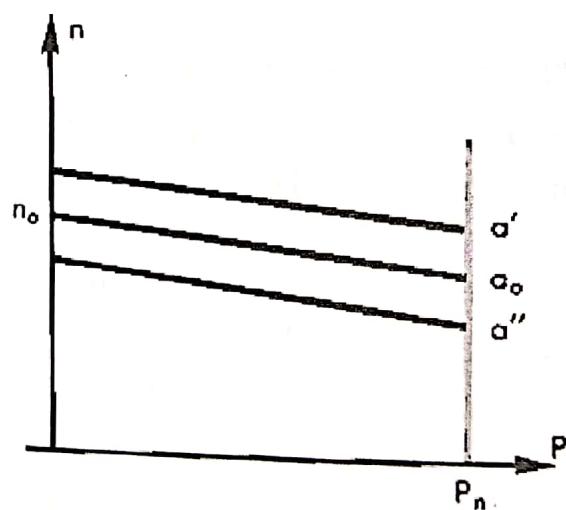


Fig. 9.9 Caractéristiques de réglage secondaire

Si l'on veut maintenir une fréquence (vitesse) fixe quelque soit la puissance (donc l'admission), il faut que, après réglage secondaire, le manchon M du régulateur occupe la position déterminée par cette fréquence (la même pour toutes les puissances) et que l'articulation A , soit dans la position de fermeture du tiroir. Le levier MAB doit donc toujours être ramené à la même position dans l'espace (figure 9.8).

Après que le réglage primaire aura donné à l'admission la valeur convenable, modifiant la position de l'écrou dans l'espace, le réglage secondaire consistera à ramener lentement l'écrou à sa position initiale en le vissant ou le dévissant sur la tige filetée par le moteur M à deux sens de rotation.

La commande de M peut être automatique. On peut imaginer un dispositif à deux contacts tel celui qui sera décrit plus tard pour la régulation de tension. On dira alors que le régulateur est *compensé*. La compensation revient à donner une position finale fixe à l'articulation B , c'est-à-dire à supprimer l'asservissement. On comprend qu'elle doit se faire de manière suffisamment lente pour que l'asservissement ait le temps de jouer son rôle d'amortisseur d'oscillations (figure 9.10).

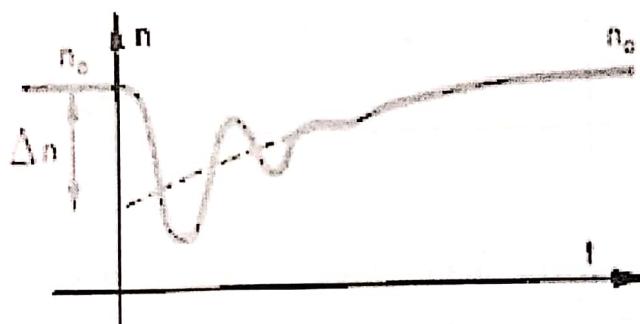


Fig. 9.10 Amortissement des oscillations par réglage secondaire

2.3 Valeur de la fréquence

Pour une configuration donnée du réseau (nombre de groupes, niveau de charge,...), la puissance absorbée par ce réseau est une fonction croissante de la fréquence. En effet, lorsque la fréquence croît, les machines tournent plus vite et les turbines fournissent une puissance mécanique plus grande, les pertes augmentent.

A une puissance P_a donnée, correspond une certaine fréquence f et inversement. Traçons avec les mêmes axes la courbe représentant la vitesse $n = f/p$ en fonction de P_a et la courbe de statisme de la turbine pour une *valeur fixe du réglage secondaire* (figure 9.11). Le point d'intersection A est le point de fonctionnement : la fréquence s'établit telle que la puissance

absorbée par le réseau soit égale à la puissance fournie par le groupe. Le fonctionnement est stable.

En résumé, la puissance active se règle à la demande du réseau par l'intermédiaire de la fréquence grâce au régulateur asservi de la turbine.

Le réglage secondaire permet de ramener f à sa valeur de consigne f_0 (A passe lentement de A_0 à A_1) (fig. 9.11).

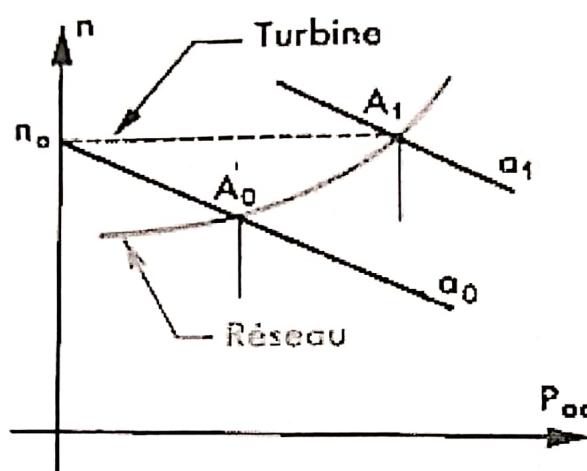


Fig. 9.11 Régulation secondaire de fréquence

3. Excitation des alternateurs

3.1 Excitatrices à courant continu

La dynamo à courant continu a été longtemps la seule machine pouvant fournir le courant continu d'excitation. Elle est encore très employée dans les anciennes installations.

