

Microavions électriques – (4) Electronique

Un modèle ultraléger de salle (ULS de 10 à 20 grammes) ne peut pas utiliser les modules actuellement disponibles pour les modèles télécommandés. Il y a des problèmes à tous les niveaux et cet article se concentre sur ce qui est le plus facile à développer: le microcontrôleur et son électronique.

De façon générale, dans un ULS comme dans tout modèle télécommandé, le microcontrôleur reçoit des ordres sous forme d'une séquence d'impulsions de longueur variable et génère des signaux continus ou pulsés pour commander les actionneurs et le moteur de propulsion. Ces différents éléments ont naturellement des exigences différentes pour la tension d'alimentation. Le microcontrôleur est heureusement le plus tolérant (3 à 6V).

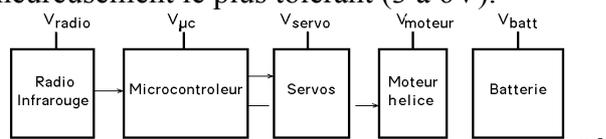
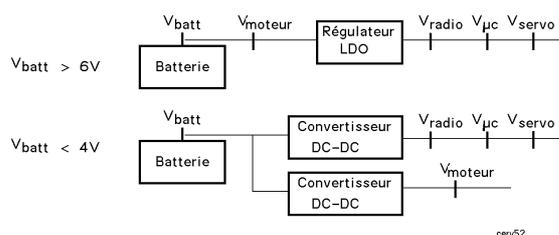


Schéma-bloc d'un ensemble de télécommande

Alimentation

La batterie est au coeur du problème des ULS. Elle doit débiter (résistance interne faible) et être légère. Actuellement, seuls les accus NiMH GP7AAAM (1.2V, 70 mA, 2.4g) entrent en considération. Les modèles indoor et park fliers utilisent des blocs de 7.2V ou plus pour avoir assez de puissance en survoltant les moteurs. Il faut alors abaisser la tension pour le processeur et les servos, ce qui se fait avec un circuit régulateur LDO (Low drop-out). A noter toutefois que si les servos consomment beaucoup, il vaut mieux les alimenter par une prise intermédiaire sur l'accu, ou par un convertisseur DC-DC.



Variantes pour l'alimentation

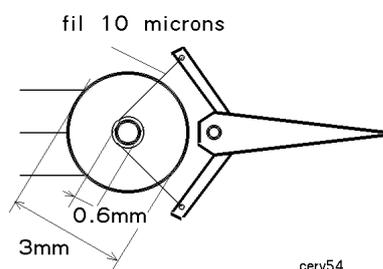
Un régulateur LDO pèse 0.15g. Un convertisseur est plus lourd (0.6g environ), car il y a une bobine et plusieurs autres composants que l'on doit monter sur un circuit imprimé.

Actuateurs

Les fonctions que l'on attend d'un actionneur sont la propulsion via une hélice ou des ailes battantes et la commande des gouvernes, ce qui demande un actionneur n'effectuant qu'une fraction de tour, ou un déplacement linéaire.

Les technologies à disposition sont les moteurs à courant continu, sans balais, pas-à-pas, piezo, avec des réducteurs de vitesse appropriés, ou les BIRDS. Il y a encore des solutions qui ne conviennent que pour des petits déplacements et sont très peu efficaces: muscle-wire en SMA (alliages à mémoire de forme), empilage de piezo. On rêvera encore longtemps du muscle animal, qui se contracte de 30% de sa longueur.

Les petits moteurs de pager consomment 100 à 150 mA et ils tournent vite; une vis sans fin et un asservissement en position est nécessaire: on ne peut guère faire mieux que le Microservo de WesTechnik (2.4g). Le moteur smooovy de 3mm s'utilise en moteur pas à pas et permet la plus légère réalisation, utilisée par Matthew Keenon d'Aerovironnment, en faisant passer le fil du palonier directement sur l'axe (0.3g). Les moteurs pas à pas horlogers bidirectionnels sont géniaux, mais pas obtenables (voir plus loin).



Solution « Keenon » pour l'entraînement direct sur l'axe d'un smooovy

Toutes les technologies, sauf le moteur horloger, consomment inutilement trop de courant lors de l'asservissement.

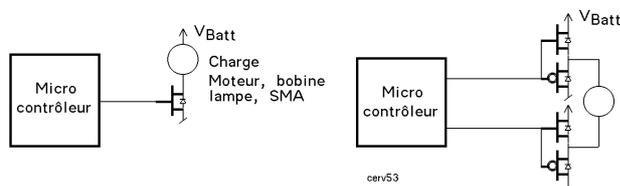
Un spécialiste en métallurgie SMA devrait pouvoir préparer un ressort de résistance assez élevée pour actionner un gouvernail; mais il n'aura que deux positions. Enfin, le piezo doit être commandé par une tension supérieure à 30V et a besoin d'un amplificateur de mouvement.

