

ANALYSE DES PERFORMANCES DES SLCI

ÉOLIENNE

1 Présentation

Les éoliennes ont pour fonction globale de produire de l'énergie électrique exploitable à partir de l'énergie du vent (on parle d'actionneur) quelle que soit la direction du vent.

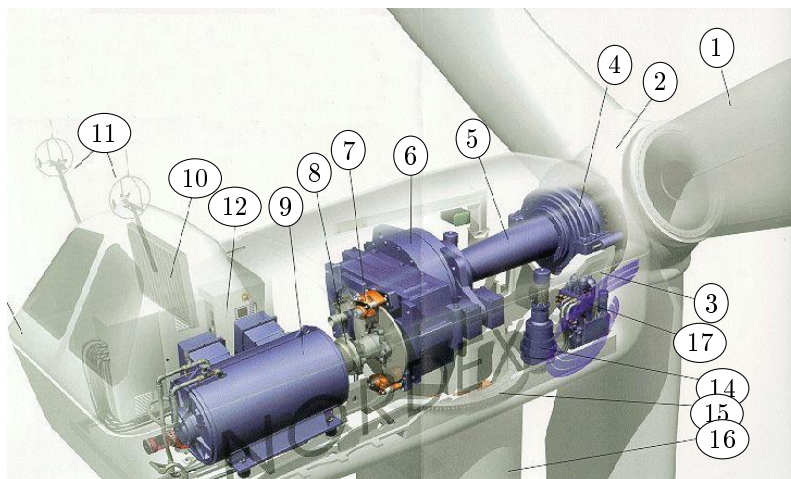


FIGURE 1 – Système d'orientation d'une éolienne

Nomenclature partielle

1 : pales	7 : frein à disque d'urgence	14 : moteur hydraulique
2 : moyeu	8 : arbre rapide	15 : couronne
3 : nacelle	9 : génératrice	16 : mât
5 : arbre lent	11 : girouette	
6 : multiplicateur	12 : module d'asservissement	

Objectif

On se propose dans ce TD d'analyser comment l'éolienne arrive à « s'aligner face au vent » pour récupérer le maximum d'énergie.

Exigences	Critères	Niveaux
Produire de l'électricité par le vent	Orientaion	automatique
	Rapidité d'orientation	$t_{5\%} < 5 \text{ s}$

FIGURE 2 – Extrait du recueil des exigences

Le diagramme de définition de blocs ci-dessous synthétise les différents composants participant à la fonction d'alignement face au vent.