Jusqu'à des puissances importantes, elle est entraînée par l'arbre de l'alternateur, soit directement, souvent placée en porte à faux en bout d'arbre, ou par l'intermédiaire d'un engrenage, ce qui permet de choisir la vitesse la plus favorable pour la dynamo.

Au plus simple, l'excitatrice est un générateur shunt et le réglage (régulation de tension) se fait en agissant sur l'excitation de l'excitatrice par un rhéostat (figure 9.12).

Mais une difficulté se présente. En effet, l'excitation de l'alternateur doit varier dans de larges limites, donc aussi la tension aux bornes de la dynamo excitatrice. Or nous savons qu'une dynamo shunt normale ne se prête qu'à un réglage restreint, son circuit magnétique devant être légèrement saturé dès la tension la plus basse, sinon son réglage est instable.

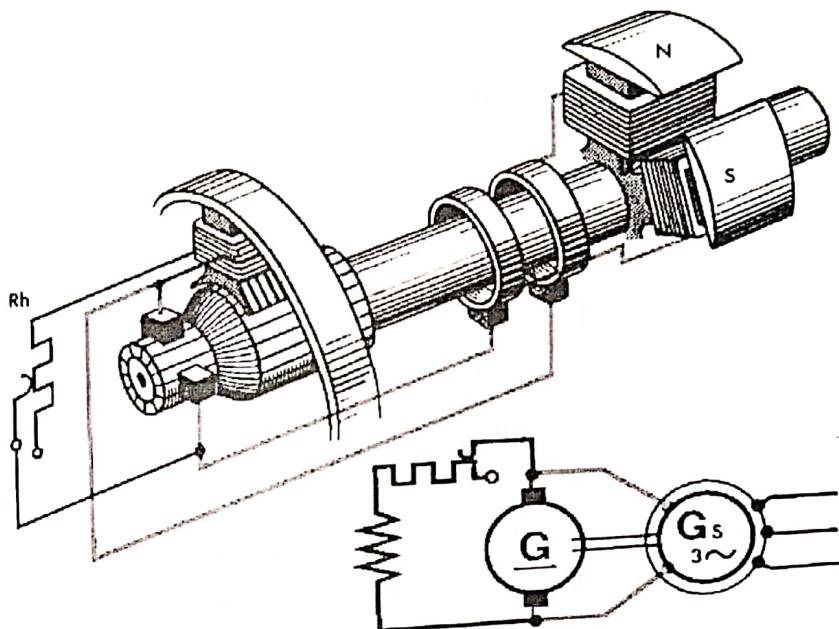


Fig. 9.12 Excitation Shunt en bout d'arbre des alternateurs

Une première solution consiste à donner au circuit magnétique une amorce de saturation dès les faibles valeurs du flux en pratiquant un étranglement dans les noyaux polaires (figure 9.13) ce qui modifie la caractéristique à vide (figure 9.14).

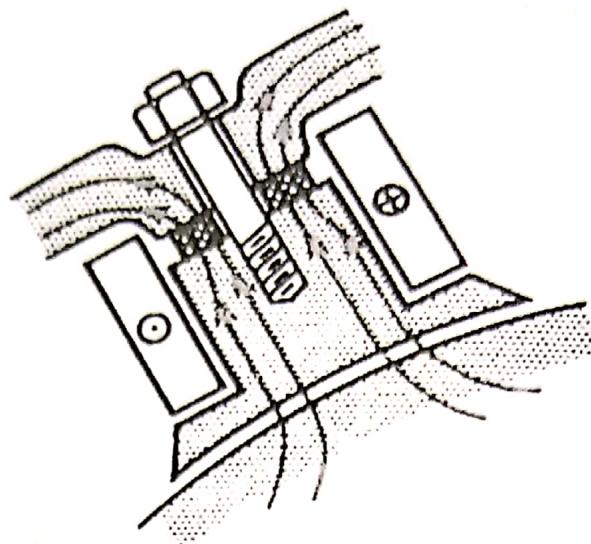


Fig. 9.13 Etranglement du circuit magnétique

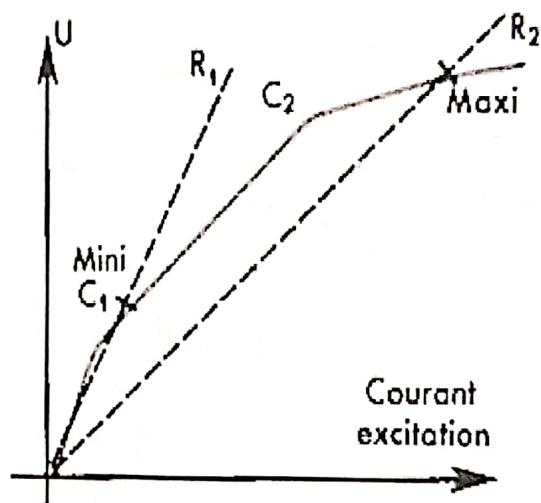


Fig. 9.14 Effet de l'étranglement de l'excitation shunt sur la caractéristique à vide

Une autre solution est une deuxième excitatrice shunt dite *excitatrice pilote* fonctionnant à **tension constante** et fournissant le courant d'excitation J_e de l'excitatrice principale par l'intermédiaire d'un rhéostat (figure 9.15). L'excitatrice principale n'est pas saturée. Elle fonctionne en donnant par son induit un courant J d'excitation de l'alternateur k fois plus grand que J_e son propre courant d'excitation : $J = k J_e$. On dit qu'elle fonctionne en amplificatrice, k étant de l'ordre des dizaines.

