

British Jaeger

Compte-tours électronique destiné à remplacer le compte-tours mécanique d'une MG A.



Fabrication « british Jaeger », cadran de 90mm

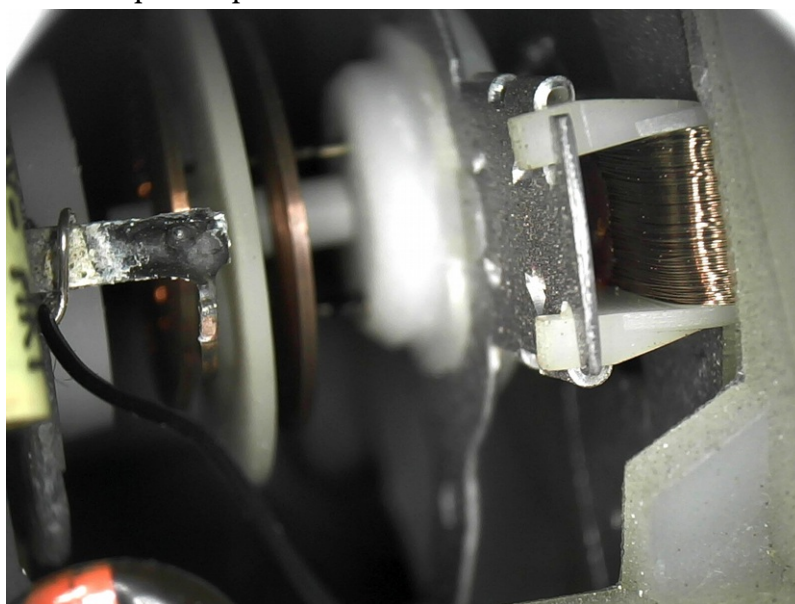


Le propriétaire de la MG (Bruno P, barbu et joueur de tuba) se plaint d'un affichage visiblement faux (normal pour un musicien que d'entendre un régime différent pour un même affichage ou de voir le même affichage en entendant des régimes différents) et de sauts d'aiguille

Le circuit imprimé est fait par Veglia (gravé sur le circuit imprimé)

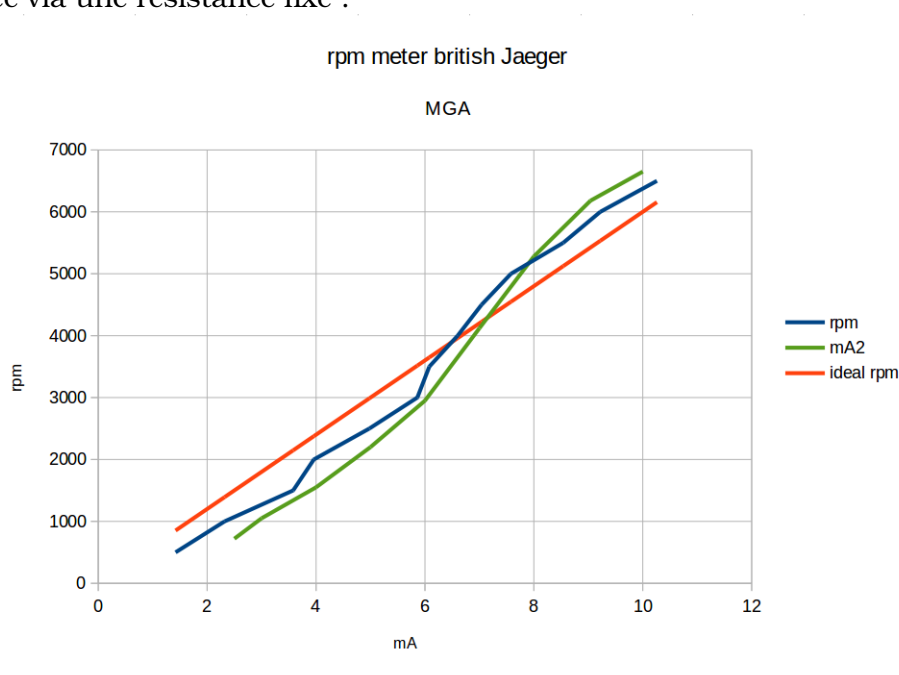


Le galvanomètre a une course de 270° et ne présente pas d'anomalie visible : ressorts spiraux non déformés, spires non jointives et ne touchant pas de partie fixe.



Vérification du galvanomètre

après détermination de sa gamme (10 mA pleine échelle), un courant est injecté depuis une alimentation régulée via une résistance fixe :



Deux types de mesures ont été réalisées : en ajustant le courant pour avoir une lecture exacte en rpm (courbe bleue « rpm »), puis en injectant un courant progressif avec une valeur juste de mA (courbe verte « mA2 »), ceci en progressant toujours dans le même sens. L'ajustement des rpm a nécessité des variations autour du point recherché (assez représentatives du fonctionnement normal du moteur), alors que l'approche par ajustement de courant s'est faite sans retour arrière, et a fourni une courbe bien plus régulière. Il y a donc mise en évidence d'un hystérésis important.

