

Microavions électriques – (9) Propulsion

1. Introduction

Pour assurer la propulsion d'un modèle d'avion électrique, il faut un accumulateur, un moteur, un réducteur et une hélice. Si la combinaison permet de décoller, la durée de vol définit l'efficacité du système.

Pour chaque élément, il y a plusieurs paramètres que l'on ne peut influencer que partiellement, surtout si on s'intéresse à de l'ultraléger, dans les 10-15 grammes de poids total.

2. Accumulateur

Les accus au lithium-polymer (LiPoly) existent depuis moins d'une année en 45mAh (1.7g) et 145 mAh (3.8g). Ces accus ont permis le développement d'avions de 10 à 20 grammes ayant une autonomie de 5 à 20 minutes. On peut espérer dans quelques mois 100 mAh pour 2 grammes, mais 50 mAh pour 1 gramme ne semble pas correspondre à un besoin du marché des téléphones portables, et ce n'est pas le marché des micro-avions qui peut justifier le développement d'accumulateurs spécifiques.

La tension moyenne de 3.5V des accus Li-Poly est idéale, mais leur résistance interne est plus élevée que celle des accus Ni-Cd. La décharge doit se faire en 10-15 minutes pour avoir une bonne efficacité. L'utilisation d'un convertisseur élévateur de tension peut se faire avec un bon rendement, puisque la tension de l'accu est supérieure à 3V, mais ce poids additionnel peut être évité avec un bon choix de moteur.

3. Moteurs

Une assez grande variété de moteurs à courant continu existe (Table 1), grâce au marché des pagers pour téléphone. Leur tension nominale est de 1 à 3V, mais ils peuvent être survoltés d'un facteur 3.

Tous les moteurs CC ont de bonnes caractéristiques linéaires: le couple diminue avec la vitesse de rotation (voir www.didel.com/microkit/moteurs/Motors.html).

Motor	R Ohm	Weight g	Pmec mW	Pel mW
Mk04S-10	12.1	0.46	134	507
Mk04-10	14.6	0.66	149	420
Mk04L-10	14.9	0.79	121	411
Mk04S-24	32.1	0.46	58	190
Mk04-40	43.2	0.66	46	141
Mk04L-40	43.8	0.79	43	140
Mk06S-10	12.5	1.18	191	490
Mk06-10	12.1	1.32	183	507
Mk06L-10	11.3	1.63	261	542
Mk06S-35	34.3	1.18	64	178
Mk06-24	28.9	1.32	80	211
Mk06-35	35.4	1.32	66	173
Mk06L-35	38.0	1.63	87	161
Mk07-10	10.3	2.78	238	595
Minimotor 0615-1,5S	5.0	2.03	498	1225
Portescap 08GS107.1	13.0	3.88	371	472
M20VA 8Z130	5.9	3.9	341	1032

Table 1. Caractéristiques de quelques moteurs à 3.5V, pour leur puissance maximale

Les paramètres importants, faciles à mesurer, sont le courant à vide I_0 , la vitesse de rotation à vide N_0 , le courant rotor bloqué I_s le couple bloqué M_s . La résistance de bobine et la constante de couple k résultent de ces mesures. La puissance et le rendement dépendent essentiellement de la tension et de la charge, c'est-à-dire du diamètre de l'hélice.

Le maximum de puissance est atteint pour une vitesse de rotation moitié de la vitesse à vide, ce qui correspond aussi à un couple qui est la moitié du couple bloqué.

Le rendement maximum est atteint pour une vitesse de rotation un peu plus élevée, mais il ne nous intéresse pas. Nous recherchons une traction maximale de l'hélice, et comme on le verra plus loin, cela correspond à une vitesse de rotation

plus faible que celle donnant la puissance maximale.