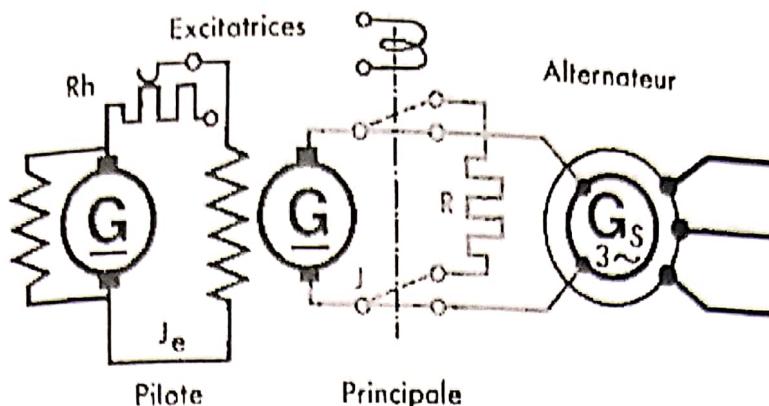


Fig. 9.15 Excitation avec une excitatrice pilote

Sur le schéma de la figure 9.15, on remarquera le commutateur qui permet de mettre le circuit d'excitation de l'alternateur en court-circuit sur une résistance de décharge R , système utilisé pour réduire le courant d'excitation à zéro le plus rapidement possible, par exemple en cas de court-circuit aux bornes de l'alternateur.

3.2 Excitation rapide

Un ajustement rapide du courant d'excitation est souvent nécessaire. Par exemple, en cas d'une brusque augmentation de la charge, il est important que J augmente très vite pour éviter que l'angle de décalage n'augmente jusqu'au décrochage.

Il y a donc intérêt à ce que l'excitatrice donne le plus rapidement possible une tension, pas seulement égale à celle qui correspondrait au régime établi pour la nouvelle charge, mais temporairement supérieure. En effet, la croissance de J dans le rotor est ralentie par son inductance L . Elle est conditionnée par la constante de temps $\tau = L/R$ qui est très élevée.

La seule manière d'accélérer la croissance de J est de faire fournir temporairement à l'excitatrice une tension bien supérieure à celle nécessaire pour le nouveau courant du régime établi (figure 9.16).

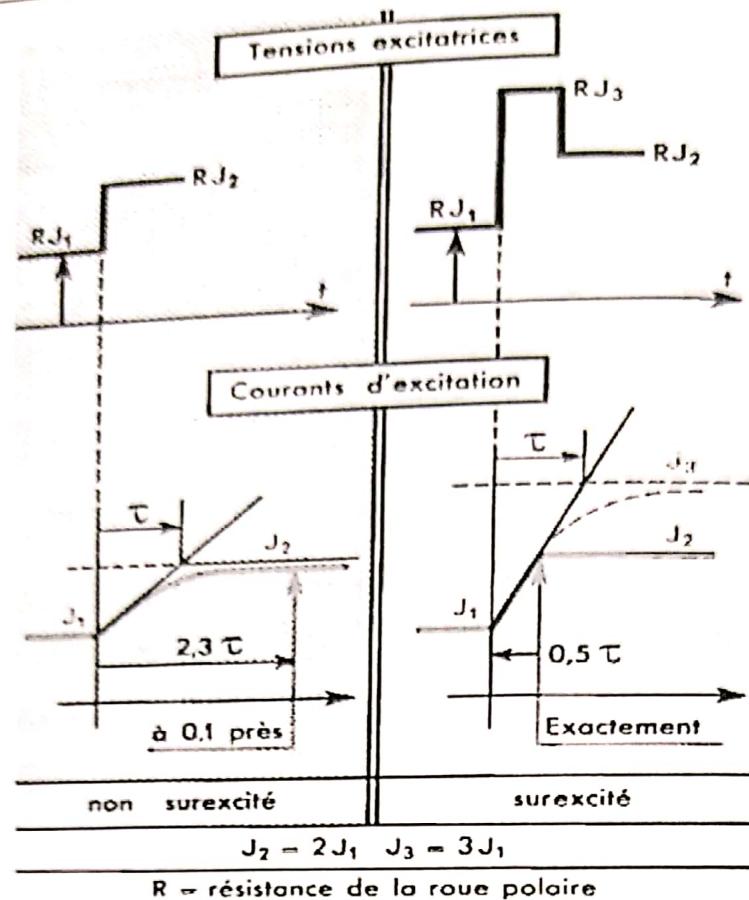


Fig. 9.16 Un exemple d'excitation rapide des alternateurs

On obtient le schéma de la figure 9.17 qui comprend : une excitatrice pilote, une machine amplificatrice (amplidyne), une excitatrice principale. Le tout entraîne soit directement l'alternateur, soit par un moteur séparé.

La machine amplificatrice du type *amplidyne* est une machine qui donne par son induit un courant continu égal à plusieurs milliers de fois son courant d'excitation, et cela avec un très faible retard.

