

Utilisation de la bobine d'allumage

La bobine d'allumage est un des organes principaux de l'allumage pour moteur à essence. Ces organes sont :

- **rupteur** ou électronique, pour la création du courant et la synchronisation
- **bobine d'allumage** (parfois comprise dans la volant magnétique ou la magnéto) création de haute tension
- **bougie** utilisation pour la création de l'étincelle

Tous les allumages pour moteur à essence (moteurs à allumage commandé), du Solex à la Rolls, doivent envoyer une énergie identique dans un espace d'environ 1 mm. Cette énergie varie seulement selon la qualité du mélange (stoechiométrie = richesse), la température dans le cylindre, la pression dans le cylindre (taux de compression, altitude et charge moteur : ralenti/plein gaz), et le point d'allumage (qui agit en fait indirectement sur la pression cylindre). L'énergie minimale se situe dans la gamme de 0,2 mJ à 30 mJ (1 millijoule = $1V \cdot 1A \cdot 1ms$ ce qui équivaut à $1000V \cdot 1mA \cdot 1ms$, $30mJ = 1000V \cdot 30mA \cdot 1ms$) et exige une haute tension d'au moins 10 à 15 kV (1 kilovolt=1000V) pour amorcer l'arc.

Tout comme les bougies qui sont très voisines, et souvent les mêmes pour les moteurs à essence, les bobines sont identiques voire remplaçables, mais moins facilement.

Quatre principes de base sont utilisés pour la création de la haute tension :

- **stockage de l'énergie dans l'inductance** du primaire de la bobine par la commande du rupteur (stockage pendant la fermeture du rupteur), puis restitution de l'énergie dans un circuit à condensateur (qui crée le temps de restitution) puis, comme la bobine est un transformateur, la tension apparaissant dans le circuit bobine-condensateur (de 200V à 300V, même pour une bobine dite 6 ou 12V) est transformée par le rapport de transformation (rapport du nombre de spires secondaire/nombre de spires primaire) en haute tension transmise à la bougie. C'est le montage **batterie-bobine**, ou Kettering ignition, ou fly-back.
- **stockage de l'énergie dans un condensateur** à moyenne tension (300V) qui se décharge lors de la synchronisation dans la bobine qui ne sert alors que comme **transformateur**. C'est l'**Allumage à décharge de condensateur = CDI** capacitive discharge ignition, puisqu'on charge à la même tension que celle atteinte sur le condensateur de l'allumage classique, on peut utiliser des bobines existantes. L'énergie primaire est fournie la plupart du temps par une bobine du volant (bobine primaire ou bobine de charge qui permet de tourner sans batterie), elle peut aussi provenir de la batterie.
- Stockage de l'énergie dans une bobine primaire à l'intérieur du volant magnétique, décharge dans une surtension contrôlée par condensateur, et transformation en haute tension dans le secondaire de la même bobine. C'est en quelque sorte un allumage « batterie-bobine » sans batterie, utilisé sur un très grand de moteurs simples.
- Stockage de l'énergie dans une bobine primaire pendant la fermeture du rupteur, restitution de l'énergie dans l'ensemble bobine d'allumage-condensateur. C'est le montage Mobylette (utilisé aussi par d'autres cyclos et scooters) à bobine d'allumage externe. L'énergie primaire vient alors d'une bobine primaire montée dans un volant magnétique et n'est présente que pendant une partie de la rotation du volant.

Historiquement, il y eut auparavant l'allumage à bobine de Ruhmkorff, allumage à pile (oui, et pas des piles alcalines à haute capacité !) qui s'apparente à l'allumage batterie-bobine mais sans un rupteur précis et à rupture brusque, et à étincelles multiples à la fréquence du trembleur et qui réussissait parfois à allumer, parfois non, ou au mauvais moment.

Les caractéristiques des bobines trouvées sur Internet sont totalement fantaisistes et les fabricants ne publient pas de valeur, seulement des arguments commerciaux de bas étage du genre « super bobine » « extra energy », je me suis décidé, dans le cadre de création d'un allumage pour une antiquité (1906) à vérifier quelques valeurs.

