



1 Le Stroboscope

Mot composé, provenant du grec ancien στρόβος, tourbillon et σκοπεῖν, regarder, dispositif qui permettait de figer optiquement et répétitivement un objet en mouvement. Cela n'a rien à voir avec le « stromboscope » expression utilisée par les ilotes siciliens-éoliens et leurs affidés.

L'usage sur un moteur permet de figer un mouvement répétitif (bielles, soupapes) ou circulaire lorsque l'objet repasse à la même position, puis d'observer les alentours de cette position.

Lorsque l'impulsion est synchronisée avec le mouvement, l'image observée est fixe. S'il n'y a pas de synchronisation, elle dérive.

2 Performances demandées

La durée de l'impulsion lumineuse devrait être infiniment petite, mais la quantité de lumière devrait alors être infinie, on va devoir se contenter de compromis.

Pour voir un secteur lumineux de 1° @ 600rpm, la durée d'impulsion lumineuse doit être inférieure à 0,27ms (270 μ s).

A 6000rpm, l'impulsion doit être inférieure à 0,027ms (27 μ s) pour 1° d'éclairage.

Ce qui correspond, pour un volant de 14cm de diamètre (Solex), qui a un périmètre de 50cm, et où 1° font 1,4mm : un trait même très fin apparaîtra avec une largeur de 1,4mm pour un flash de 27 μ s. Un strobo à tube xénon, fait bien mieux.

Un strobo commandé permet de se synchroniser, même si la vitesse est supérieure à la vitesse officielle du strobo : on flashera tous les n tours, mais toujours au même endroit.

3 Différents types de stroboscopes

Un stroboscope comprend une source lumineuse : tube néon, tube xénon ou LED.

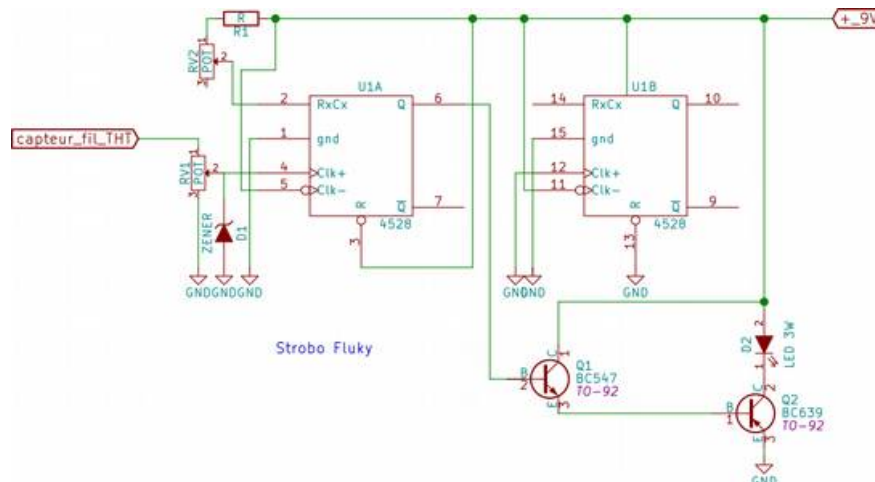
Le **tube néon** (le vrai, à lueur orange) a été historiquement utilisé en premier sur capteur de fil de bougie. Sa luminosité est très faible et l'a fait abandonner.

Le **tube xénon** a besoin d'un condensateur-réservoir d'énergie, chargé en haute tension, qui se décharge extrêmement vite dans le tube xénon. La charge du condensateur peut être effectuée par un convertisseur DC/DC depuis une source basse tension, ou par une alimentation secteur, qui recharge plus vite le condensateur que le type précédent, mais demande des précautions impératives d'isolement, pas toujours respectées par les bidouilleurs.

La **lampe LED** bénéficie d'un type d'éclairage en constante amélioration et l'utilisation en stroboscope demande à ne l'alimenter qu'en une tranche limitée de temps, avec la perte consécutive de sa luminosité apparente. Si on veut augmenter la visibilité, il faut augmenter la durée d'éclairement au détriment de la précision d'observation.



