

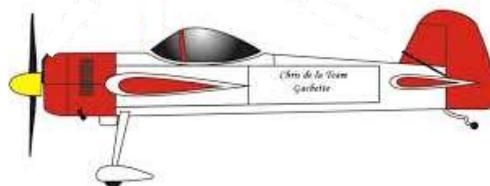
ETUDE D'UNE HELICE D'AVION

On se propose dans ce TP d'étudier un système moteur-hélice, utilisé en aéromodélisme, dans ses aspects mécanique et électrique.

1. Préparation

1.1. Aspect mécanique

On considère une hélice en rotation sur un avion.



Schématiser la poussée \vec{F} , qui est la force exercée par l'air sur le système {hélice + avion}, puis la force exercée par l'hélice sur l'air.

En déduire le sens du vecteur accélération de l'air dans le référentiel lié à l'avion.

La vitesse de l'air est-elle plus élevée à gauche ou à droite de l'hélice.

En supposant l'air incompressible, schématiser un tube de courant traversant l'hélice.

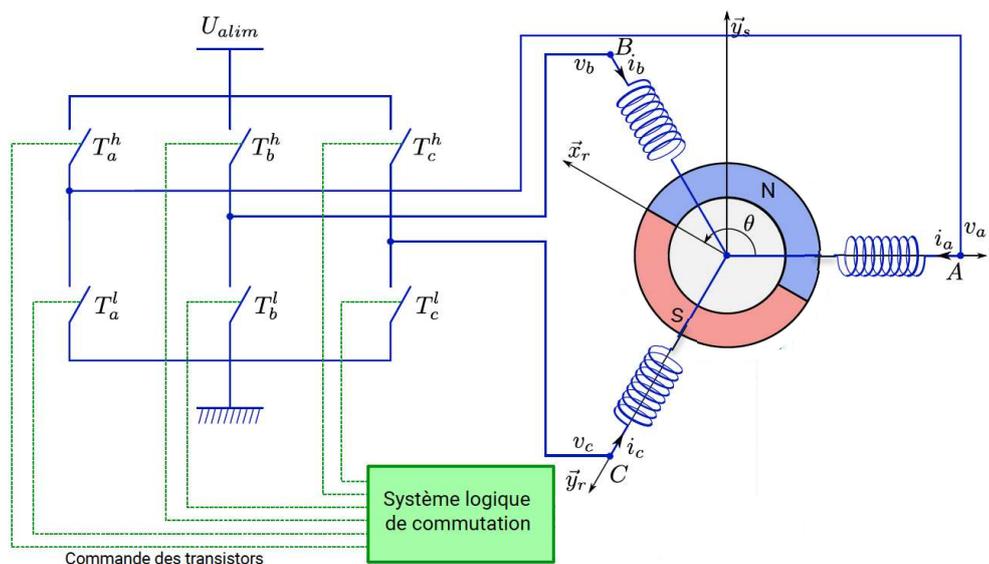
1.2. Aspect électrique

Le moteur est un moteur brushless. Que signifie littéralement ce terme ? Quel est en conséquence l'avantage de ce moteur ?

Le moteur brushless est une machine synchrone : le stator génère un champ magnétique tournant grâce à trois bobinages connectés en triangle et alimentés par trois courants (figure) commandés par un ESC (Electronic Speed Controller) analogue à un hacheur.

Quels interrupteurs devraient être fermés pour alimenter les bobines B et C ?

Schématiser le champ magnétique résultant créé par le stator.



Le rotor est composé d'aimants permanents dont les pôles sont alternés. Décrire brièvement le principe de fonctionnement du moteur.

Dans le cas de la figure, dans quel sens va tourner le rotor ?

2. Matériel

Vous disposez d'une maquette moteur + hélice ; d'un générateur basse fréquence ; d'un générateur continu ELC jaune, d'un voltmètre, de deux capteurs de courants, d'un oscilloscope ou d'une plaquette Sysam-5 et de Latis-Pro. Le diamètre de l'hélice est $d = 17,8$ cm.

La poussée exercée par l'hélice sur l'air est mesurée à l'aide d'un capteur de forces.

La fréquence de rotation de l'hélice est mesurée à l'aide d'un faisceau laser éclairant une photodiode à travers l'hélice.

La vitesse de l'air est mesurée à l'aide d'un anémomètre à fil chaud, **très fragile et cher (100 €)**.

Les fiches présentes sur la façade avant de la maquette permettent de visualiser les courants dans les enroulements du moteur.

3. Mesures

L'ESC doit être alimenté par une tension continue et piloté par une tension de commande $e(t)$ formée de pulses.

Alimenter l'ESC à l'aide d'une tension continue $E = 9,0$ V (mesurée au voltmètre).

Élaborer à l'aide du GBF des pulses de fréquence $f = 50$ Hz, variant entre 0 et 5 V, ayant une largeur d'impulsion (width) de $\tau = 1,00$ ms. Relier cette tension de commande à l'ESC.

Installer l'anémomètre dans la pince.

Brancher un câble USB sur la plaquette Arduino permettant la mesure de poussée.

Remarque : la plaquette Arduino alimente également le laser.

Augmenter la largeur d'impulsions jusqu'à $\tau = 1,07$ ms. Le moteur doit démarrer, sinon ramener τ à 1,00 ms et reprendre.

Visualiser à l'oscilloscope la tension donnée par le détecteur optique, dont la fréquence est le double de la fréquence de rotation.

Chercher la position de l'anémomètre pour laquelle la vitesse est maximale, et cette position sera la même pour toutes les mesures.

Pour différentes valeurs de τ variant de $\tau = 1,07$ ms à $\tau = 1,50$ ms, mesurer la fréquence f de rotation de l'hélice, la poussée F et la vitesse de l'air après l'hélice.

Réaliser pour $\tau = 1,50$ ms, une mesure de vitesse de l'air en amont et à la même distance de l'hélice.

4. Étude de la poussée

La formule expérimentale de Abbott donne :

$$F = \|\vec{F}\| = K \cdot f^2$$

où K est un facteur dépendant des paramètres de l'hélice (pas, diamètre).

Valider cette formule (ou pas) à l'aide des mesures.

Une modélisation simple (cf TD bilans dynamiques) permet de calculer :

$$F = \frac{1}{2} \rho_{air} S (v_2^2 - v_1^2) \simeq \frac{1}{2} \rho_{air} S v_2^2 \quad \text{si } v_2^2 \gg v_1^2$$

où S est la surface balayée par l'hélice, v_1 et v_2 les vitesses amont et aval de l'écoulement.

Valider cette formule (ou pas) à l'aide des mesures.