Nécessité de connaître les paramètres bobine (inductance, résistance)

Ces paramètres sont nécessaires pour déterminer les performances de l'allumage

La résistance du primaire limite le courant max débité par la batterie en fonction de la bonne vieille loi d'Ohm **$U=R \times I$**

La puissance débitée par la batterie dans la bobine est de **$P=U \times I$** ou **$P=U^2/R$**

La tension d'une batterie n'est pas constante, on peut estimer qu'elle varie de 1V (démarrage) à 14,5V. La puissance débitée dans la bobine sera (pour une bobine de 3 Ω) $P=33W$ à $70W$

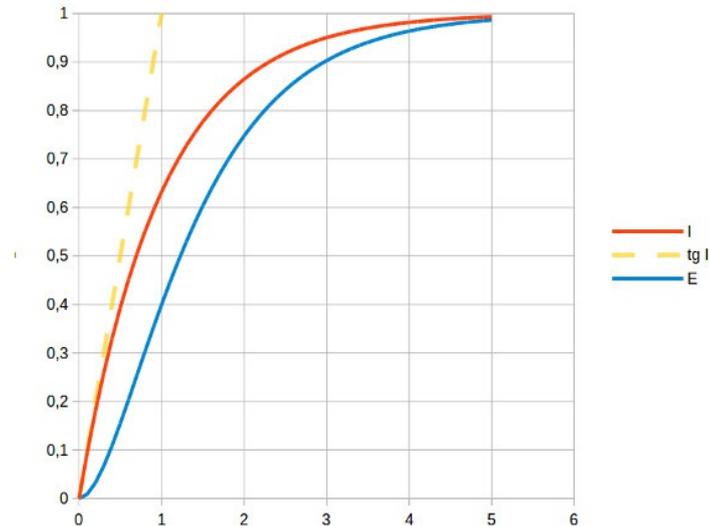
L'inductance est le siège de l'accumulation d'énergie utile pour l'étincelle. Son énergie max (après un temps « infini » de charge de la bobine) **$E = 1/2 \times L \times I^2$** . Or le courant I n'est pas instantanément disponible dans la bobine à cause de son inductance. On définit une « constante de temps » τ (lettre grecque tau) $\tau=63,21\%$ de l'amplitude max du courant, c'est aussi la valeur où la pente à l'origine croise l'axe de la valeur 1. Au bout de 5 τ , l'amplitude est encore à 99,3 % du max. Le max est atteint (asymptoté) en un temps théoriquement infini. **$\tau=L/R$**

Comme le temps entre deux étincelles est variable, il dépend du régime de rotation, on a adopté un compromis permettant d'emmagasiner encore « suffisamment » d'énergie à haut régime, mais en faisant chauffer inutilement la bobine à bas régime : le Dwell. Un **Dwell** de 100 % correspond au courant passant en permanence dans la bougie. On parle parfois d'**angle de Dwell** : c'est

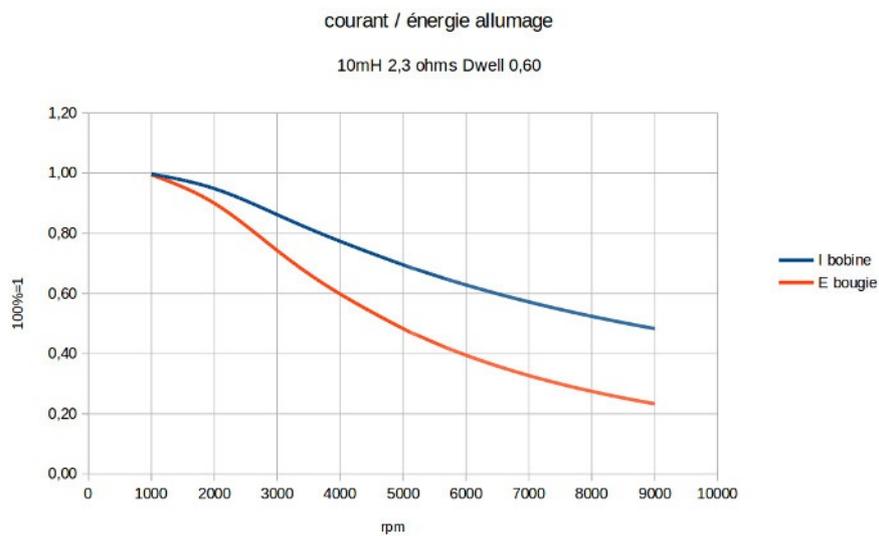
l'angle pendant lequel les vis platiniées conduisent, cette valeur est dépendante en plus du nombre de cylindres : pour un 4 cylindres 100 % de Dwell correspond à 90° de conduction. Le Dwell est plus universel, et ne dépend pas du nombre de cylindres pour exprimer le besoin de connaître le temps de conduction, un Dwell à 100 % pour tous moteurs, tous cylindres, tous allumages est égal à un angle de Dwell de 90° (4 cylindres 4t), et égal à un angle de Dwell de 45° (8 cyl 4t 1 bobine), et égal à un angle de Dwell de 90° (8 cyl 4t 2 bobines) ou un angle de 60° (6 cyl 4t 1 bobine).