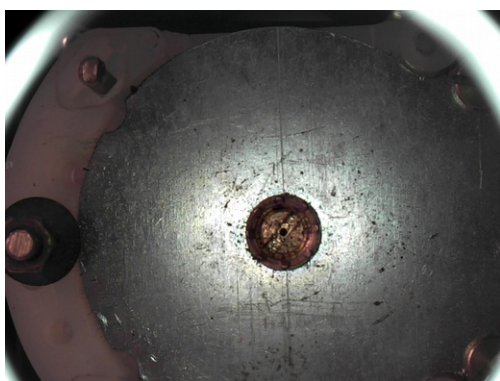
Le galvanomètre présente une forte non-linéarité et un hystérésis important (7mA injectés donnent 4120 rpm en montant et 5000 rpm en baissant le courant. On peut donc légitimement supposer une inhomogénéité du champ magnétique (non-linéarité) et des frictions parasites (hystérésis). L'indication varie aussi de près de 1000 rpm si le compte-tours est placé verticalement ou horizontalement ; le

cadran ne porte pas l'indication normalisée pour indiquer sa position de fonctionnement. L'aiguille indicatrice est elle-même équilibrée à l'intérieur de son moyeu, mais le résultat global des deux équilibrages est mauvais.

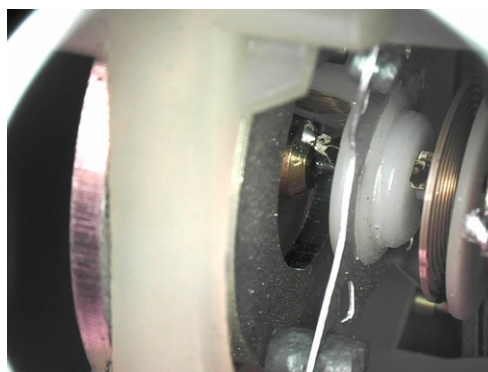
En bref, le galva est de bas de gamme et/ou a été maltraité. Pas d'indication de date de fabrication ni de date/code sur les composants. L'erreur est de -12 % à +100 % !!

L'axe est monté sur bagues bronze d'un côté (sans doute par le fabricant de l'équipement mobile) et l'autre côté dans un palier complexe en plastique, par le fabricant de l'électronique. Le passage au travers du plastique se fait par un trou cylindrique assez long (environ 10mm pour un diamètre d'axe de 0,85mm). Cette traversée peut être devenue le siège de frictions avec la présence, sur une grande surface, de restes de lubrifiants, qui ont figé avec leur vieillissement. Ce pourrait être une explication de l'hystérésis, avant de parler de déformations de l'axe.

La non-linéarité est sans doute plus du fait de la technologie de bobine mobile, et de la répartition du champ magnétique.



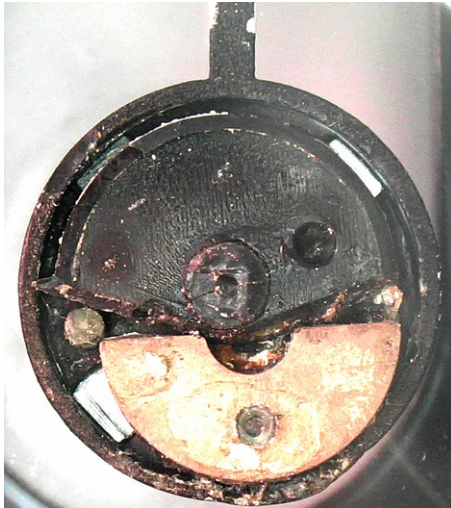
Axe bronze de l'équipage mobile



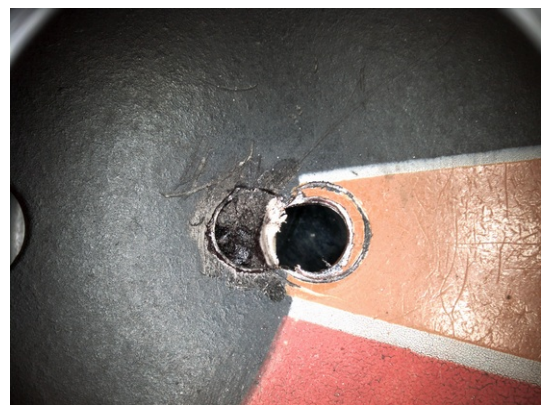
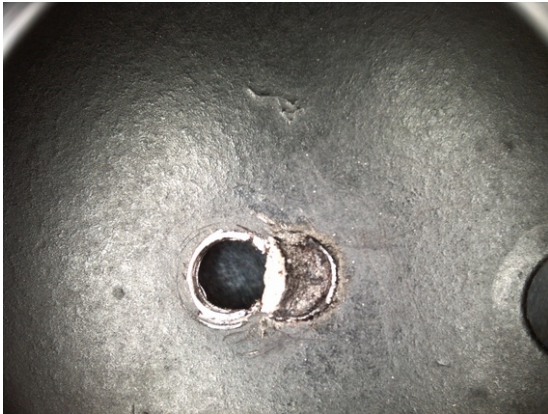
palier « nylon » côté aiguille