L'oscillateur 4 MHz est inclus dans les 12Cxxx et 16F62x, ce qui économise un réseau R/C qui ne pèse quasi rien, ou un résonateur de 0.07g qui permet des fréquences jusqu'à 20 MHz que l'on évite pour ne pas augmenter la puissance consommée.

Pour un ensemble moteur-hélice pour un avion de moins de 40 grammes, les solutions possibles et les analyses de rendement viendront dans un prochain article.

Ampli de puissance

La commande d'un moteur ou d'une bobine BIRD (Cahier Cervia No 21, Mars 2001) se fait par un ou 4 transistors selon que la commande est uni ou bi-directionnelle. Les transistors Si3442 et Si3441, ou d'autres modèles équivalents, pèsent moins de 0.01 g et ont une résistance de 0.1 Ohm, un courant commandé jusqu'à 1 A et une tension de commande de 2.5V. Les circuits en pont contenant les 4 transistors ont des exigences en tension élevées (4.5V) et n'apportent aucun gain en poids. Dans les deux cas, la commande peut être pulsée (PWM Pulse Width Modulation) pour donner un effet proportionnel au rapport cyclique des impulsions.



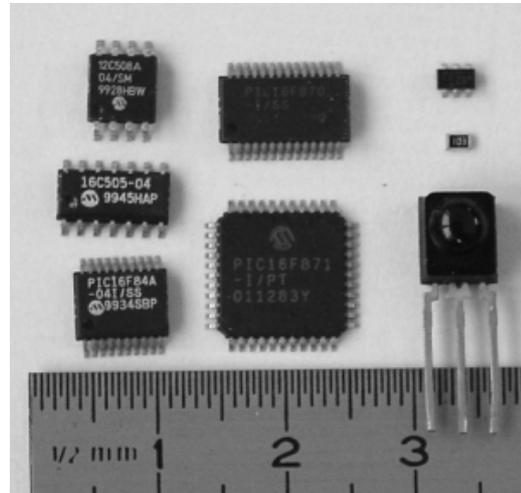
Transistors pour commande uni- et bi-directionnelle

Contrôleur

Le rôle du contrôleur est de décoder les impulsions transmises par le module radio ou par le circuit infrarouge, et générer les signaux de commande en tout ou rien ou proportionnels.

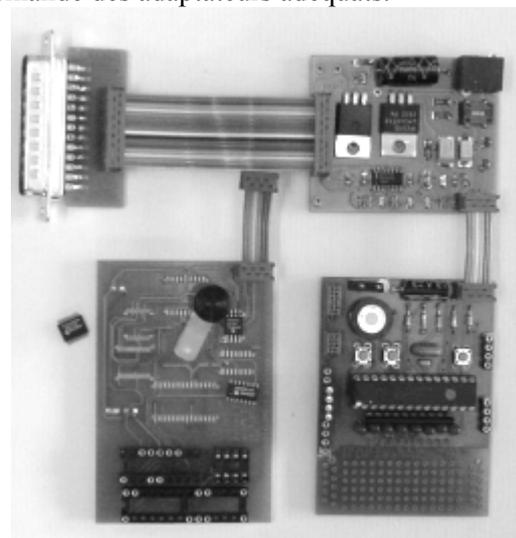
Le processeur le plus fréquemment utilisé, car il est facilement disponible et existe dans une large gamme, est le PIC de Microchip. On peut hésiter entre les 4 boîtiers de la photo:

Pic 12C5xx	8 broches	6 E/S	0.13g
Pic 12C505	14 broches	12 E/S	0.13g
Pic 16F84	20 broches	13 E/S	0.16g
Pic 16F628	20 broches	16 E/S	0.16g
Pic 16F870	28 broches	22 E/S	0.22g
Pic 16F871	40 broches	27 E/S	0.27g



Boîtiers de PICs, résistance et transistor

Programmer un PIC a deux significations: il faut d'une part écrire un programme en assembleur et sa traduction en binaire, ce qui se fait sur un PC avec l'environnement de Microchip et les notations abracadabrantes du PIC, soit avec SmileNG et les notations CALM faciles à mémoriser. Il faut ensuite programmer les cellules EEPROM de la mémoire flash du PIC pour charger le programme, qui restera jusqu'à un nouveau chargement. Cette programmation se fait avec le programmeur PicStart de Microchip, le PicGénial ou une des innombrables solution bricolées proposées sur le Web. La programmation des boîtiers miniatures demande des adaptateurs adéquats.