Il faut qu'à haut régime, le Dwell permette encore de stocker une valeur acceptable d'énergie dans la bobine.

Courbe de la montée du courant de bobine et l'énergie correspondante en fonction de la constante de temps τ



Un Dwell habituel de 60 % donne un temps de conduction à 6000 rpm de 6ms. Pour une bobine de 10mH et une résistance totale du circuit (bobine + câbles) de 3,3 Ω , la constante de temps est de 3,03ms et les 6ms représentent 0,99 τ , le courant est à 63 % du max et l'énergie est à 39 % du max possible de l'étincelle.



1. Le choix des caractéristiques de la bobine influe donc fortement sur les performances, surtout à haut régime. On arrive facilement à des énergies insuffisantes, dépendant des températures, altitudes, etc ..., qui génèrent des ratés d'allumage (misfires), ce qui fait la part belle aux allumages « miracle », qui redonnent seulement la puissance nominale au moteur en évitant les ratés. Rappelons que le raté est une des techniques utilisées par les fabricants pour faire un bridage doux des petits moteurs de cyclo à vitesse légalement limitée.

Modes de commande de la bobine

Les bobines à résistance élevée ($\sim > 2 \Omega$) sont commandées **en tension**, les bobines à résistance inférieure (sauf celles prévues pour résistance additionnelle) sont prévues pour être commandées **en courant**, donc inévitablement un calculateur qui établit le courant au moment opportun, limite le courant, et déclenche l'allumage au moment voulu par la courbe d'avance et le nombre de millisecondes constant pour la magnétisation correcte de la bobine. Le courant est de l'ordre de 4 à 5A.

La perte de tension de l'élément de commande (rupteur ou transistor d'un allumage électronique) agit fortement sur l'énergie disponible à la bougie

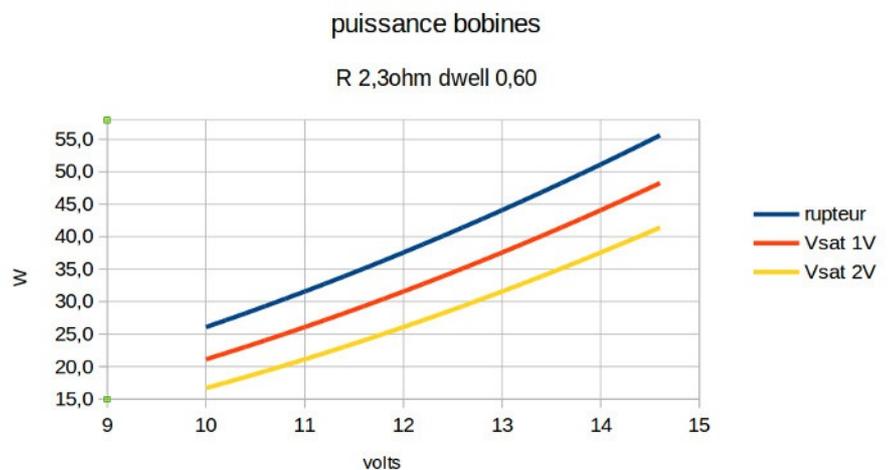
rupteur : pas de perte de tension, ou si peut-être

transistor : elle peut atteindre plus de 2V pour un transistor Darlington (et change relativement peu en fonction de la résistance de la bobine)