3.1 Un strobo à LED, de F..., un des nombreux avatars



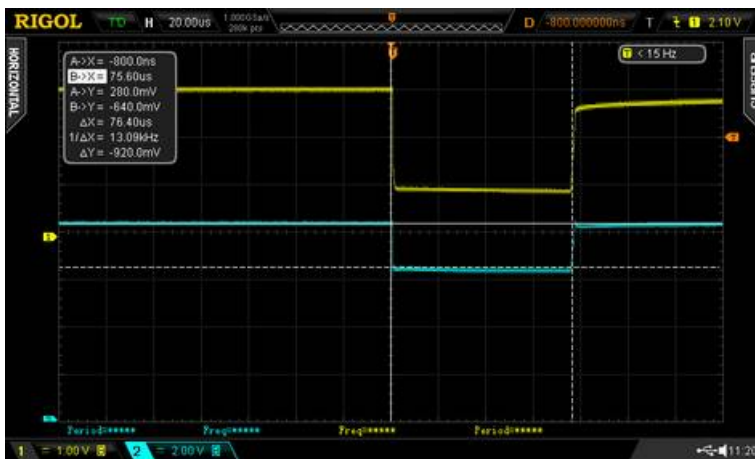
C'est un simple monostable (on en trouve avec des 4528 ou avec des 555, et un étage de puissance), le second monostable n'est pas utilisé ici, commandé par un unique fil d'entrée et un simple potentiomètre. Cela permet :

- En entrée simple fil de se placer autour du fil de bougie
- En rajoutant la masse, d'être commandé par un signal basse tension ou un généré BF
- le circuit d'entrée ne permet pas (sous peine de destruction et arrêt moteur) de se connecter sur le rupteur

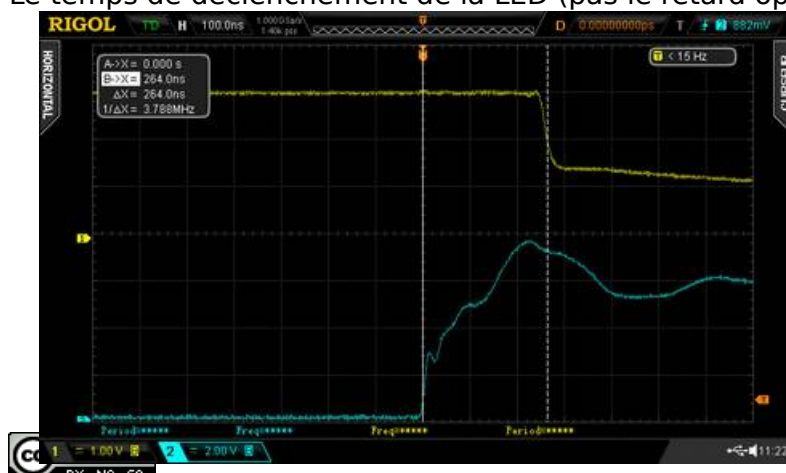
Ce strobo, vendu 49 piastres en kit sur la Toile (et 60, déjà câblé), revient environ à 7 roupies de composants d'aujourd'hui.

L'impulsion mini dure 75µs

Et la tension de la pile s'écroule de 0,92V mais reste constante, avec un accu NiMH Energizer



Le temps de déclenchement de la LED (pas le retard optique) est de 250ns





Avec une pile alcaline Auchan, la durée d'impulsion passe à $74\mu s$, et la tension pile s'écroule de 0,820V, et baisse pendant l'impulsion.

Le circuit d'entrée est simplissime : l'impulsion collectée va directement sur le potentiomètre de réglage de niveau. Selon le couplage au fil THT (serrage, largeur des spires sur le fil THT) la tension pourrait atteindre des kV : en fait si on met des résistances série trop élevées, avec un couplage fort, on peut détruire les résistances et voir un arc courir le long de la résistances, et provoquer des dégâts en aval.

Un ajustable de 4k7 verrait au max théorique avec couplage 1 : 141 V soit 14W avec le facteur de forme du courant triangulaire de bougie, on voit donc qu'il y a heureusement un très mauvais couplage avec écroulement de la THT présente sur la spire de capture, par désadaptation sur une basse impédance, ce qui protège les composants.

On ne sait pas facilement mesurer le courant vrai qui passe par la LED , d'où un calcul impossible de la puissance instantanée.

3.2 Un strobo 12V commercial à tube xénon, Xenonflashtubes V3

Carte de 55 x 46 mm équipée d'un tube xénon de 36 x 4mm, distance d'arc 22mm c'est un tube de 20 Joules.