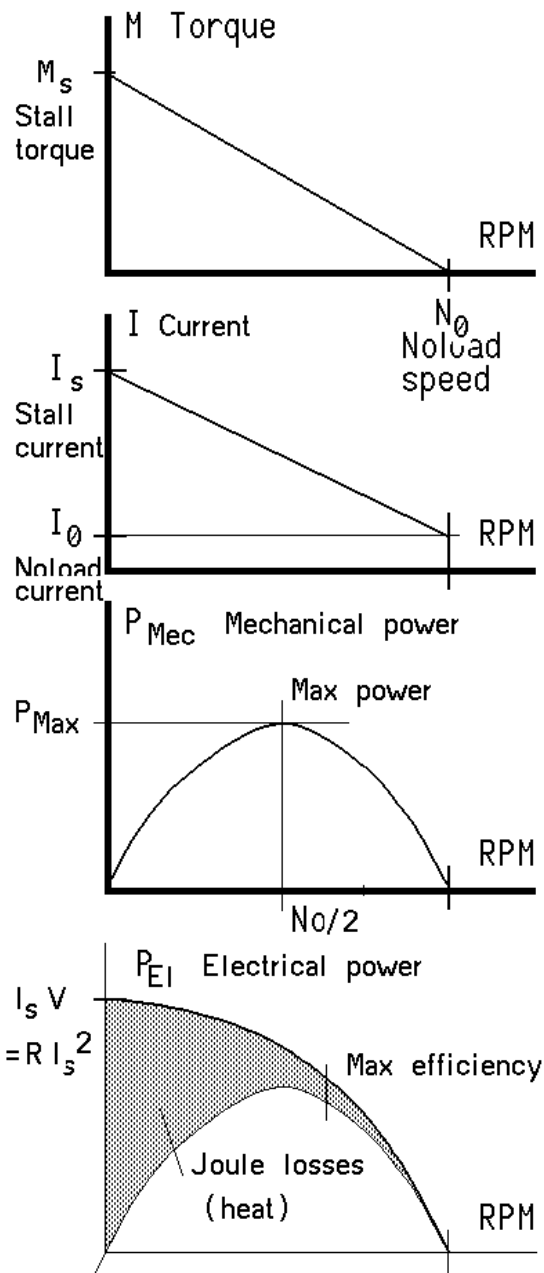


Figure 1. Caractéristiques d'un moteur continu

Un bon moteur a un courant à vide très faible ; les moteurs pager miniatures ont toutefois un courant I_0 relativement important, 10 à 20% du courant court-circuit I_s . S'ils ont trop chauffé, ce courant augmente, d'où un premier critère d'élimination des mauvais moteurs.

Le second critère permet de déterminer si l'hélice utilise au mieux la puissance du moteur (indépendamment du fait que cela soit une bonne ou mauvaise hélice). Le

courant lorsque l'hélice tourne doit être 50 à 70% la valeur du courant bloqué. Si c'est 70%, l'hélice est un peu trop grande et le moteur va vider les accus plus rapidement, mais la force de traction peut être maximale (figure 2)

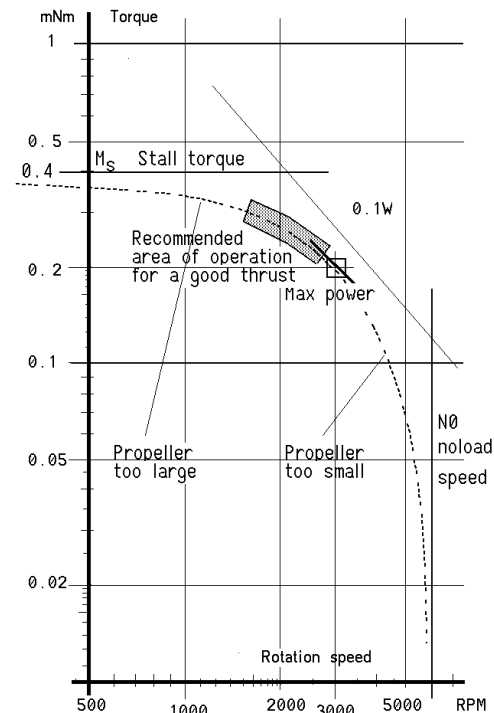


Figure 2. Caractéristiques couple/vitesse d'un moteur en échelle logarithmique

4. Réducteurs

Comme cela sera montré plus loin, un réducteur est essentiel pour permettre une hélice plus grande donnant plus de force de traction. Nos mesures sur des réducteurs avec palier laiton sur acier montrent un rendement acceptable (figure 3), puisque les puissances résultantes sont alignées sur une droite de pente -1 , aux erreurs de mesure près.