La tension de saturation de l'élément de commande influe sur la puissance absorbée par la bobine. Pour une bobine de $2,3\Omega$ et un Dwell de 0,60 selon la commande la puissance varie entre le démarrage (10V) et la pleine charge batterie (14,6V) de

26 à 56W (rupteur)	rapport 2,1
21 à 48W (1V déchet)	rapport 2,3
17 à 41W (2V déchet)	rapport 2,5

Utilité d'un transistor à déchet le plus faible



Consommation de l'allumage

Le type d'allumage influe sur la consommation électrique

- batterie-bobine la vieille bobine Ducellier $3,3 \Omega$ consomme 43W @12V pendant que le rupteur reste fermé, à diviser par le rapport de Dwell en fonctionnement, donc 27W pour un Dwell correctement réglé (écartement vis platinees), et ce, quel que soit le régime moteur pour moins de 100mJ à la bougie.
- bobine + calculateur : la bobine n'est alimentée que le temps nécessaire au stockage de l'énergie, juste avant le déclenchement de l'étincelle, en estimant à 4ms le temps de stockage à chaque étincelle et si le courant choisi est de 4A, cela fait 7,5W à 1000rpm et 45W à 6000rpm pour près de 40mJ et 2 étincelles/tour
- CDI : un proto que j'ai réalisé, consomme 0,4W pour 30mJ à 1200rpm 1 étincelle/tour

En fait, un besoin moderne oblige à avoir enfin un allumage de qualité : la « toxicité » des gaz imbrûlés vis-à-vis du pot catalytique. On a finalement décidé de garantir un allumage correct dans tous les cas, températures, carburation, (qui est maintenant indéréglaible pendant toute la vie du moteur, tout comme l'allumage) bougies (comme la tension allume dans tous les cas, même bougies très usées, les arguments des fabricants de bougies que telle super-bougie (super-chère bien sûr) marcherait mieux, en fait c'est par rapport à un allumage de puissance limite, où tout devient sensible). En bref l'immense majorité des anciens défauts sont gommés par un allumage suffisamment énergétique.

La tension maximale ne peut normalement pas être mesurée : dès que la bougie atteint sa tension d'amorçage, au lieu de continuer jusqu'à la tension max, la tension s'écroule en 5 nanoseconde ou moins (millième de millionième de seconde) et l'arc s'établit. Sans bougie, on risque un claquage interne (un arc est peut-être tolérable, mais après plusieurs arcs, la matière se carbonise et la bobine se court-circuite), les magnétos possèdent un « parafoudre » interne qui s'amorce dès que la tension est trop forte avec un écartement de **3mm** seulement, vu les faibles tensions nécessaires à des moteurs à faible compression. On peut estimer la tension max en mesurant à l'oscilloscope la tension obtenue au primaire (200 à 300V), et la multiplier par le rapport de transformation.

Mesures de bobines d'allumage « classique »

L'allumage par batterie-bobine existe depuis la Cadillac 1910, il a été inventé par Charles Kettering, fondateur de la Dayton Electric Labs Co, autrement dit Delco). Dans l'immense variété de moteurs existants ou ayant existé, on peut trouver un élément (relativement) constant et interchangeable : la bougie qui doit créer une étincelle dans un jeu entre deux électrodes écartées d'environ 1mm dans le mélange carburé. La bobine d'allumage est aussi souvent interchangeable par un autre modèle.

C'est l'allumage batterie-bobine (Kettering Ignition aux USA) qui a assuré la majorité des sources d'étincelles. Cet allumage est appelé allumage ZS (Zünd Spule) chez Bosch.