L'indication différente selon la position du galvanomètre est un problème d'équilibrage de l'ensemble équipage mobile – aiguille. L'équipage mobile est certainement équilibré par son propre fabricant avant livraison à Jaeger, et l'aiguille est équilibrée par une masselotte métallique cuivreuse placée dans le moyeu, accompagnée par trois lames de métal gris radiales, ces lames sont placées de manière à augmenter le déséquilibre en faveur de l'aiguille. Il y a aussi une masselotte plastique de l'autre côté, augmentant aussi le déséquilibre en faveur de l'aiguille. La masselotte métallique est curieusement excentrée et le résultat est un couple parasite de l'ordre du cm.g, avec une position de repos à 30° de la verticale basse. Le moyeu possède une bague de serrage sur l'axe qui est fendue, permettant plusieurs insertions-extractions sans perte de serrage.

Équilibrage bâclé de l'aiguille sur une base bien conçue !

moyeu de l'aiguille Φ 17mm

En regardant de plus près le cadran du compte-tours, on constate qu'il a été bidouillé : les trous de fixation d'origine ont été rebouchés et de nouveaux trous percés pour pouvoir installer un galvanomètre Veglia sur un compte-tours British Jeager !



La peinture du verso est grattée, pourquoi ?

Solutions envisageables :

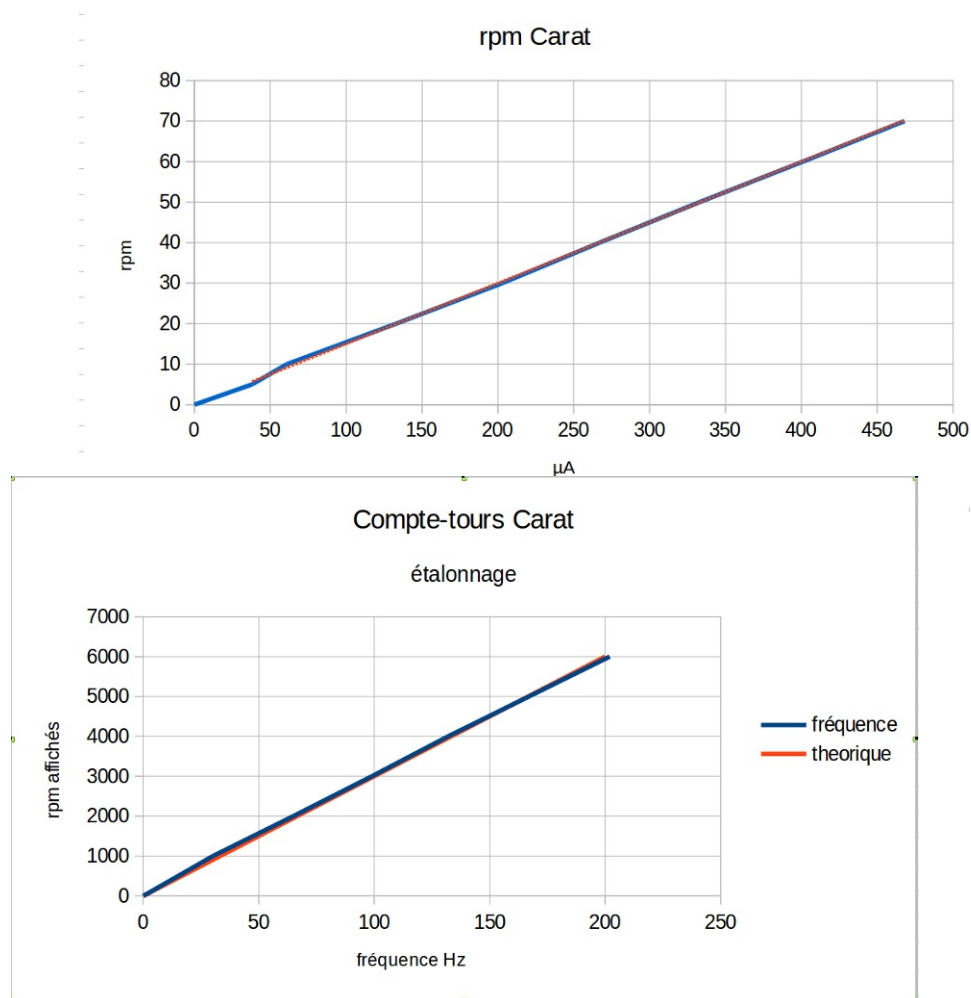
- Utilisation du galva d'un autre compte-tours, avec son aiguille si l'axe a un diamètre différent.
- Utilisation de micro-moteur pas-à-pas (du type afficheur de voiture moderne)
- Utilisation d'un servo-moteur, mais nécessite une amplification mécanique du mouvement, limité normalement à 180°.