Le tube est donné pour 100 millions de flashes à puissance max.

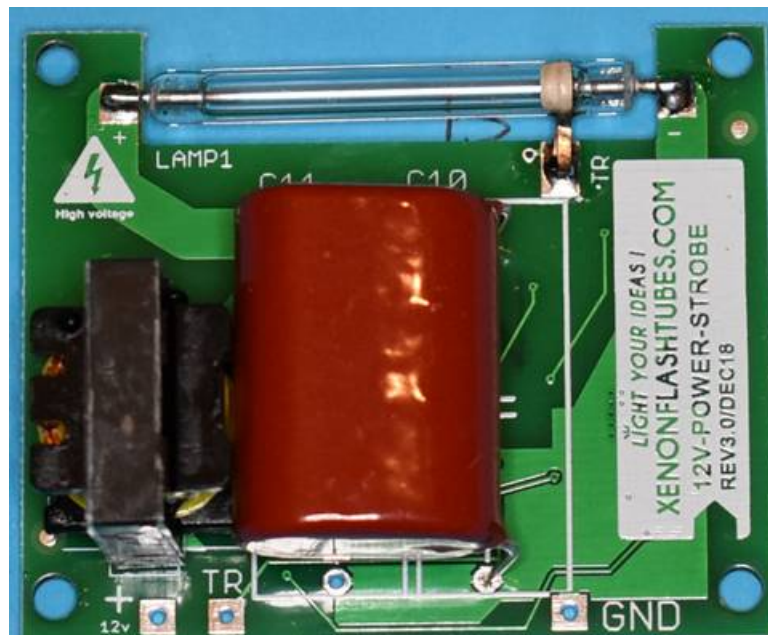
C'est la nouvelle version du constructeur qui permet le fonctionnement en déclenché (commande trigger). L'énergie d'origine est la même (capa 2,7 μ F). Le tube xénon est légèrement plus court et possède des broches droites et courtes, il ne faudrait y exercer aucun effort, mais on ne voit pas de boucle de relaxation de contraintes pour absorber le différentiel thermique entre le tube et le PCB, il semble que la brasure du tube ne soit pas RoHS, mais plombée, ce qui est un (petit) peu moins pire (une grosse masse de brasure même au plomb est tout de même quelque peu raide). Le transistor du convertisseur est plus petit que la version précédente du strobo.

La tension de fonctionnement du tube est de 405V, l'énergie avec une capa de 1 μ F devient 82 mJ (énergie d'origine avec 2,7 μ F : 220 mJ). Cela correspond à une puissance de 27 kW (principe du radar) pendant l'impulsion du tube xénon (3 μ s). Le courant qui passe dans le tube est de l'ordre de **300A**, d'où des pistes larges entre le tube et la capa-réservoir HT.

Il est alimenté sous « 12V » (5 à 15V), le mieux est à partir d'une batterie.

Coût : une douzaine de roros, rajouter la capa film de 1 μ F/630V, en remplacement de la capa d'origine, trop forte et qui limite un peu trop la fréquence de répétition du flash.

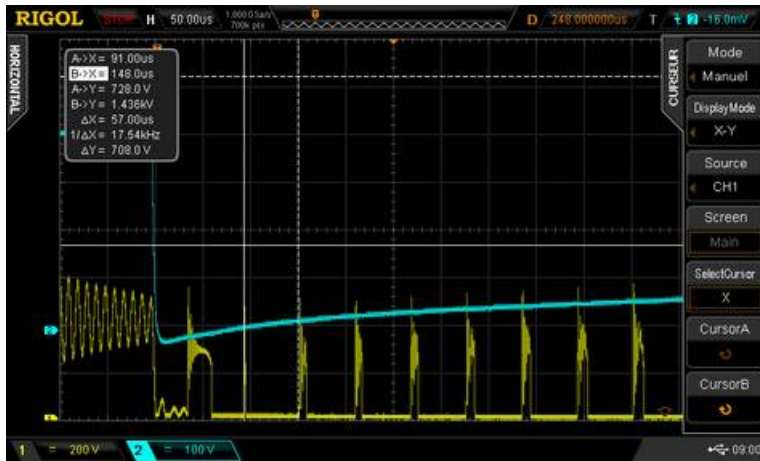
Le flash, avec la capa de 4,7 μ F d'origine, ça arrache les yeux !
On lit très clairement le site internet du fabricant



Le tube est amorcé par l'électrode extérieure, sans électrode auxiliaire courant le long du tube.

