

Centre d'intérêt 3

Asservissements

Précision

PSI-MP : Lycée Rabelais



Pré-requis

- Cours de première année (et rappels) sur les asservissements
- Cours sur la stabilité des systèmes asservis
- Cours sur la précision des systèmes asservis

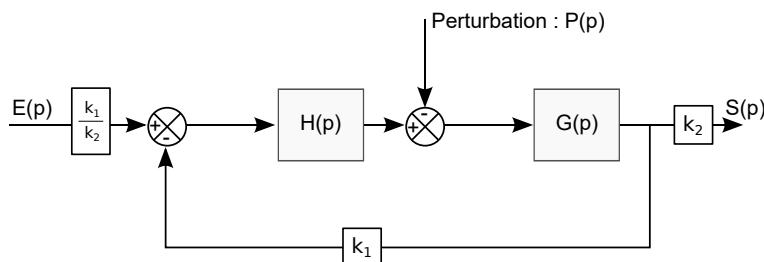


Objectifs

- Savoir analyser les performances d'un système asservi (précision notamment)

1 Application directe du cours

On considère un système bouclé dont le schéma-bloc est représenté ci-dessous :



On note : $E(t) = E_0 u(t)$ et $P(t) = P_0 u(t)$ (u est la fonction échelon unitaire). Pour chacun des couples de fonction de transfert donnés ci-dessous, on demande de déterminer l'erreur en régime permanent.

1) $H(p) = \frac{6}{p(p+2)}$ et $G(p) = \frac{12}{3p^2 + 6p + 9}$

2) $H(p) = \frac{6}{p+2}$ et $G(p) = \frac{12}{p(3p^2 + 6p + 9)}$

3) $H(p) = \frac{6}{p+2}$ et $G(p) = \frac{12}{3p^2 + 6p + 9}$

2 Production électrique et régulation du réseau français ★★

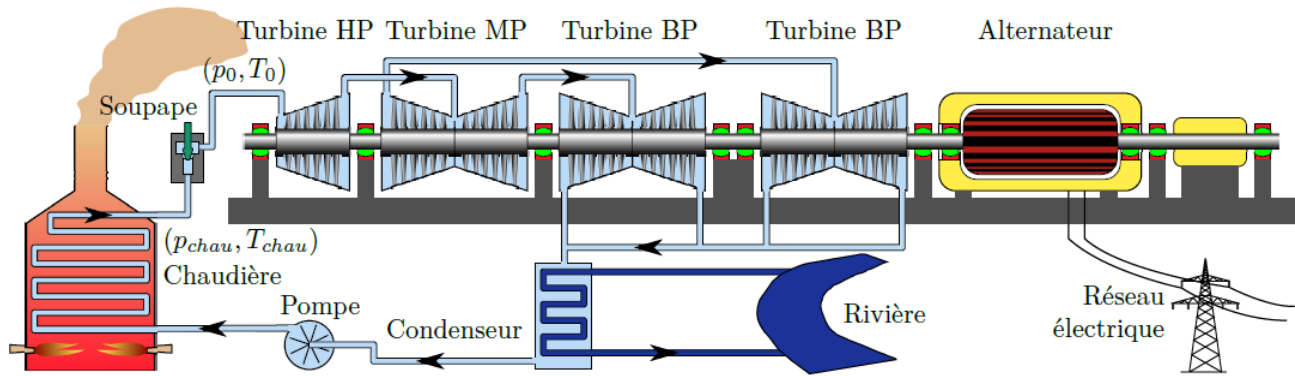
Le réseau électrique européen est constitué de sites producteurs et de sites consommateurs, reliés par un maillage de lignes électriques. La France compte chaque jour une centaine de sites de production en activité, exploitant différentes

sources d'énergie primaire : le thermique nucléaire (76%), le thermique à flamme (le charbon, le gaz, le pétrole, soit 10,5%) et les énergies renouvelables (l'hydraulique, l'éolien et le solaire, soit 13,5%).

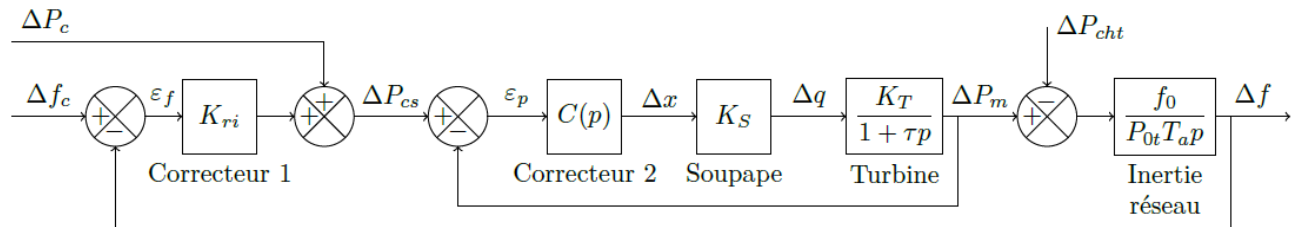
Pour la majeure partie de la production, l'énergie primaire est d'abord convertie en énergie mécanique de rotation, puis convertie en énergie électrique par un alternateur. La synchronisation de l'ensemble des éléments producteurs à la fréquence du réseau permet de les considérer comme cinématiquement liés : l'ensemble des alternateurs de tous les sites de production ont exactement la même vitesse de rotation, qui correspond à la fréquence du réseau. Le réseau peut donc être modélisé par un seul arbre en rotation à la fréquence f , supportant tous les alternateurs.