Je penche vers le moteur pas-à-pas, cette solution sera facilement transformable en compteur de vitesse ou tout autre afficheur : ampèremètre, voltmètre, thermomètre, niveau essence ou autre. Le totalisateur de kilomètres sera fait par un actionneur séparé. La liaison à la roue sera faite par câble électrique, logé dans la gaine d'origine. Le rapport de division, casse-tête des restaurateurs, car il est très variable et les pièces de réparation sont rarissimes, cela devient une simple constante à programmer dans le microcontrôleur AT tiny13 ou arduino nano qui commande le p-a-p.

Le moteur pas-à-pas permet aussi facilement un comportement similaire à l'odomètre Smiths « Chronometric » et est bien plus facile à installer que de rechercher des pièces d'horlogerie introuvables.

Compte-tours Carat, monté temporairement pendant la réfection du compte tours d' « origine » :

- bonne linéarité
- pas d'hystérésis notable
- erreur d'équilibrage vertical/horizontal très faible (inférieure à 2 %)

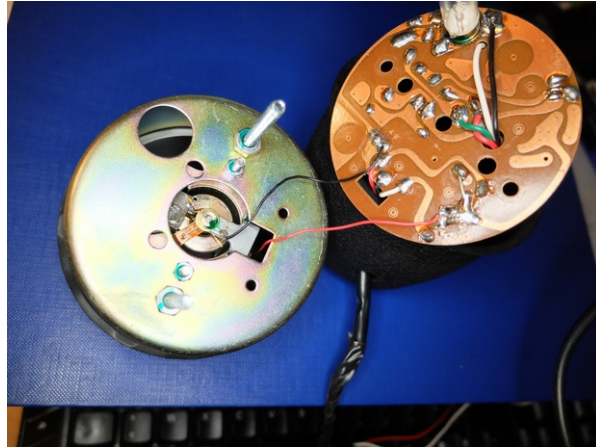


Mesure en position verticale de l'écran.

Le compte-tours Carat offre une très bonne courbe d'étalonnage, due à sa correction non-linéaire des gravures de l'affichage.

Galvanomètre vingt fois plus sensible que le Jaeger : 500μA pour 6000rpm, le galva est protégé par un capot spécifique.

Un bloc de plastique (d'origine probable du moyeu de l'indicateur ajustable de régime max) se promène librement dans le boîtier du galva ! Éliminé



La

La bonne linéarité apparente est en fait liée à une répartition non linéaire du marquage : l'intervalle entre 0 et 1000rpm n'est pas le même qu'entre 1000 et 2000rpm ni qu'entre 3000 et 4000rpm ! L'intervalle 0 – 1000rpm est toujours faux dans les galvanomètres : il faut bien que l'aiguille revienne à zéro avec une force non nulle.

Cela procède d'une bonne maîtrise et industrialisation du produit.

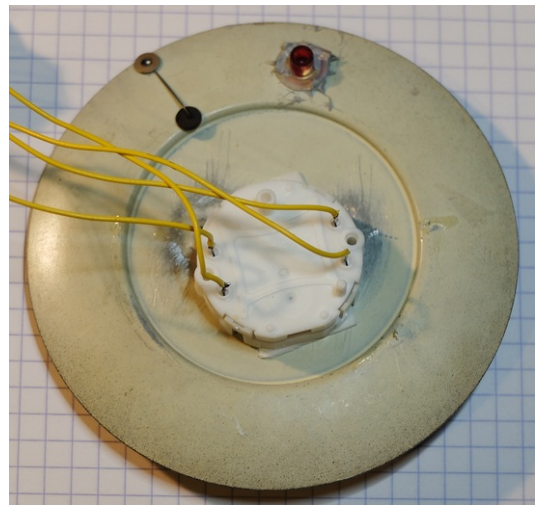
Installation d'un moteur d'aiguille sur le cadran MG-A

Pose d'un moteur pas-à-pas (stepper motor) utilisé par Chevrolet sur ses voitures actuelles. Conçu par Switec (branche industrielle de Swatch), la licence est depuis vendue à un industriel asiatique (et X25 devient X27).

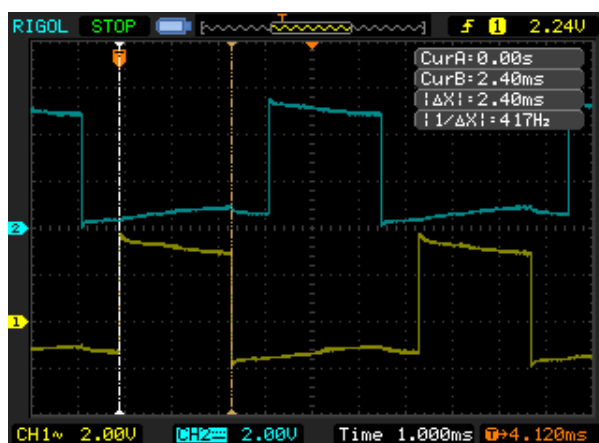
Il est de technologie bipolaire à deux bobines avec réducteur (1/180) à engrenages, fonctionnant directement avec les 5V d'un microcontrôleur.