Le principe fondamental est le stockage d'énergie magnétique par circulation de courant dans une bobine et la restitution de l'énergie sous forme de tension lors de l'arrêt du courant (mode flyback). La restitution de courant se fait par une surtension au primaire qui se retrouve transformée par le rapport de transformation en très haute tension au secondaire. La source de courant peut être une source de courant continu (pile, batterie) ou un générateur alternatif (magnéto, volant magnétique, pourquoi pas dynamo), les générateurs alternatifs comme leur nom l'indique fournissent un courant alternativement positif ou négatif, il y a évidemment des passages par zéro et des valeurs intermédiaires, une source alternative doit donc être synchronisée avec l'allumage pour fournir du courant à l'instant nécessaire. L'autre principe d'allumage utilise pratiquement la même bobine mais en transformateur seulement et on décharge brutalement un condensateur (chargé auparavant comme par hasard, à la tension atteinte par le condensateur du montage Kettering) via un thyristor dans le primaire de la bobine.

Comme on trouve sur la Toile des valeurs totalement fantaisistes des caractéristiques des bobines d'allumage : par exemple l'impédance varie de 10 μ H à 10mH soit 100 000 % d'écart , un rapport 1000 dans les valeurs annoncées. La vérité pourrait se situer entre les deux (peut-être).

Ducellier 12V

Pour en avoir le coeur net, j'ai utilisé une vieille bobine : bobine noire Ducellier 12V probablement isolée à l'huile ou à l'asphalte (qu'on appelait brai autrefois), et l'ai testée. Le montage de test n'est pas là pour faire de la belle métrologie, je me contenterai d'un 20 % (c'est déjà beaucoup mieux que ce qu'on lit sur le web).

La bobine Ducellier
c'est un très ancien modèle (qui n'a pas encore
de cosses plates « AMP »)
on voit le transistor BU2508 noir qui joue
le rôle de rupteur,
les 2 résistances vertes de puissance, de mesure
du courant 0,33Ω 5W 10%
l'atténuateur THT : 22 résistances de 2,2MΩ
et une de 100kΩ



Moyens utilisés

- oscilloscope numérique OWON (Lilliput aux US) PDS6042S (40MHz) sondes 10MΩ 60MHz remplacé ultérieurement par un Rigol DS1052, numérique aussi
- pont diviseur à résistances 10 x 2.2MΩ / 100kΩ sans capas de compensation, donc probablement avec un amortissement du signal aux hautes fréquences
- milliohmètre personnel lit les dizaines de milliΩ (les centièmes d'ohm), voir papier dédié
- générateur sinus 150Hz PWM, voir papier dédié
- Alimentation par une batterie 12V au plomb
- Un générateur d'impulsion vite fait, pour la mesure (un microcontrôleur Atmel AT Tiny13 ou un arduino, une vingtaine de lignes de code), un allumage électronique avec BU2508, transistor de déflexion horizontale TV, parfaitement adapté à cette utilisation allumage (1500V, 8A)

Le matériel a été complètement renouvelé depuis les premiers essais :

- oscilloscope RIGOL DS1052E 50MHz
- générateur BF 2MHz Tti
- fréquencemètre GW
- éclateur réglable avec atténuateur pour scope 10 x 3,9MΩ/150kΩ rapport 262
- générateur d'impulsions réglable à base d'arduino

La haute tension max qu'on peut obtenir est la tension au primaire multipliée par le rapport de transformation, tension jamais atteinte car un arcage se produit, soit en interne, soit plus normalement dans le circuit bougie. La tension max obtenue au primaire est liée à l'énergie magnétique stockée dans l'inductance primaire divisée par le temps mis à annuler cette énergie ($d\phi/dt$). Plus le temps est bref, plus haute sera la tension.

L'essai a été fait avec condensateur (pour faire comme avec un rupteur) et une fois sans (pour voir), sa valeur est de $0,22\mu/U \geq 400V$.

Calculatrice : Pour rester KISS (keep it simple stupid) on évitera les calculs plus compliqués que le carré ou la racine, qu'on trouve sur toute calculatrice à 1€ ou sur tout PC .