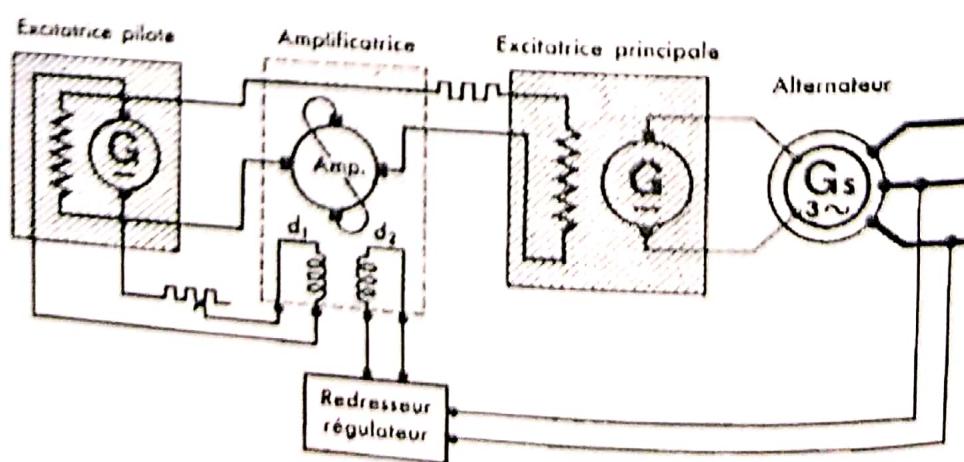


Fig. 9.17 Schéma de l'excitation avec une amplificateur

L'induit de l'amplidyne est branché en série dans le circuit d'excitation de l'excitatrice principale. Sa propre excitation comprend deux enroulements d_1 et d_2 dont les A_t s'opposent : l'un d_1 est parcouru par un courant constant fourni par l'excitatrice pilote, l'autre d_2 par un courant élaboré par le régulateur R .

Lorsque la tension alternateur a la valeur de consigne, les A_t des deux enroulements d_1 et d_2 s'équilibrivent, la tension aux bornes de l'amplidyne est nulle. Lorsque la tension de l'alternateur s'écarte de la valeur consigne, le régulateur modifie le courant dans d_2 et une tension apparaît aux bornes de l'amplidyne qui agit en survolteur-dévolteur, suivant son sens, sa tension s'ajoute ou se retranche de la tension de l'excitatrice pilote.

Le régulateur est ordinairement un régulateur statique (électronique) qui donne une tension continue (redressée) en fonction de la tension alternative de l'alternateur. Ce régulateur électronique prend facilement en considération d'autres éléments que la tension, par exemple l'accélération, l'angle de décalage du rotor, le courant réactif..., pour produire les surexcitations ou sous-excitations temporaires destinées à réduire le retard de réglage.

3.3 Excitatrices à diodes tournantes

L'apparition des redresseurs statiques, de petit volume et de grande fiabilité, a donné naissance à de nouveaux procédés d'excitation qui ont évolué, et continuent à évoluer, avec les progrès faits dans le domaine des semi-conducteurs.

Le montage le plus simple (Figure 9.18) consiste à fournir le courant d'excitation J par un redresseur commandé alimenté soit par la tension du réseau, soit par la tension aux bornes de l'alternateur s'il s'agit d'un alternateur autonome. Une excitatrice pilote, généralement une machine synchrone à aimants permanents, est alors utilisée afin d'exciter l'exciteur principal.

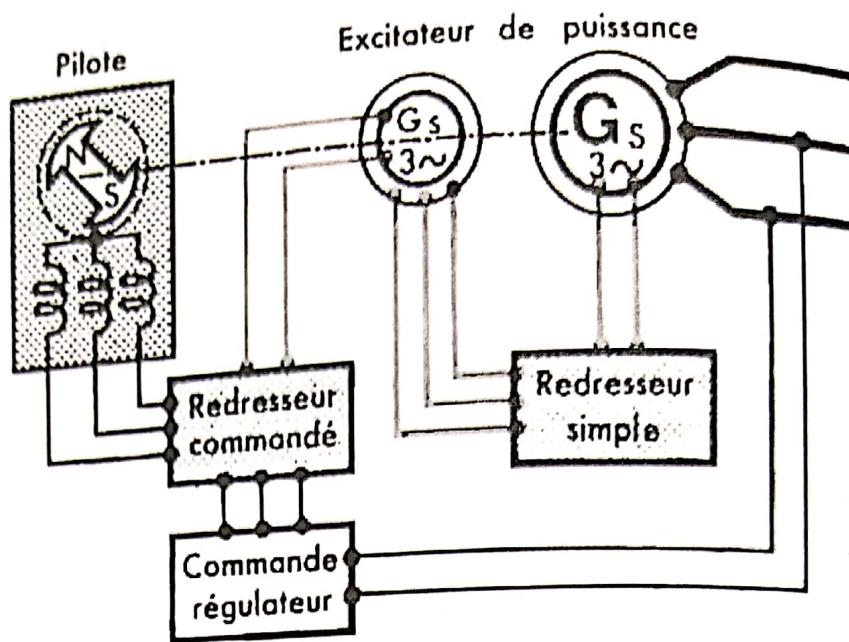
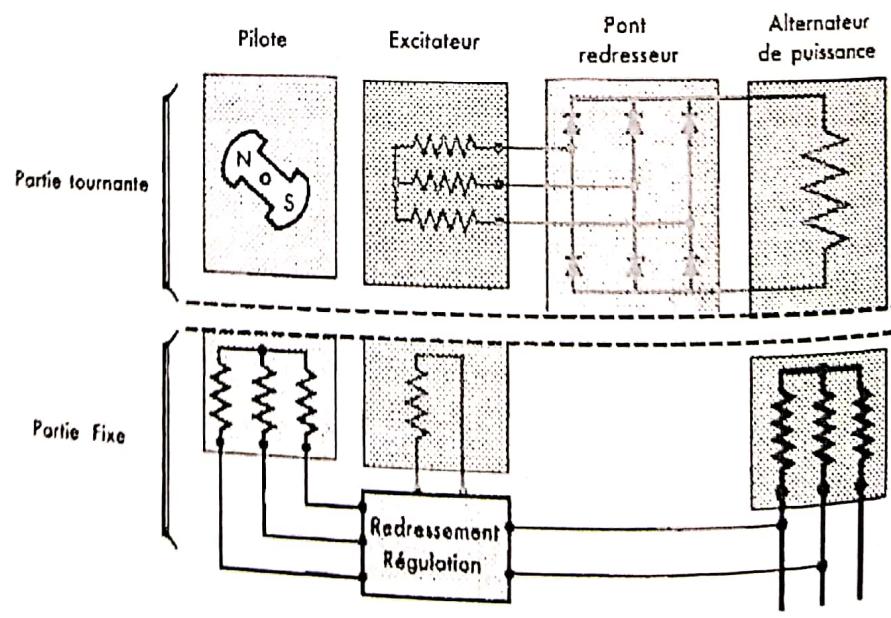