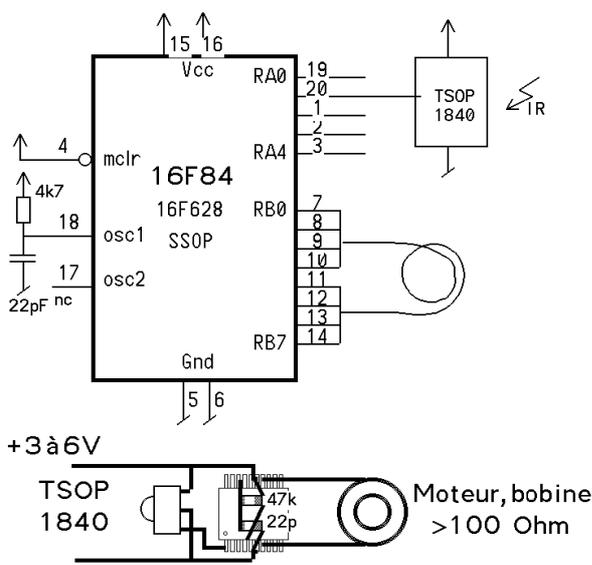
PicGénial et adaptateur de socles
<http://www.didel.com/PicgF.html>

La difficulté dans l'écriture des programmes est le respect des contraintes temps réel: il faut surveiller l'entrée télécommande (échantillonnage toutes les 50 microsecondes) tout en générant les séquences pour le moteur pas-à-pas ou le PWM. Les instructions du PIC sont efficaces, mais il faut se familiariser avec quelques jolies astuces de programmation. La documentation se trouve dans des livres en français (Tavernier par exemple), qui sont des adaptations de la doc de Microchip (www.microchip.com), et sur le Web: le cours suivant très clair pour celui qui ne connaît pas les bases de l'arithmétique binaire (http://www.von-info.ch/PIC/bigonoff_01.htm) et la documentation du PicGénial présente progressivement tous les concepts importants (<http://www.didel.com/picg/>).

Le logiciel qui pulse la bobine tient compte d'un décompteur qui définit la période, et d'un décompteur qui définit la durée active. Le décomptage se fait toutes les 50 microsecondes, et il suffit de 8 ou 16 valeurs différentes, en réponse à la valeur donnée par le décodage de la télécommande. Une table de correspondance permet de linéariser ou au contraire adapter au mieux la sensibilité.

Exemple 1: commande d'un servo BIRD

Les bobines BIRD ont une résistance qui dépend du couple que l'on veut obtenir. Si la résistance est supérieure à 100 Ohm, on peut la connecter directement à plusieurs sorties du PIC, câblées en parallèle. Le logiciel doit naturellement donner le même état logique aux sorties liées entre elles. Le portB d'un PIC 16F84 convient bien pour cela.

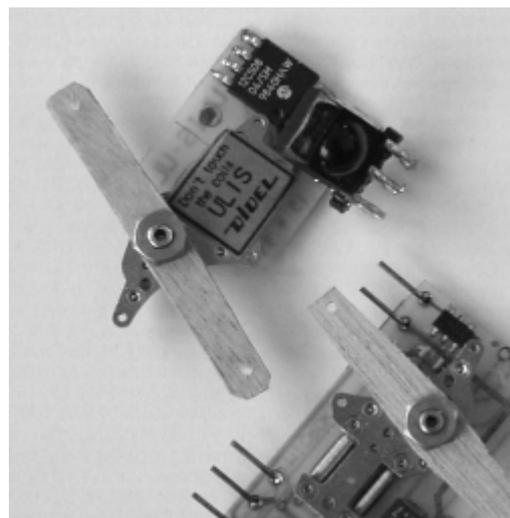
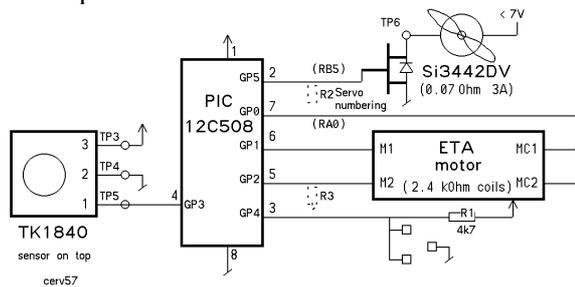


cerv55

En câblant les 4 entrées paires et impaires ensemble, on peut encore reprogrammer le PIC en déconnectant la bobine. Les amplis de sortie des PICs ont une résistance équivalente de 30 Ohm vers la masse et 60 Ohm vers l'alimentation. Avec 4 amplis en parallèle, la résistance équivalente est de $(30+60)/4 = 22$ Ohm. Si la charge est de 100 Ohm, cette résistance interne en série a comme conséquence que la charge ne verra que $100/(100+22) = 82\%$ de la tension d'alimentation.

Exemple 2: moteur pas-à-pas horloger

ETA, le fabricant des swatch, utilise des moteurs horlogers bidirectionnels qui contiennent le réducteur. Quelques moteurs ont pu être obtenus en 1998 et on peut espérer que de tels moteurs réapparaîtront une fois sur le marché. Le servo que l'on peut construire autour de ce moteur pèse 0.8g et consomme 5 mA. Son défaut est que si le palonnier est fixé sur l'aiguille des heures, les réactions sont un peu lentes (1 tour en 3 secondes). Sur l'aiguille des minutes, le couple est trop faible.



Récepteur IR et servo réalisé avec un moteur horloger (1.9g)