La régulation primaire permet d'adapter instantanément la production à la consommation, moyennant une petite variation de la fréquence. Une partie seulement des sites de production participe à la régulation primaire, correspondant à 10% de la production totale. Il n'y a pas de moyen direct de mesurer la consommation. Lorsqu'une augmentation de la charge se produit, la fréquence sur le réseau va diminuer. Chaque site « réglant » mesure cette variation de fréquence et ajuste sa production en quelques dizaines de secondes. Après stabilisation de la fréquence, il restera néanmoins un écart avec la fréquence nominale, proportionnel à l'écart entre la consigne de production nationale et la consommation nationale. Il s'agit du *statisme* du réseau.

La majeure partie de l'énergie électrique produite étant d'origine thermique, le site de production envisagé dans cette étude est une centrale thermique à flamme (figure ci-dessous) produisant en régime nominal 260 MW. Une chaudière à charbon dégage la chaleur utilisée pour produire de la vapeur. Des turbines à vapeur assurent la détente du cycle thermodynamique, et produisent l'énergie mécanique. Un alternateur lié à l'arbre des turbines convertit l'énergie mécanique en énergie électrique.



On s'intéresse à la régulation de la turbine à vapeur connectée au réseau électrique, dont un modèle de régulation est indiqué sur le schéma bloc ci-dessous.



Les notations suivantes sont utilisées dans le schéma bloc, le symbole Δ représentant la variation de la variable après linéarisation au voisinage du point de fonctionnement :

- P_c : consigne de puissance ;
- f_c : consigne de fréquence ;
- x : ouverture de la soupape ;

- q : débit massique de vapeur ;
- P_m : puissance effectivement produite par la machine ;
- P_{cht} : puissance consommée par la charge, c'est-à-dire par les clients sur le réseau ;
- f : fréquence effective sur le réseau.

La consigne de puissance P_c est supposée établie à une valeur nominale $P_{0t} = 260$ MW, mais peut subir des petites variations ΔP_c autour de P_{0t} de la part de la centrale de commande lorsque la consommation diffère des prévisions. De même, la puissance effectivement produite par la turbine et la puissance consommée par la charge (par les clients) seront voisines de P_{0t} mais fluctuent en permanence.

La fréquence effective sur le réseau est voisine de $f_0 = 50$ Hz, mais évolue au gré des petites différences entre production et consommation.

Un extrait du cahier des charges est donné ci-dessous :

Fonction de service	Critère	Niveau
Réguler la puissance produite	Stabilité	Stable
	Précision	Erreur nulle en réponse à un échelon de puissance
Participer à la régulation de fréquence	Stabilité	$MG > 10$ dB et $M\varphi > 20^\circ$
	Précision	Erreur nulle en réponse à un échelon de fréquence
	Rapidité	Temps de réponse à un échelon : $t_{r5\%} = 40$ s
	Sensibilité aux perturbations de charge	Sensible aux perturbations constantes, de façon à respecter un <i>statisme</i> de 4%

Données : $K_S = 2,5 \cdot 10^2 \text{ kg.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$, $K_T = 1,34 \cdot 10^6 \text{ W.s.kg}^{-1}$, $f_0 = 50 \text{ Hz}$, $P_{0t} = 260 \text{ MW}$, $T_a = 10 \text{ s}$ et $\tau = 6 \text{ s}$.

On admet que la fonction de transfert $HP(p) = \frac{\Delta P_m(p)}{\Delta P_{cs}(p)}$ s'écrit sous la forme $HP(p) = \frac{T_I p + 1}{T_I \tau p^2 + 2T_I p + 1}$. On prendra $T_I = 20 \text{ s}$.

Question 1-2-3 : Calculer l'erreur statique totale, c'est-à-dire $\Delta f_{tot} = \lim_{t \rightarrow \infty} \Delta f_c(t) - \Delta f(t)$ pour une entrée $\Delta f_c(t)$ en échelon d'amplitude Δf_c^0 et les deux perturbations $\Delta P_c(t)$ et $\Delta P_{cht}(t)$ en échelon d'amplitude ΔP_c^0 et ΔP_{cht}^0 .

Pour avoir un réseau stable, on souhaite une entrée Δf_c nulle. Il faut également permettre aux multiples centrales de production d'accorder leurs régulations, on impose à chaque unité un *statisme* de 4%, c'est-à-dire qu'à convergence, pour des perturbations et consignes constantes, la fréquence doit diminuer proportionnellement à l'écart entre la charge et la consigne de production : $\frac{\Delta f_{tot}}{f_0} = \lambda \frac{\Delta P_c^0 - \Delta P_{cht}^0}{P_{0t}}$ où $\lambda = 0,04$.

Question 4 : Déterminer l'expression littérale et numérique de K_{ri} permettant de vérifier le critère de *statisme* du cahier des charges.

Question 5 : Tracer le diagramme de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte pour la valeur de K_{ri} obtenue sur le papier semi-log donné ci-dessous. Analyser la stabilité de la régulation proposée.

Question 6 : Que se passe-t-il si l'on utilise un correcteur proportionnel intégral de la forme $C(p) = \frac{K_{ri}}{p}$ pour le correcteur 1 ? Pourquoi ne pas utiliser cette solution ?