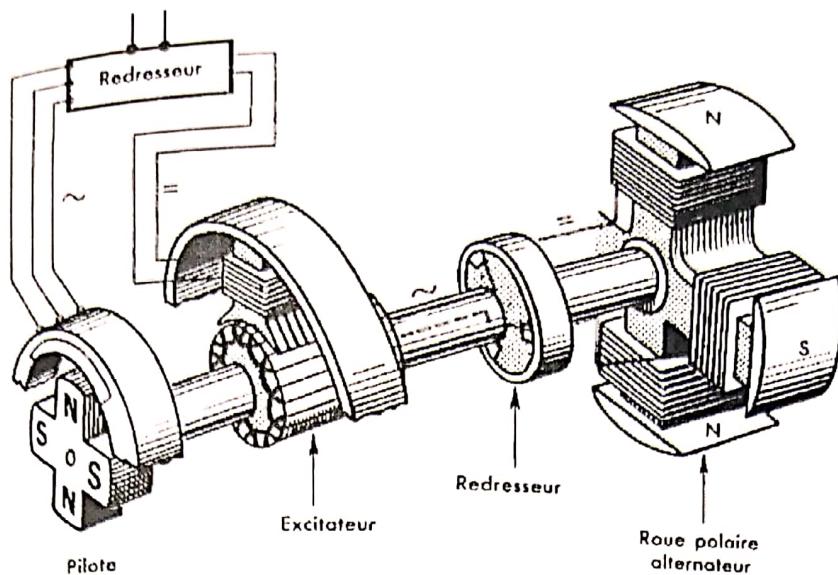
Fig. 9.18 Excitation par redresseur commandé

Pour les groupes très puissants, le courant d'excitation à injecter à la roue polaire atteint plusieurs milliers d'ampères, le fonctionnement des contacts glissants bague-balai devient délicat.

On supprime ces contacts en inversant le rôle induit-inducteur entre le stator et le rotor de l'alternateur excitateur et en plaçant le redresseur sur la partie tournante du groupe (figures 9.19a et 9.19b).



(a)



(b)

Fig. 9.19 Excitation par redresseur à diodes tournantes

L'alternateur excitateur est à induit tournant : son stator inducteur est analogue à celui d'une machine à courant continu, son rotor (induit) identique à celui d'une machine asynchrone à rotor bobine. Les bornes de ce rotor sont reliées à un simple pont à diodes dont la sortie alimente l'excitation de l'alternateur de puissance.

Les conducteurs parcourus par des courants de très fortes intensités, y compris les connexions, sont tous sur la partie tournante. Les connexions passent à l'intérieur de l'arbre commun. Le schéma global est donné par la figure 9.20.