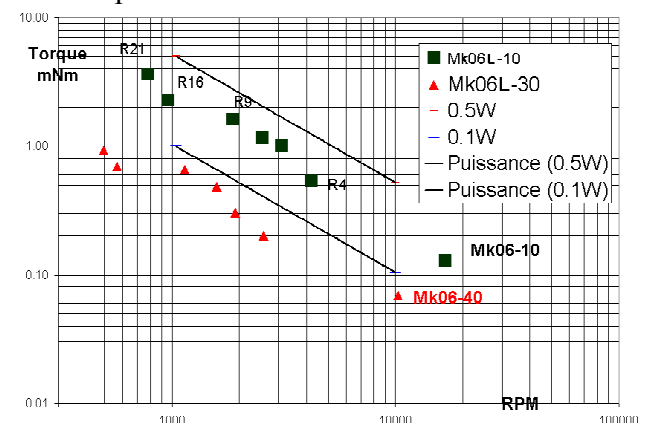


Figure 3. Couple à puissance maximale, en fonction de la vitesse de rotation correspondante, avec différents réducteurs

5. Note sur les échelles logarithmiques

Les figures précédentes utilisent des échelles logarithmiques, beaucoup plus efficaces pour ce qui nous intéresse. Non seulement elles couvrent des gammes de valeurs très grandes, mais les relations de la forme $y = x^k$ sont représentées par des droites. En particulier, l'hyperbole à puissance constante $P = k * \text{couple} * \text{vitesse rotation}$ est représentée par une droite de pente -1 (si la vitesse est divisée par 10, le couple doit être multiplié par 10 pour la même puissance).

6. Hélice

Nous avons mesuré quantités d'hélices commerciales ou construites en balsa www.didel.com/slow/helices/BalsaProp.doc.

Ces hélices ont été mesurées avec un bon moteur pour déterminer leur force de traction en fonction de la vitesse de rotation. Comme déjà expliqué dans les CERVIA de juin 2002 et juin 2001, la traction est proportionnelle au carré de la vitesse de rotation, tant que l'hélice ne se

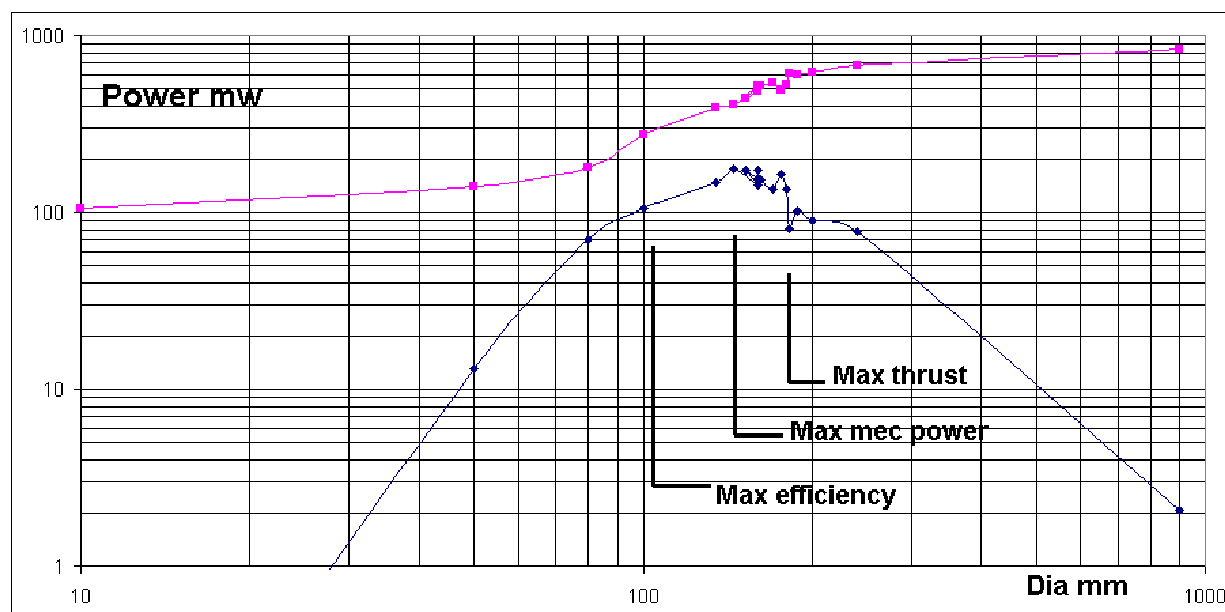
déforme pas. Une hélice de 0.5g tire facilement 20 grammes.