Le fabricant propose aussi un boîtier adapté, en option, reste éventuellement à monter un réflecteur, bien isolé électriquement, mais tel quel, la luminosité suffit.



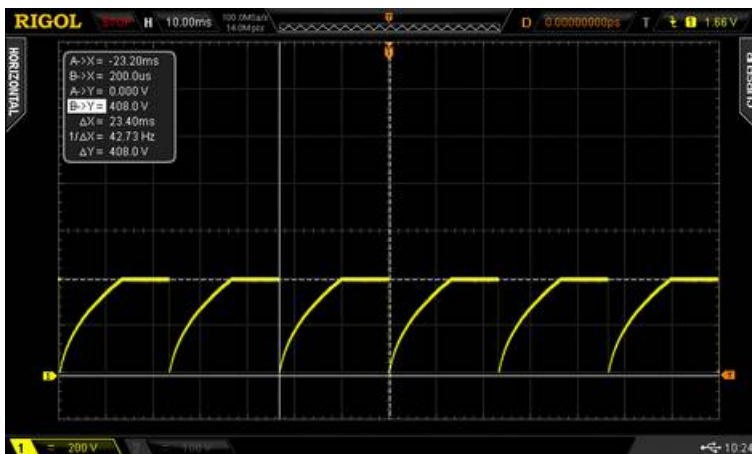


Le convertisseur donne sa pleine puissance dès que le tube s'est déclenché : signal bleu qui passe à « zéro » à la deuxième division du scope

Les impulsions sont à 17kHz, les oscillations avant le déclenchement sont les oscillations normales du convertisseur qui avaient décidé d'être là au moment du déclenchement (fin 2ème division), voir scopie suivante pour voir ces oscillations au repos



Entre deux flashes, le convertisseur envoie des impulsions de complément de charge au transfo, à 440Hz soit au « la » central du piano.

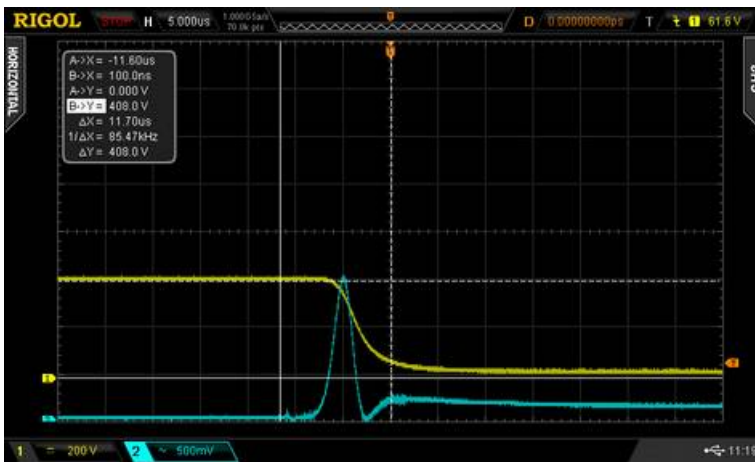


tension de la capa-réservoir HT, ici 1μF/630V

le strobo est à sa fréquence max de 42Hz (2500rpm), ce qui ne gêne pas pour l'observation des régimes supérieurs, la synchro restant maintenue, on voit l'illumination un tour sur deux ou plus (on ne s'en rend pas compte!), mais avec la luminosité nominale.

la tension de la capa-réservoir est atteinte en une douzaine de ms, c'est clairement la recharge de la capa du thyristor qui limite la fréquence.

il est donc inutile d'utiliser un monostable, les oscillations résiduelles, dues à l'allumage, sont finies depuis longtemps (env 1à 2ms) et on ne craint pas d'amorçage parasite.



jaune : écroulement de la tension de la capa HT
bleu : impulsion lumineuse (mesurée par photodiode
BPW34 + 10kΩ sous 12V)

l'impulsion lumineuse efficace dure 3μs

J'utilise finalement une capa de 1μF ce qui permet de monter à un régime de 2500 rpm en mode direct sans sous-multiplication ; **l'image reste toujours synchronisée**. Une capa de 4,7μF donne la luminosité max (inutile pour un moteur standard) mais est limitée à moins de 1000 rpm. Pour l'observation à haut régime de moteurs 4-temps à avance variable (avec ou sans étincelle perdue) une capa d'environ 0,5 μF est préférable.