Mesure de l'inductance par mesure de la constante de temps $t=L/r$ d'où **L=tr**

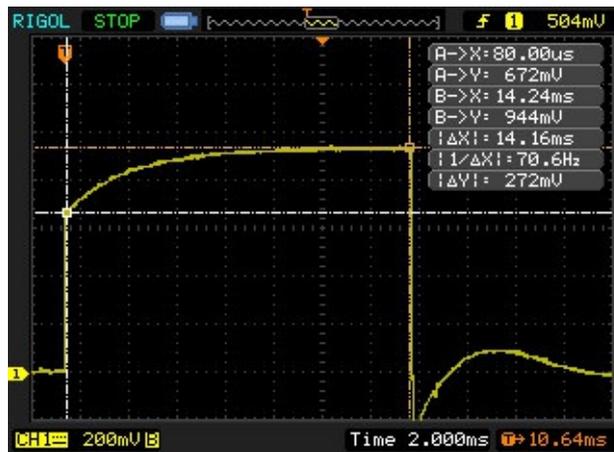
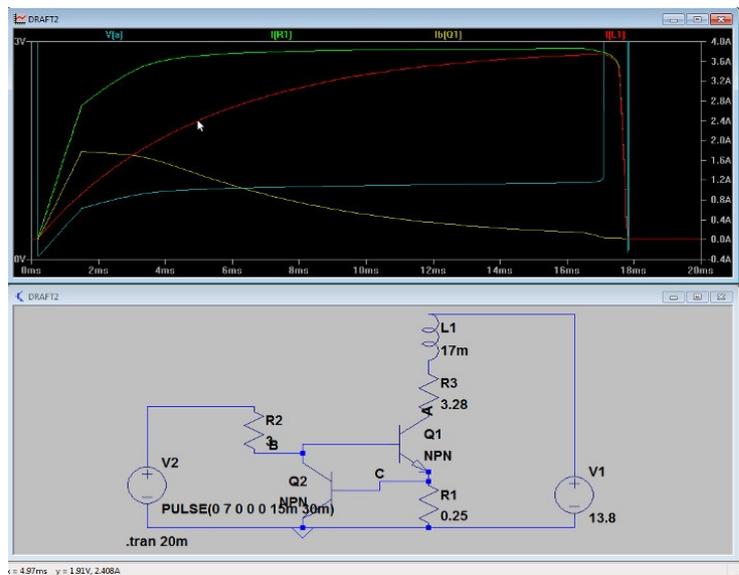


Fig 01
mesure du courant d'émetteur sur allumage électronique
comme le courant base n'est pas négligeable (et $I_e=I_b+I_c$),
il est bien difficile de mesurer la constante de temps

reconstitution Spice des courants/tensions
la figure précédente correspond à la courbe verte



La résistance mesurée au milliohmètre est de **3,3 Ω**

On peut en déduire que l'inductance est de $L=rt$ soit **7 mH**, mais avec l'incertitude du point de départ.

La valeur de l'inductance mesurée par la fréquence des oscillations sur les impulsions du milliohmètre avec un condensateur de 4,6μF donne **10mH**

L'énergie qui va être transformée en étincelle est de $\frac{1}{2} L \times I^2$ soit **66 mJ**, c'est cohérent avec la valeur attendue qui fait l'objet de beaucoup moins de variation sur le Net que l'inductance.

La fréquence de résonance du circuit LC constitué avec le condensateur est de 234Hz, ce qui est invalidé par une mesure au générateur BF.

Le courant de 3,6A donne une consommation moyenne sur la batterie de 2,3A (avec un Dwell de 63%)

soit une puissance permanente dissipée en chaleur dans la bobine, de **27W** (**40W** avec un alternateur en pleine charge à 14,4V)

Ces mesures sont **refaites** avec un générateur BF (une résistance série de 150 Ω permet une observation facile et plus précise de la fréquence de résonance, d'où on tire l'inductance par **$L=1/(6,28f)^2 \times C$**). Associé à un fréquencemètre et par comparaison avec une résistance étalon de 0,51 Ω pour la résistance, la mesure est bien plus précise. En toute rigueur, ces mesures permettent de se faire une idée de l'énergie stockée. Dans la réalité, la bobine se charge avec un certain courant et l'inductance varie en fonction de ce courant. Je vais utiliser l'inductance à $I=0$.