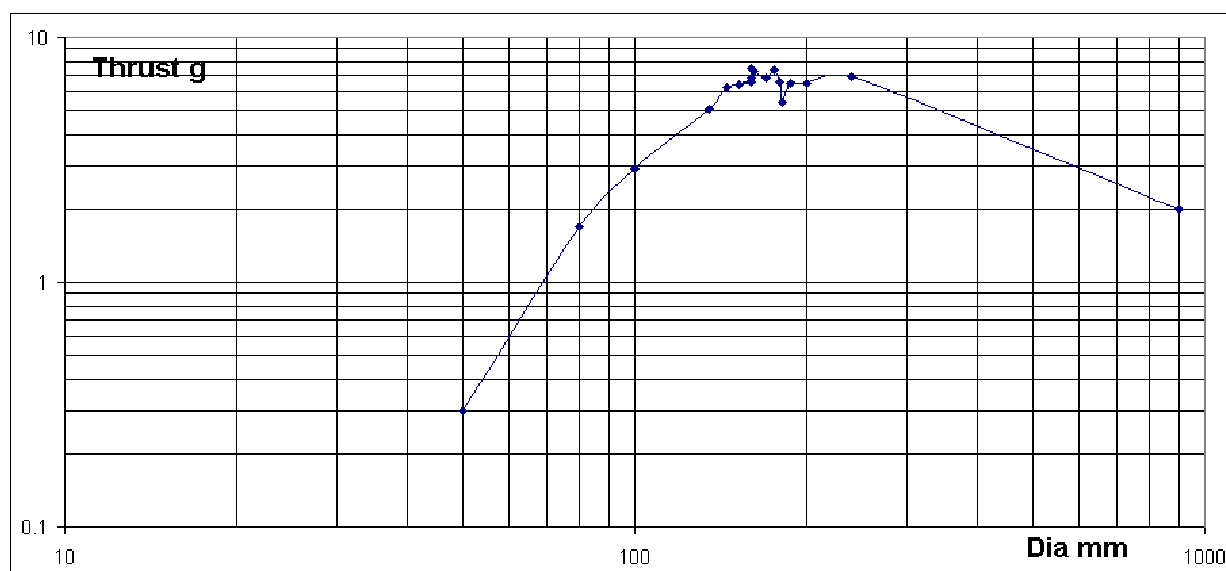
Le problème qui nous intéresse est pour un moteur donné, choisi en fonction de contraintes de poids et consommation de courant, avec un réducteur choisi en fonction de la force de traction espérée, quel diamètre choisir pour l'hélice, et quelle force de traction en résultera.

La figure 4 résulte du test de 20 hélices de diamètre variable, et pas parfaitement homothétiques, d'où d'importantes fluctuations dans leur efficacité. La puissance mécanique, mesurée d'après le couple et la vitesse de rotation, passe par le maximum habituel. La puissance électrique augmente pour être maximale quand le moteur est bloqué, ou tourne très lentement avec une hélice trop grande. La force de traction est donnée dans la figure 5; elle a un maximum peu prononcé pour une vitesse de rotation un peu plus faible que pour la puissance maximale.