Vu sa masse de 7g, il est monté par adhésif double face (pour le positionnement) et époxy pour la tenue à long terme. Je n'ai surtout pas utilisé de vis, le fabricant interdisant l'écrasement par serrage du boîtier, il autorise seulement deux vis autotaraudeuses sur la face aiguille, mais comme je ne veux pas repercer le cadran, j'ai collé.

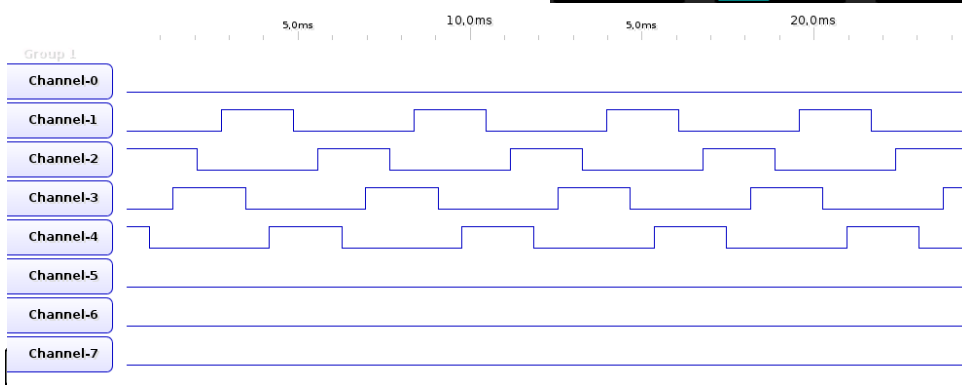
Il accepte les modes wave, full step, et half step.



Les signaux du moteur n'ont pas besoin de clamping à Vcc et à la masse en fonctionnement normal, car il n'y a pas d'instant où les bobines se retrouvent en l'air après avoir été chargées en courant, la prudence recommande toutefois de les monter pour les moments d'allumage et d'extinction où on peut rencontrer ces cas de figure, avec surtensions consécutives.



au scope



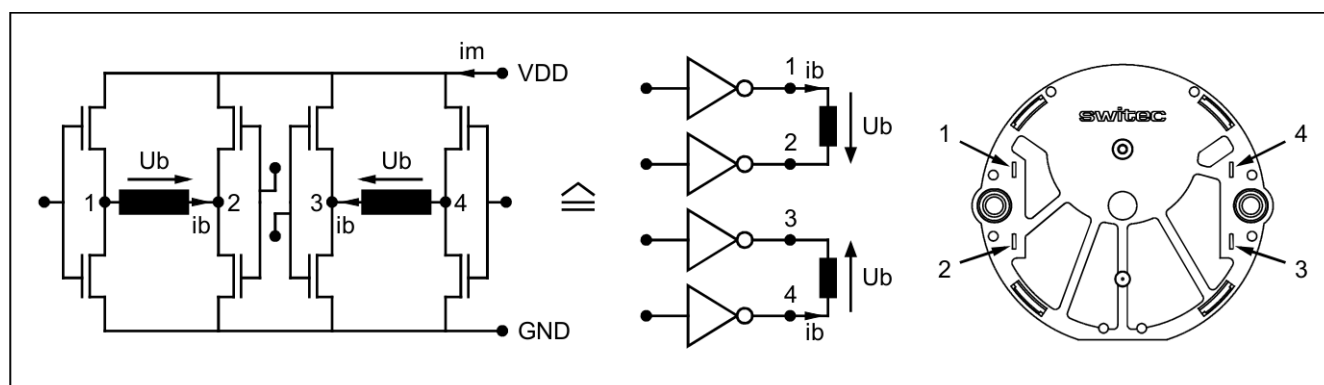
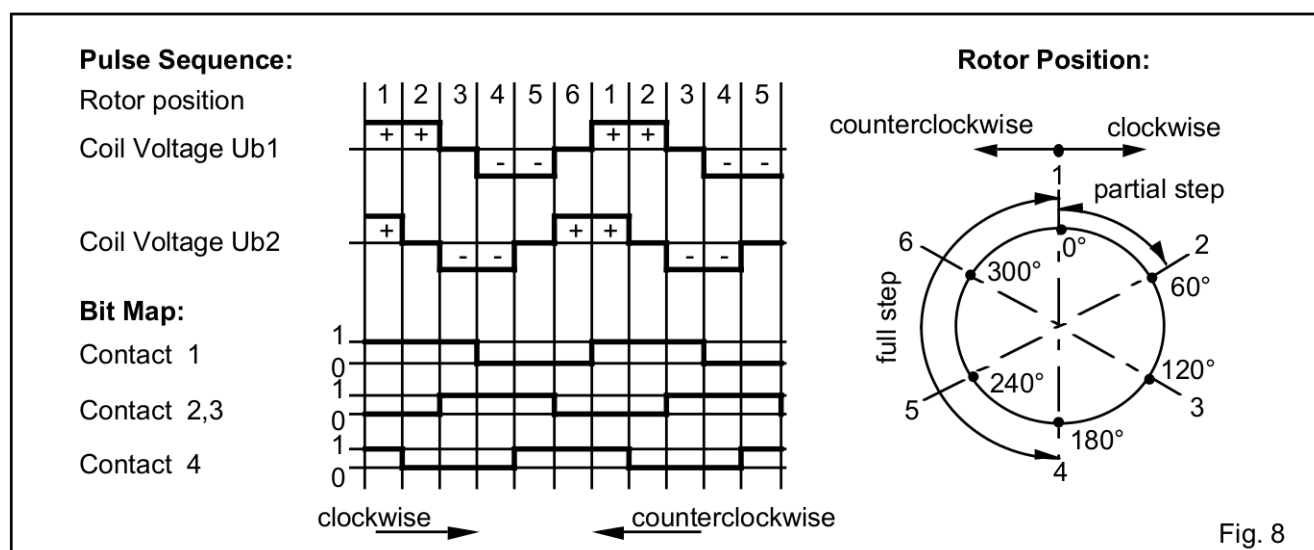
à l'analyseur logique