4 synchronisation du strobo

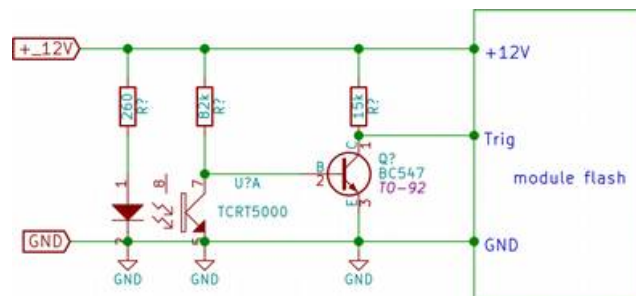
La synchro du strobo peut être obtenue par trois moyens principaux :

- par coupleur opto sur une cible optique réfléchissante
- par prélèvement du signal sur le rupteur
- par prélèvement du signal sur le fil THT de bougie

Il n'est pas nécessaire de prévoir un monostable pour embellir le signal pour les strobos à flash xénon, puisque pendant le temps où se produisent des impulsions multiples, selon les réglages, le convertisseur du flash redémarre la charge de la capa-réservoir, et ces impulsions se produisent avant que la capa du transfo THT d'amorçage du tube xénon soit suffisamment chargée.

4.1 cible optique

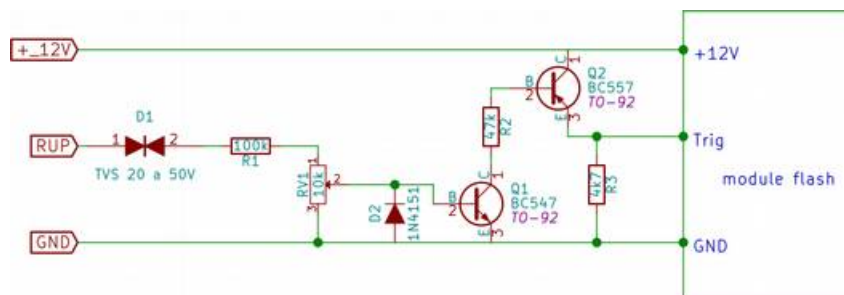
Cette méthode n'est pas nécessairement reliée à l'allumage et permet d'observer p. ex. le PMH ou la tension d'un volant à l'instant d'allumage sans être perturbé (c'est un mot faible !) par celui-ci et donc de voir au scope, si l'allumage se situe bien au maximum d'énergie disponible, en bloquant le rupteur en position ouverte, et en laissant la bobine (connectée au rupteur, même en cas de bobine externe).



Montage adapté à une circonférence non réfléchissante en infra-rouge (certains volants comme le Solex 3800 sont réfléchissants en IR même s'ils paraissent oxydés, et doivent être peints en noir) avec une cible en ruban adhésif métallisé. Ou alors une cible noire, mais il faut faire confiance à la réflexion IR du reste du volant, sujette à irrégularités d'oxydation depuis 60 ans.

4.2 Prélèvement sur le rupteur

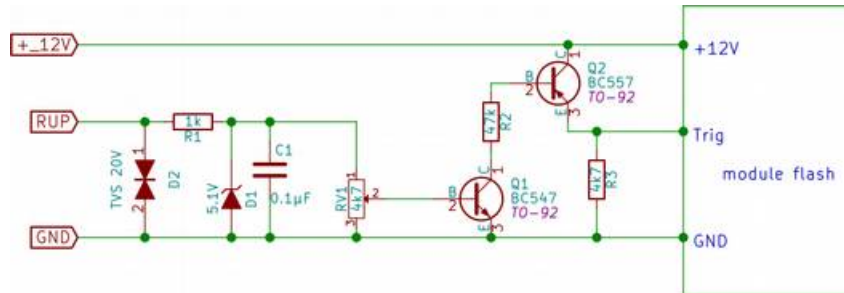
On prélève sur le point rupteur/condensateur au moment de la surtension de rupture. Cette surtension présente une tension de 100 à 500V, agrémentée vers la fin, de la rétro-transmission d'une partie de la THT par la bobine. l'instant précis de la synchro dépend de l'ajustement du seuil de réglage (donc sur un arc de sinusoïde depuis l'ouverture du rupteur), et n'est exact que si on déclenche à la tension d'amorçage de la bougie, sur la partie THT retransmise au primaire de la bobine.