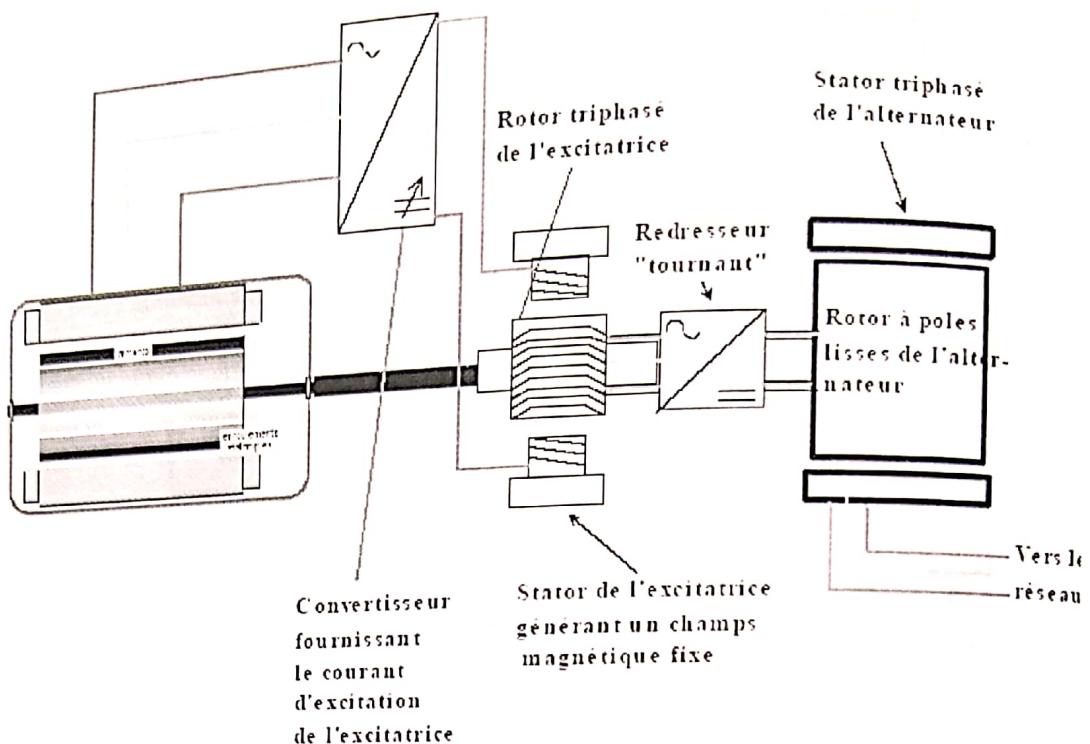


Fig. 9.20 Schéma global de l'excitatrice avec redresseur à diodes tournantes

4. Régulation de tension

Le régulateur de tension agit sur le courant d'excitation qu'il renforce ou affaiblit jusqu'à ce que la tension ait la valeur désirée, qui peut être une valeur fixe ou valeur de consigne (figure 9.21). Réguler la tension des alternateurs permet de:

- ✓ Exploiter le réseau avec sûreté
- ✓ Maintenir la tension d'alimentation des clients dans les plages contractuelles
- ✓ Respecter les contraintes de fonctionnement du matériel
- ✓ Minimiser les pertes
- ✓ Utiliser au mieux la capacité des ouvrages de transport

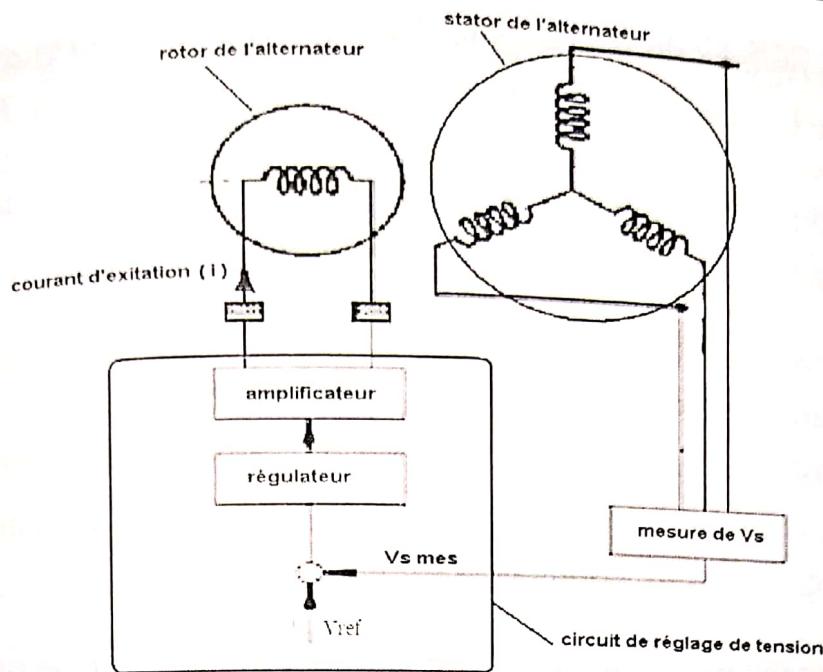


Fig. 9.21 Schéma de la régulation de tension

9.4.1 Principe du régulateur de tension

Pour exposer le principe de régulation de tension, donnons un exemple schématique de régulateur utilisable lorsque le courant d'excitation est réglé par la variation d'une résistance (Figure 9.22).