En connectant les bornes 4 à PC0, 3 à PC1, 2 à PC2, 1 à PC3, le séquençement se fait alors comme suit, avec le séquençement standard (les moteurs pas-à-pas sont bidouillables à l'infini) :

	Wave				Full step				Half step							
Step/ wire	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8
PC0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1
PC1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0
PC2	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
PC3	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0
value	1	4	2	8	5	6	10	9	5	4	6	2	10	8	9	1

Et ça marche bien !

J'ai finalement préféré utiliser le séquençement en sixième de tours, préconisé par le fabricant et plus « naturel » pour un moteur à incrément de 60°. Le full step (3 phases) correspond à un demi-tour :



Attention, ce tableau montre le moteur avec les broches en « top view », le X27-168 a en fait ses broches placées en « bottom view », il y a de plus une représentation inhabituelle des vecteurs, le tout permettant une confusion facile. De plus l'indication de sens est inversée (= vu de l'intérieur moteur) !

Tableau final des phases d'un tour complet (2 steps) en fonction du brochage

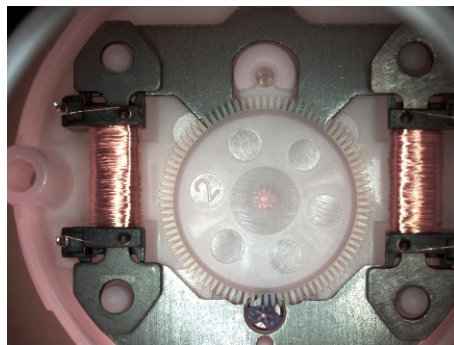
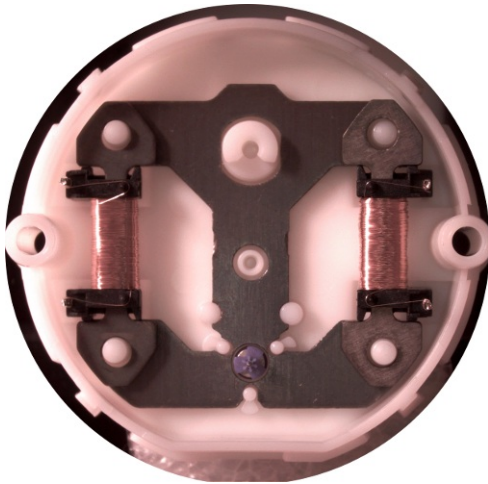
Wire/ step	1	2	3	4	value
1	1	0	0	1	9
2	1	0	0	0	1
3	1	1	1	0	7
4	0	1	1	0	6
5	0	1	1	1	14
6	0	0	0	1	8

Les phases (steps) 1 & 4 ont les deux bobines activées ensemble, il y a donc un couple différent selon les phases.

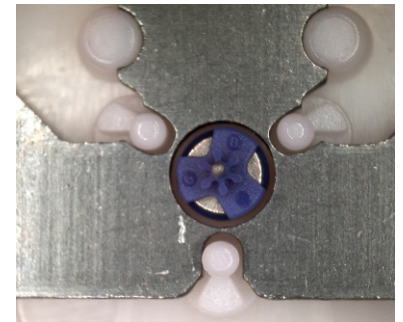
Construction du moteur Switec X27-168 (parfaitement identique au X25, dont j'ai pu obtenir la datasheet)

(le X27-158 est le même, mais ne possède pas de butée en rotation, il est moins facile à trouver, mais la butée peut se meuler assez facilement).