Figure 4. Puissance électrique (courbe du haut) et mécanique en fonction du diamètre de l'hélice. Moteur Mk04-10 et réducteur 1:9

Figure 5. (page suivante) Force de traction en fonction du diamètre de l'hélice. Moteur Mk04-10 et réducteur 1:9





A partir de nombreuses autres mesures, et en interpolant au mieux, on peut obtenir la relation entre force de traction, diamètre de l'hélice, rapport de réduction et puissance du moteur.

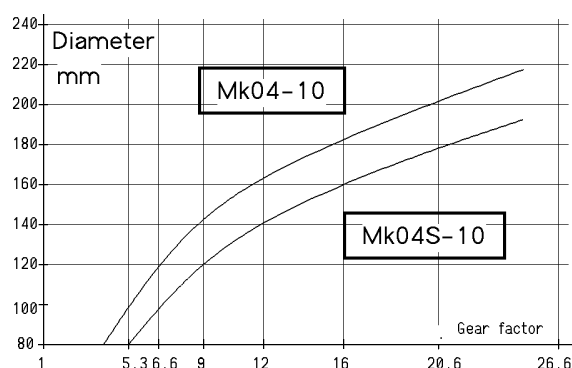


Figure 6. Diamètre optimal de l'hélice

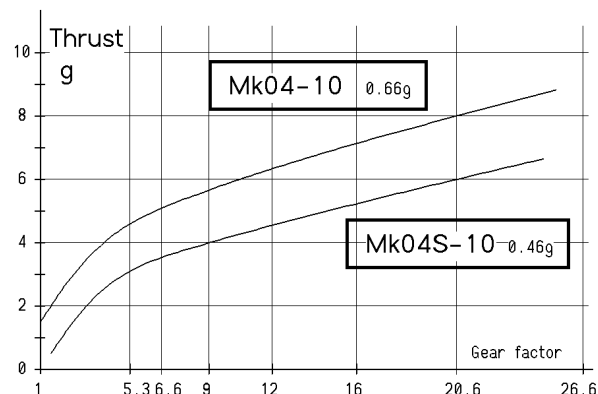


Figure 7. Force de traction résultante

Pour deux moteurs utilisés pour des avions de 6-12 grammes, les figures 6 et 7 donnent le diamètre optimal de l'hélice et la force de traction en fonction du rapport

de réduction. La figure 8 résume pour différents moteurs la force de traction que l'on peut espérer. Pour plus de détails, consultez www.didel.com/slow/propellers/PropStudy.doc

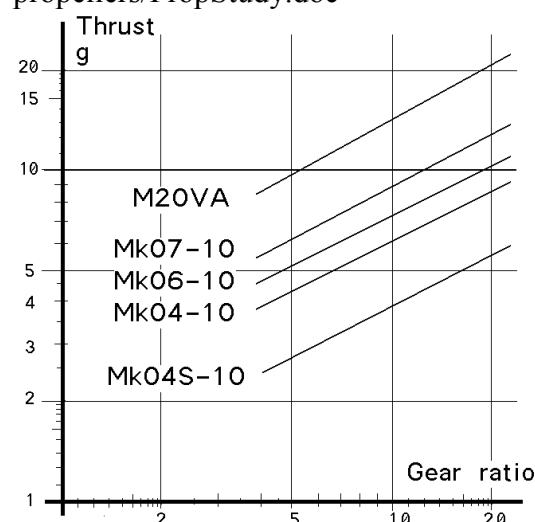


Figure 8. Force de traction avec différents moteurs, en fonction du rapport de réduction, à 3.5V

En conclusion, les moteurs 4 et 6 mm avec une résistance de 10 Ohm sont bien adaptés pour les accu Li-Poly. Les moteurs avec une résistance plus faible ont naturellement plus de puissance, mais ont une durée de vie critique et vident les accu trop rapidement.

Cet article est le dernier de notre série.

J.D. Nicoud

www.didel.com