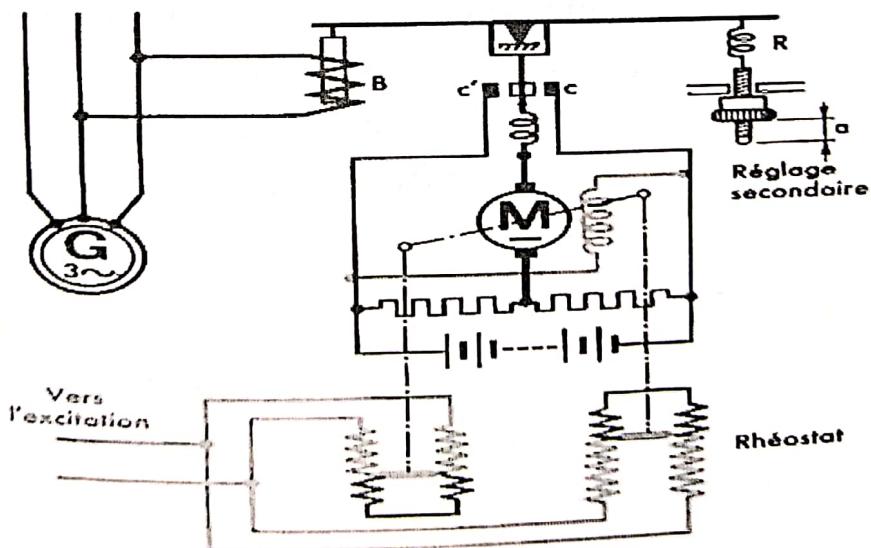


Fig. 9.22 Principe du régulateur de tension

La tension à régler est appliquée à la bobine B qui exerce sur son noyau plongeur une force croissante avec la tension ; un ressort R équilibre le

fléau. Pour un réglage donné du pont d'attache de ce ressort, le fléau est en équilibre, entre les deux contacts C et C' pour une valeur U_0 de U .

Si U devient supérieure à U_0 , le fléau bascule à gauche et ferme le contact C ; si $U < U_0$ c'est le contact C' qui se ferme.

Ces contacts établissent le courant dans l'induit d'un petit moteur à courant continu dans un sens ou dans l'autre. Le moteur se met en mouvement et modifie la résistance du rhéostat dans le sens convenant au rétablissement de la valeur de consigne. Le mouvement s'arrête lorsque le fléau se retrouve en équilibre entre les deux contacts.

La valeur de consigne se règle par le point d'attache du ressort, c'est un réglage secondaire. On peut, si nécessaire, asservir un tel régulateur en décalant dans l'espace, le bloc des deux contacts d'un angle fonction de la rotation du moteur.

9.4.2 Valeur de la tension

Comment s'établit cette valeur ? Par un mécanisme analogue à celui qui règle la fréquence. En effet, d'une part, la puissance réactive demandée par le réseau pour une configuration donnée est une fonction croissante de la tension : plus celle-ci est élevée plus grands sont les champs magnétiques des machines. D'autre part, pour un courant d'excitation donné, la tension aux bornes de l'alternateur est une fonction décroissante de la puissance réactive qu'il fournit.

La tension qui s'établit naturellement, sans intervention du régulateur, est celle pour laquelle s'égalise la puissance réactive demandée et celle fournie. Le jeu du régulateur de tension rétablit ensuite la tension à sa valeur de consigne en réglant l'excitation.

En résumé, la puissance réactive se règle à la demande du réseau par l'intermédiaire de la tension grâce au régulateur. Ainsi apparaît l'analogie des rôles joués par la fréquence pour la puissance active et par la tension pour la puissance réactive.

5. Réglage de la production

L'ensemble des groupes turboalternateurs du réseau se comporte comme un groupe unique, capable de la puissance totale, dont le *statisme* serait une moyenne des statismes de tous les groupes couplés et la *puissance réglante* est la somme de toutes les puissances réglantes. La fréquence s'établit par le jeu des régulateurs primaires à une valeur telle que la puissance produite soit égale à la puissance consommée.

Supposons que, alors que le réseau fonctionne en régime équilibré à la fréquence de 50 Hz (valeur de consigne), il se produit une demande de puissance supplémentaire par suite du branchement de nouveaux récepteurs. Le jeu des régulateurs primaires établit un nouveau régime à une *fréquence plus basse*. On détecte cette variation en comparant la fréquence du réseau à une fréquence étalon. On agira sur la *régulation secondaire* de certains groupes (équipés en conséquence) dans le sens d'une augmentation de puissance jusqu'à ce que soit rétabli la fréquence de consigne.

Bien entendu, à chaque instant, il y a équilibre entre la puissance consommée et la puissance produite : toutes les deux montent ensemble au cours du réglage.

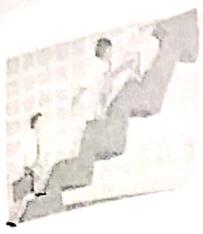
La majorité des groupes fonctionnent à une puissance donnée par un programme prévisionnel. Si la réalité était exactement conforme aux prévisions du programme, la fréquence resterait toujours égale à la valeur de consigne. Ce sont les écarts entre la puissance prévue et la puissance réellement demandée qui produisent les variations de fréquence déclenchant la régulation secondaire. Celle-ci ne porte que sur quelques groupes spécialement choisis, les autres groupes fonctionnant à puissance quasi constante, aussi près que possible de leur rendement maximal.

La commande des régulateurs de ces *groupes de réglage* est effectuée à partir du dispatching national par des dispositifs de *téléréglage*. Pour chaque groupe, le dispositif élabore des signaux (impulsions) qui, reçus par le régulateur, fixe le niveau de puissance du groupe.

La tension s'établit de la même façon, à la demande de la puissance réactive du réseau. Elle reprend sa valeur de consigne sous l'effet des régulateurs de tension agissant sur les courants d'excitation des alternateurs.

Remarquons que si la production d'énergie (puissance active) est forcément concentrée dans les alternateurs, la puissance réactive peut être produite, non seulement par les alternateurs, mais encore par des moteurs synchrones, des compensateurs et même des condensateurs pour de faibles puissances, répartis sur tout le réseau. On a un évident avantage pour le rendement d'en transporter le moins possible.