Moteur bipolaire de 30 x 7 mm, masse 7g



engrenage primaire en contact avec le rotor
les dents en contact avec le rotor sont des pétales



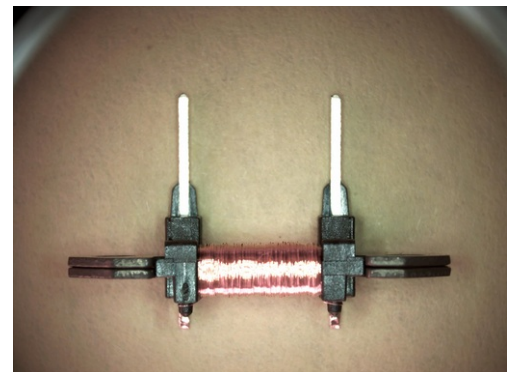
le diamètre du rotor fait à
peine 2 mm



pignon de sortie avec son ergot



saignée en C dans laquelle glisse l'ergot
et lame-ressort d'amortissement d'aiguille



une bobine

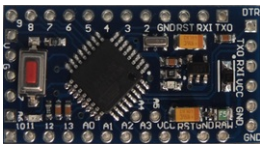
Le moteur est constitué de deux petites bobines placées sur un noyau de 2 tôles à transfo de 0,5 mm d'épaisseur. Les bobines sont plaquées sur un noyau magnétique principal sur une seule tôle de 0,5mm percée d'un trou. Je n'ai évidemment pas osé sortir cette pièce, la paroi entre deux pôles (court-circuit magnétique voulu) faisant une cinquantaine de micron, découpe ultra-précise, certainement au laser. Le premier étage de réduction est constitué par de longs pétales qui s'engrènent dans le rotor, permettant de supporter le blocage de l'axe de sortie (par exemple sur les butées) par déformation, et tolèrent aussi un certain forçage manuel de l'aiguille.

La butée est un petit ergot à 5 mm de l'axe, il est donc plus sujet à imprécisions et rebonds que la butée du cadran MG, à 27mm de l'axe. Le montage de l'aiguille utilisera la butée MG puisqu'il y a une grande course disponible >310° alors que l'afficheur MG n'en utilise que 270°. Montage : placer le moteur à une vingtaine de degrés de sa butée gauche, enduire de colle ou de frein-filet l'axe, puis enfoncez l'aiguille d'affichage près de la butée MG, cela limite les oscillations lors des retours forcés à zéro (= excès d'impulsions de retour, la dernière impulsion se faisant en ralentissant à l'excès les phases élémentaires : fonction zeroapproach). En fait, je fais fonctionner le moteur hors de ses butées internes, et pourrais donc parfaitement utiliser le X27-158. Subsiste alors le problème de l'arrêt sur une butée qui ne se trouve pas forcément (et même plutôt rarement) exactement à l'arrêt en fin de tour ou demi-tour moteur, à voir.

Ce moteur me semble très bien conçu et permet un assemblage manuel facile, sauf le noyau magnétique du rotor, sans doute posé par machine. J'ai même pu démonter et remonter facilement et plusieurs fois l'exemplaire photographié, sans altérer son fonctionnement final.

A noter que, une fois Switec recherché par Gogol, l'explorateur internet se verrouille sur des sites américains dont les frais de transport sont impressionnants, il faut passer après par Linux et des moteurs de recherche non Gogol pour obtenir de meilleurs prix, et des frais de transport raisonnables ou nuls.

Le µC est un Atmel ATmega328p monté sur une carte arduino nano pro.



Taille réelle

Un exemple de programme de test :

```
/*
 * stepper motor bipolar tester for tacho gauge brute force !
 * Arduino pro nano
 *
 * 1 = A0 (PC0)
 * 2 = A1 (PC1)
 * 3 = A2 (PC2)
 * 4 = A3 (PC3)
 *
 * (CC) Zibuth27 NC SA BY, 2015
 * 2015/04/22
 */

#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>

#define DELAI 950
#define DELAIB 20

volatile uint16_t steps, laststep=0;

void stepup(steps)
// brute force method, just for easy understanding, final will use indexed variables
{
```

```

for(uint16_t i=0;i<steps;i++)
{
    PORTC = 9;
    _delay_us(DELAI);
    PORTC = 1;
    _delay_us(DELAI);
    PORTC = 7;
    _delay_us(DELAI);
    PORTC = 6;
    _delay_us(DELAI);
    PORTC = 14;
    _delay_us(DELAI);
    PORTC = 8;
    _delay_us(DELAI);

    laststep ++;
}

}

void stepdn(steps)
{
    for(uint16_t i=0;i<steps;i++)
    {
        PORTC = 8;
        _delay_us(DELAI);
        PORTC = 14;
        _delay_us(DELAI);
        PORTC = 6;
        _delay_us(DELAI);
        PORTC = 7;
        _delay_us(DELAI);
        PORTC = 1;
        _delay_us(DELAI);
        PORTC = 9;
        _delay_us(DELAI);

        laststep --;
    }
}

void zeroapproach() // 4 slow back steps
{
    for(uint8_t i=0;i<3;i++)
    {
        _delay_ms(DELAIB);
        PORTC = 8;
        _delay_ms(DELAIB);
        PORTC = 14;
        _delay_ms(DELAIB);
        PORTC = 6;
        _delay_ms(DELAIB);
        PORTC = 7;
        _delay_ms(DELAIB);
        PORTC = 1;
        _delay_ms(DELAIB);
        PORTC = 9;

        _delay_ms(DELAIB);
    }
    laststep=0;
}

void main()
{
    // variables
    uint8_t i,j;

    // ports
    DDRC = 0x0F; // output
    stepdn(170); // back to hard limit

    stepup(158); // up to top limit
}