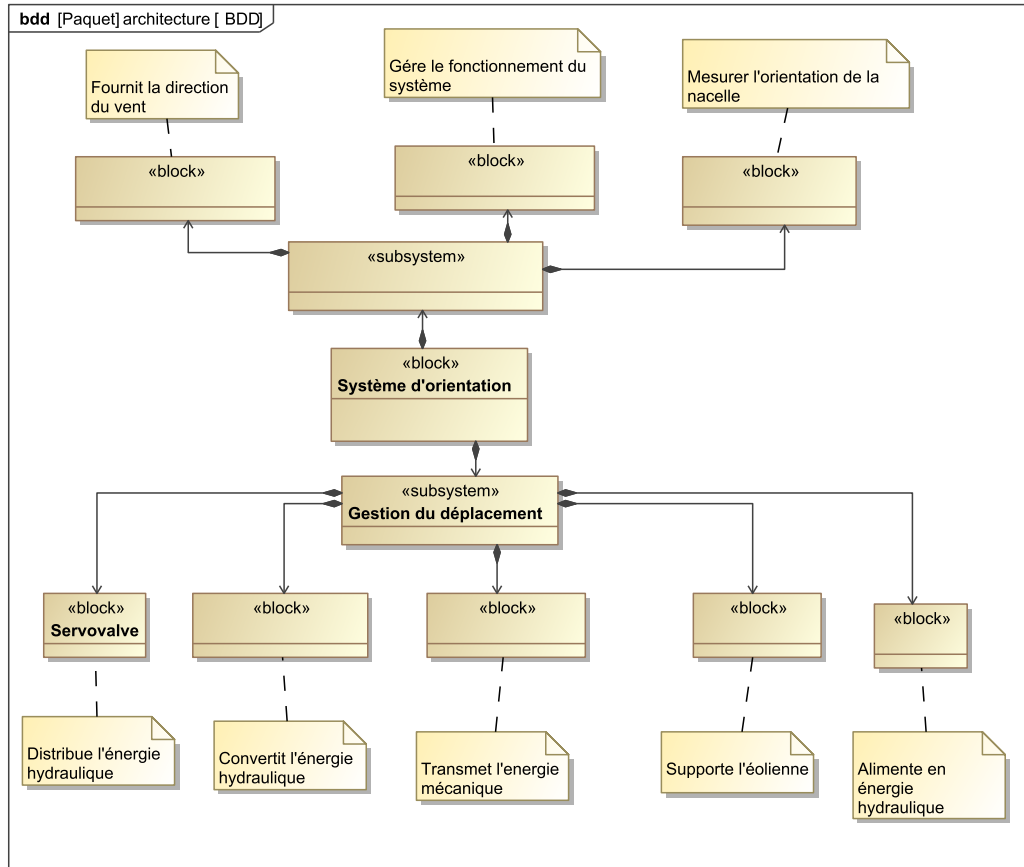


FIGURE 3 – BDD du système d'orientation de l'éolienne

Le moteur hydraulique, lié à la nacelle (cf. FIGURE 1), permet, quand la machine est à l'arrêt, de la positionner face au vent grâce à la commande émise par le module de commande qui utilise l'information donnée par la girouette et par le capteur angulaire de la nacelle. À cette fin, un pignon solidaire du moteur vient engrener sur une couronne liée au mât. Une fois l'éolienne correctement placée, le moteur est arrêté, le circuit hydraulique reste ouvert et permet d'amortir les faibles changements de direction du vent.

Si la nacelle n'est pas alignée face au vent pendant plus de 5 secondes, le moteur hydraulique entre en action pour ré-aligner la nacelle dans la direction de la girouette. C'est pourquoi on met en place un asservissement de la position angulaire θ de la nacelle à la position angulaire de consigne θ_c donnée par la girouette.

Question 1 Compléter les noms des blocs en vous aidant de la description du système et des constituants.

2 Modélisation du système d'orientation

La position angulaire θ_c de la girouette est convertie en une tension V_c , proportionnelle à θ_c , par un potentiomètre linéaire circulaire de gain K_p .

La position angulaire θ de la nacelle est mesurée par un capteur de position dont le gain est $K_c = 15 \text{ V}/180^\circ$, et qui fournit une tension V proportionnelle à θ .

L'écart entre la tension de consigne V_c et la tension mesurée V est évalué au niveau d'un soustracteur idéal qui élabore le signal $\varepsilon_v = V_c - V$.

Le signal ε_v est traité par un correcteur de fonction de transfert $C(p)$ pour fournir la tension U aux bornes d'un amplificateur de gain $K_A = 0,2 \text{ mA.V}^{-1}$, permettant d'attaquer avec le courant I la servo-valve de gain $K_{SV} = 40 \text{ cm}^3.\text{s}^{-1}.\text{mA}^{-1}$.

On appelle Q le débit d'huile en sortie de la servo-valve (un débit correspond à un volume de fluide par unité de temps); ce débit pilote le moteur hydraulique entraînant la nacelle qui tourne à la vitesse angulaire ω . Le moteur est caractérisé par une équation différentielle du premier ordre $\tau \frac{d\omega(t)}{dt} + \omega(t) = \frac{Q(t)}{Q_0}$ où $Q_0 = 8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3.\text{rad}^{-1}$ et $\tau = 1 \text{ s}$. La position angulaire θ de la nacelle se déduit de ω par une intégration.

Question 2 Mettre en place le schéma-blocs fonctionnel complet de l'asservissement en indiquant le nom des composants constituant chaque bloc.

3 Mise en place du correcteur

Objectif

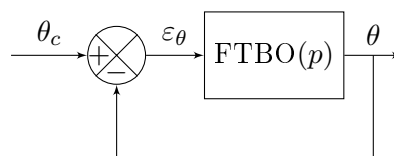
La difficulté pour les ingénieurs est de déterminer un correcteur simple qui permette de respecter le cahier des charges (critère de rapidité d'orientation).