Remarquons enfin que la tension n'a besoin de garder une valeur de consigne précise qu'aux lieux de consommation. Si bien que la possibilité de régler, même en charge, le rapport des transformateurs donne au réglage des tensions une souplesse qui ne présente pas le réglage de la fréquence, celle-ci devant être rigoureusement la même en tout point du réseau.



Travaux Dirigés

«Régulation de tension et de vitesse»



Exercice 1*

Un groupe dont la puissance maximale est de 1000 kW est muni d'un régulateur non compensé dont le statisme est de 0.05. Le groupe étant en fonctionnement stable à la fréquence 50 Hz, la puissance demandée augmente et la fréquence devient 49.9 Hz. Quelle est la puissance du groupe et que faut-il faire pour rétablir la fréquence de consigne ?

Exercice 2*

Deux groupes de puissances maximales 100 MW et 200 MW débitent sur une charge de 270 MW. Les régulateurs de vitesse ont pour statismes respectifs: 5% et 6%. Déterminer:

1. La chute de fréquence correspondante
2. La puissance fournie par chaque groupe.
3. La procédure à appliquer si on admet une tolérance de 5% de la fréquence normale.

Exercice 3*

Un groupe turboalternateur de puissance maximale 600 MW et muni d'un régulateur Primaire de vitesse non compensé de statisme 5%, fonctionne à fréquence normale de 50 Hz sur un réseau électrique. La demande d'énergie augmente de 120 MW.

- Déterminer la chute de fréquence correspondante.
- Expliquer le principe de la régulation secondaire de vitesse qui consiste à ramener la fréquence à sa valeur normale.

Exercice 4*

Un turboalternateur triphasé à pôles lisses $X_d = 8\Omega$ délivre un courant de 200 A à $\cos \varphi = -1$ et $U = 11 \text{ kV}$.

1. Sans modifier l'ouverture du distributeur de la turbine, on augmente de 30% le courant d'excitation. Déterminer les nouvelles valeurs du courant et de $\cos \varphi$.
2. Sans modifier l'excitation, on augmente graduellement l'ouverture du distributeur jusqu'au décrochage. Pour quelle puissance et à quel $\cos \varphi$ le décrochage se produit-il ?

Exercice 5*

Un alternateur 50 kVA, 220 V, 6 pôles, 50 Hz consomme à pleine excitation un courant de 120 A sous 20 V. Son flux pour un courant d'excitation de 30 A est de 0.18 mWb, le nombre de spires du circuit inducteur est de $N = 37$. Quelle est la surtension à appliquer au circuit d'excitation pour faire passer le courant de 30 A à 100 A en 0.1s ?

Exercice 6*

Refaire le même exercice que 9.5 avec un turboalternateur 100 MVA, 13 kV, 50 Hz qui consomme à pleine excitation un courant de 3 kA sous 225 V. Son flux pour un courant d'excitation de 500 A est de 75 mWb, le nombre de spires du circuit inducteur est de $N = 450$. Quelle est la surtension à appliquer au circuit d'excitation pour faire passer le courant de 500 A à 1000 A en 0.2s ?

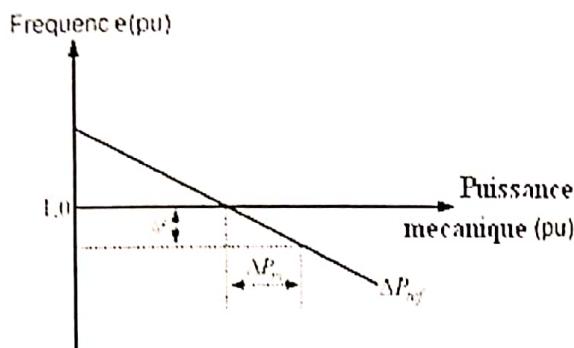
Exercice 7*

Un groupe turboalternateur 500 MVA, 60 Hz a une constante de régulation $R = 0.05 \text{ pu}$ par rapport à sa puissance nominale. Si la fréquence croît de

0.01 Hz, calculer la diminution de la puissance mécanique correspondante.
On utilisera l'expression :

$$\Delta P_m = \Delta P_{ref} - \frac{1}{R} \Delta f$$

La caractéristique de réglage de vitesse en régime permanent étant définie d'après :



Exercice 8*

Soit un réseau interconnecté 50-Hz composé de quatre turboalternateurs de puissances : 750 MW, 500 MW, 220 MW et 110 MW. Les constantes de régulation de chaque machine sont identiques et égales à 0.05 per unit par rapport à leurs puissances respectives. Chaque groupe fonctionne à 75% de sa puissance lorsque la charge diminue de 250 MW. On choisira une base commune de 500 MW pour calculer l'augmentation de fréquence et la diminution de la puissance mécanique de chaque groupe.

Exercice 9*

Un alternateur de puissance apparente $S_n=75$ MVA fonctionne initialement à la vitesse de 3000 tr /mn. Une charge de 20 MW est demandée et le Régulateur agit en ouvrant la vanne d'admission avec un retard de 0.5 s. Calculer la nouvelle fréquence avant le rétablissement de la puissance sachant que la valeur de l'énergie emmagasinée est $H = 4 \text{ kWs/kVA}$.