La TVS (zener HT bidirectionnelle) permet de s'affranchir des bruits électriques divers à tension proche de la tension d'alimentation.

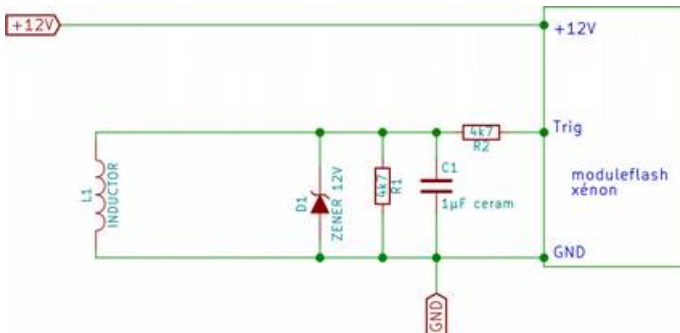
4.3 Prélèvement capacitif sur le fil de bougie

On prélève par une pince ou par un enroulement d'une à 10 spires (c'est en fait la largeur du bobinage ou de la pince qui importe, comme il n'y a qu'un fil qui sort du capteur, ce n'est pas une bobine). Le capteur peut être un fil enroulé, une pince à dessin, éviter les pinces croco qui vont abîmer le fil THT. Le couplage est assez lâche mais doit être chargé par une impédance basse, sous peine de voir des arcs se propager dans et sur la surface de la résistance série, en l'absence de TVS, et dans les composants d'entrée de la synchro. J'ai essayé, c'est impressionnant et très destructeur !

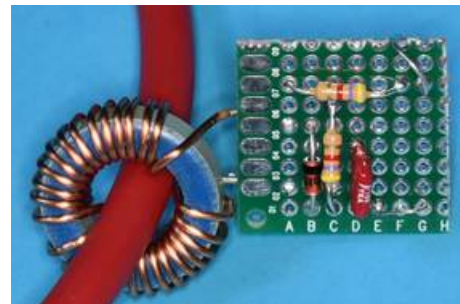


4.4 Prélèvement magnétique de fil de bougie

La bougie absorbe un courant triangulaire de 30mA, front raide en tête. Un tore de filtre à un enroulement est utilisé 68µH 20 x 11 x 6,5 mm 35 spires. Éliminer tout autre enroulement qui donnera une tension « infinie » sans charge, principe du transformateur de courant ; et avec une charge dissipera pour rien une part de l'énergie d'allumage.



schéma



Le circuit, avant imprégnation de silicone

La synchronisation se fait aussi bien sur une bobine auto à forte énergie, que sur une bobine Solex sous-alimentée.

C'est un montage KISS. L'idéal est de placer le tore sur une section de câble THT, avec un embout mâle et femelle de bougie à chaque extrémité.

ATTENTION, les capteurs sur rupteur ou par prélèvement capacitif ou magnétique, s'ils sont mal réalisés ou brutalisés (prévoir notamment des anti-traction de fils ou composants) peuvent, outre un choc électrique **dangereux** pour l'utilisateur, être destructeurs du matériel !!



5 résultats



En plein jour, sur volant Moriyama à 10 000 rpm

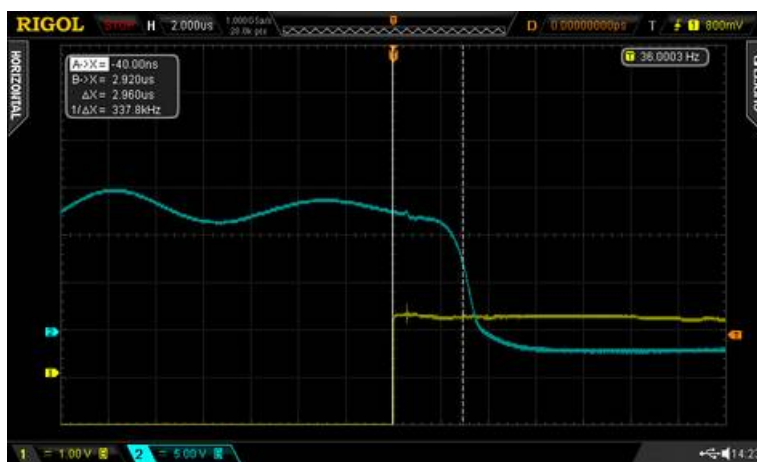
Une video DSCF5863.MOV sur mon site, avec le thyristor simplement connecté sur la bobine d'éclairage d'un volant Moriyama de MBK montre la visibilité et la clarté de l'effet stroboscopique. Comme cette bobine donne deux alternances par tour et ne possède pas de rupteur, l'image est parfois doublée (synchronisation secondaire du rechargement de la capa du thyristor), chaque flash restant clair et lisible.