Question 3 À partir de ce schéma-blocs fonctionnel et de la description du comportement de chaque constituant, proposer des fonctions de transfert pour chaque bloc fonctionnel et établir le schéma-blocs du système.

Question 4 Quelle valeur doit-on donner au gain K_p pour que l'asservissement soit correct (c'est à dire qu'une erreur nulle corresponde à un écart nul) ?

On suppose que $C(p) = C$ (C constante que l'on déterminera par la suite pour respecter le critère de rapidité d'orientation du cahier des charges).

Le schéma-blocs du système peut être mis sous la forme suivante :



Question 5 Montrer qu'avec le choix réalisé pour K_p , le schéma-blocs peut se mettre sous la forme du schéma-blocs précédent à retour unitaire. Montrer que la fonction de transfert en boucle ouverte

FTBO(p) s'écrit sous la forme :

$$\text{FTBO}(p) = \frac{CK_A K_{SV} K_p}{Q_0 p(1 + \tau p)}$$

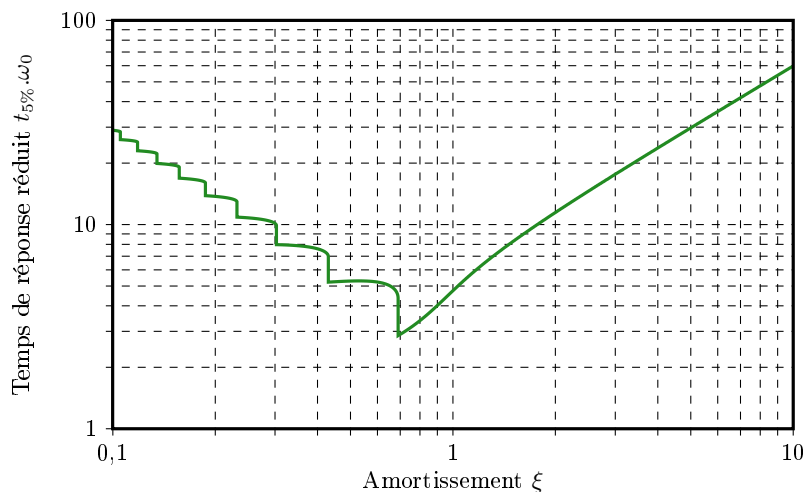
Question 6 Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée $H(p) = \frac{\theta(p)}{\theta_c(p)}$ en fonction de C .

Question 7 Exprimer $\varepsilon_\theta(p) = \theta_c(p) - \theta(p)$, erreur sur la position angulaire, en fonction de $\theta_c(p)$ et de la FTBO(p). À l'aide du théorème de la valeur finale, déterminer la valeur de l'erreur statique ε_{θ_s} pour une entrée échelon d'amplitude θ_0 .

Question 8 Mettre la fonction de transfert en boucle fermée sous forme canonique et déterminer ses paramètres caractéristiques (gain K , pulsation propre ω_0 et coefficient d'amortissement ξ) en fonction de C . Faire l'application numérique (attention aux unités).

Question 9 Donner la valeur de ξ et ω_0 pour $C = 1$. Tracer l'allure de la réponse indicielle $\theta(t)$ pour une entrée échelon $\theta_c(t) = \theta_0.u(t)$ dans ces conditions.

L'abaque ci-dessous (tracé en échelle logarithmique, cf. cours sur l'analyse fréquentielle) donne le temps de réponse réduit $t_{5\%}.\omega_0$ en fonction du coefficient d'amortissement ξ .



Question 10 On constate que le système est le plus rapide pour $\xi = 0,69$, déterminer alors la valeur de C correspondante et en déduire la valeur de ω_0 . Tracer l'allure de la réponse indicielle $\theta(t)$ pour une entrée échelon $\theta_c(t) = \theta_0 u(t)$ dans ces conditions.

Question 11 Pour les deux valeurs de ξ déterminées précédemment, lire le temps de réponse réduit correspondant et en déduire $t_{5\%}$. Conclure sur l'intérêt de choisir un correcteur.