```

```

    _delay_ms(100);

    stepdn(158);          // back to zero
    _delay_ms(300);
    zeroapproach();      // zero confirm
    _delay_ms(2000);

while (1)                // endless
{
    stepup(6);           // first 500rpm (dial non-linearity)
    _delay_ms(3000);

    stepup(10);          // up to 1000 rpm
    _delay_ms(3000);
    stepup(22);          // up to 2000rpm
    _delay_ms(3000);
    stepup(21);          // up to 3000rpm
    _delay_ms(3000);
    stepup(21);          // up to 4000rpm
    _delay_ms(3000);
    stepup(20);          // up to 5000rpm
    _delay_ms(3000);
    stepup(21);          // up to 6000rpm
    _delay_ms(3000);
    stepup(16);          // up to 7000rpm
    _delay_ms(3000);

    stepdn(laststep);    // back to zero

    _delay_ms(600);
    stepup(90);          // 180° (4500rpm)
    _delay_ms(1600);
    stepdn(laststep);
    _delay_ms(300);

};
// return 0;
}

```

Ce fonctionnement « brute force », en anglais dans le texte, est remplacé par un tableau descripteur avec pointeur recyclant à 6. Le fonctionnement devient quasi-analogique avec une aiguille progressant par tiers de degré.

Fonctionnement en compte-tours

Le compte-tours fonctionnera de 500 à 6000 rpm sur un moteur 4 temps 4 cylindres (2 étincelles par tour)

600 rpm = 20 Hz = 50 ms , durée entre impulsions

1000 rpm = 33,33 Hz = 30 ms

6000 rpm = 200 Hz = 5 ms

ce qui laisse largement le temps au μ C de faire ses opérations

Entre 500 et 6500rpm l'affichage doit faire 125 tours moteur, ce qui fait environ 1 tour pour 50rpm. Le « environ » va évidemment causer quelques soucis d'arrondis (sauf si on redessine le cadran). Comme le pas à pas fonctionne en relatif : il sait faire +30 pas ou -152 pas, mais pas aller à 173 sauf au démarrage, c'est pourquoi à la mise en route, il faut envoyer un excès d'impulsions de retour et compter sur la butée pour assurer le zéro, après quoi, il ne faut pas rater une seule impulsion (vitesse largement inférieure à la vitesse max). Il faut toujours conserver la position (variable laststep en 16 bits) et le dernier régime. Le tachymètre ne doit pas dépasser 7000 rpm, faute de quoi il risque d'aller en butée et là, on perd la référence de position, en effet quel que soit le nombre de pas qu'on veut lui faire faire, il reste à sa dernière place, et quand on revient en arrière de N pas, on ne sait plus depuis quelle valeur : il est réglé pour la butée gauche seulement, plus précise car équipée d'une butée externe et placée sur un plus grand rayon. Pratiquement le tachymètre sera conçu pour s'arrêter à 6500 rpm, ceci afin d'éviter la zone d'affichage non-linéaire (à moins de réimprimer une échelle entièrement linéaire!) une LED signalera le surrégime à 5500rpm, et une surbrillance colorée s'ajoutera au-delà de 6000rpm même si l'aiguille s'arrête à 6500rpm.

Le signal est écrêté pour ne pas dépasser +5V ou la masse, puis différencié par un condensateur pour diminuer le rapport cyclique et ne pas passer trop de temps inutile à attendre le retour à zéro. L'interruption, déclenchée par ce signal ainsi conditionné, commence par lire le compteur de temps écoulé, puis remet ce compteur à zéro et relance ce compteur, puis quitte l'interruption et laisse la tâche de fond reprendre son cours. L'utilisation d'une interruption sur front devrait même simplifier la mise en forme du signal d'allumage : un atténuateur (pour être insensible au 12V) et un écrêteur à diodes.

Dimensionnement du compteur de temps :

Il sera remis à zéro à chaque impulsion d'allumage et ne doit pas déborder en régime lent, 120ms. Compteur/timer 1 en mode 0. Prédiviseur à 1024, quartz à 16MHz, l'incrément est donc de 64 μ s, en 100ms (600rpm) le compteur aura fait 6250 pas, en 10ms (6000rpm), il aura fait 625 pas, donc compteur en 16 bits pour maximiser la résolution.

La loi d'affichage linéarisée sera :

Après mise au point de l'afficheur en mode purement linéaire, l'affichage sera adapté aux graduations MG-A

Exemple de cadran linéaire (prévu pour Roland B. d'IGM, Institut Gériatrique des Motos)