La synchro sur l'allumage ne change pas l'effet stroboscopique ni la luminosité, mais permet un seul flash, synchronisé avec l'allumage.

On voit à partir du PCB :

- le tube saturant l'image
- une zone d'étiquette saturée : le tube crache un max !
- Une zone où le texte est figé et bien visible
- le reste est à l'ombre du tube, donc à l'éclairage ambiant et on voit le flou de la rotation

5.1 retard du strobo xénon



jaune = géné BF 50Ω
bleu = photodiode BPW34

retard = 3μs



6 retard d'allumage

Un allumage ne répond pas instantanément à l'ouverture du rupteur, il faut attendre que la tension monte suffisamment, ce retard dépend donc du réglage du seuil de déclenchement.



bobine de volant Solex SEV, capa 0,22μF

retard = 60μs crête 500V

le périmètre du volant fait 452,4 mm, soit 1,255mm par °, le repère d'avance est à 28mm avant le PMH soit 22,2°

à 6000rpm le tour (360°) est parcouru en 10 ms soit 0,0277ms/°

les 22,2° font 0,61ms et le temps de latence (de l'ouverture du rupteur à l'étincelle) fait 2,2°

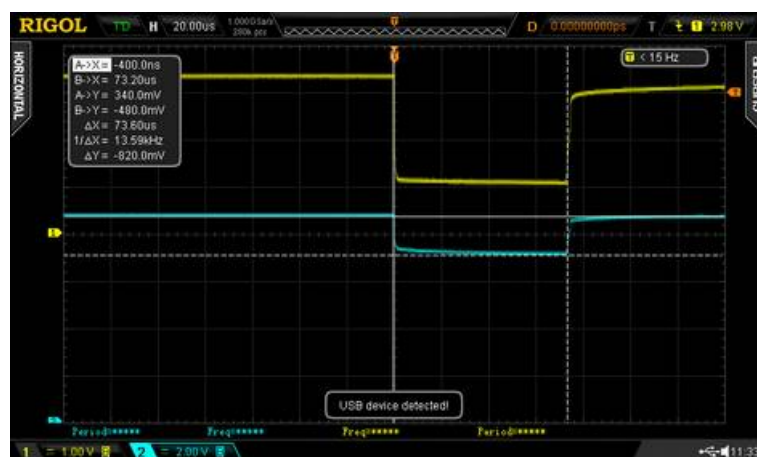
un stroboscope peut se déclencher sur l'ouverture du rupteur (strobo 2 fils) soit sur l'étincelle (strobo un fil)



bobine Ducellier

retard = 80μs avec capa 0,22μF
crête 115 V

sur une bobine, le retard au déclenchement du strobo dépend du réglage du niveau, mais le déclenchement se produit au moment de l'étincelle, ce qui est bien le but recherché.



6.1



7 Conclusions

Le strobo, avec capteur magnétique et flash xénon, est un outil simple à fabriquer et d'une puissance optique impressionnante. Il permet de visualiser efficacement l'instant l'allumage des moteurs à allumage commandé de tous types 2- ou 4-Temps.



Table of Contents

1	Le Stroboscope.....	1
2	Performances demandées.....	1
3	Différents types de stroboscopes.....	1
3.1	Un strobo à LED, de F..., un des nombreux avatars.....	2
3.2	Un strobo 12V commercial à tube xénon, Xenonflashtubes V3.....	4
4	synchronisation du strobo.....	7
4.1	cible optique.....	7
4.2	Prélèvement sur le rupteur.....	7
4.3	Prélèvement capacitif sur le fil de bougie.....	8
4.4	Prélèvement magnétique de fil de bougie.....	8
5	résultats.....	9
5.1	retard du strobo xénon.....	9
6	retard d'allumage.....	10
7	Conclusions.....	11