Mesures

Ducellier 1

résistance primaire	3,34 Ω
résistance secondaire	5410 Ω
inductance	9,2 mH
énergie @12V	117 mJ

Ducellier 2

résistance primaire	2,28 Ω
résistance secondaire	5320 Ω
inductance	9 mH
énergie @12V	124 mJ



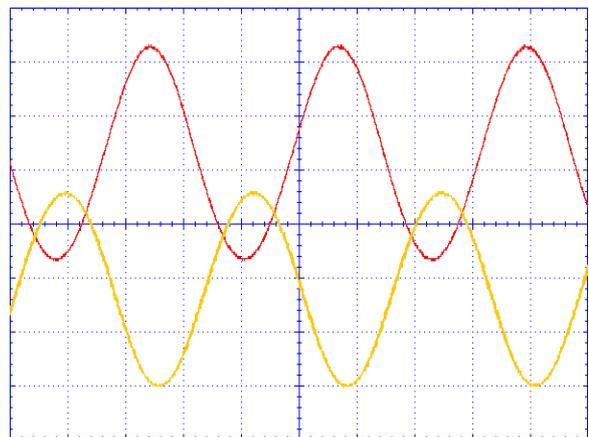
(très) vieille bobine Ducellier 70's ou 80's

Rapport de transformation

Pour le mesurer, j'ai utilisé un générateur BF fait avec un microcontrôleur at tiny13 en générateur PWM (modulation par largeur d'impulsion), fréquence sinus de 153 Hz (pour une fréquence PWM de $256 \times 153 = 39,16$ kHz), fréquence bien entendu située dans la gamme de fonctionnement normal de la bobine, la synthèse en PWM 8 bits crée au mieux 0,4% de distorsion, le filtrage du PWM est assuré par un réseau RC $4700\Omega/0,1\mu\text{F}$ (fréquence de coupure 340Hz) et un LM386 en ampli « de puissance »

Fig 02

rouge $y=50\text{V}/\text{div}$
jaune $y=1\text{V}/\text{div}$
temps $x=2\text{ms}/\text{div}$



résultats de mesure

$$V_{\text{prim}}=3,64\text{Vcc} \quad V_{\text{sec}}=200\text{Vcc} \quad \rightarrow \quad \text{ratio}=55$$

C'est une des mesures qui est facile pour des rapports de transformation faibles, devient plus délicate ici en raison par exemple de l'influence de la capacités parasite de la sonde d'oscilloscope (15 pF influent énormément un circuit secondaire de transformateur à capacité répartie de 50pF) Quant à mesurer le rapport tension de l'impulsion entrée et sortie de la bobine, cela demande des moyens peu courants. Un atténuateur très haute tension fait avec des simples résistances sans aucun blindage ni compensation possèdera une bande passante de 80kHz avec une sonde d'oscilloscope de 15pF.

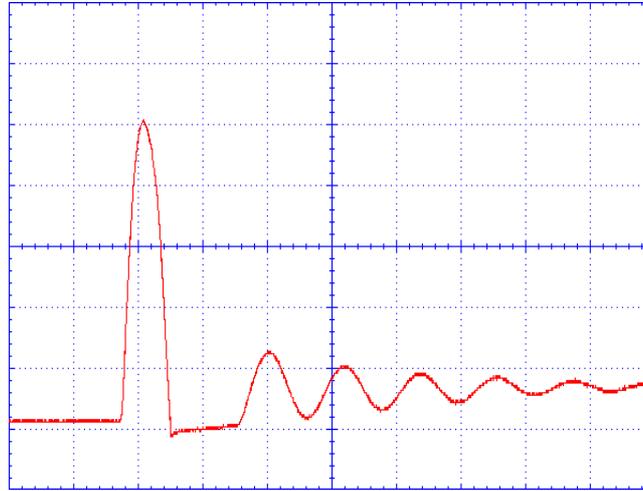
Comme le dit bien Wikipedia dans l'article français : allumage :

« de nombreuses informations incorrectes sont communément répandues, essentiellement en raison de la grande difficulté technique à obtenir des oscillogrammes correct. » Mais je ne prétends pas que mes mesures soient sans erreurs !

comportement en situation d'allumage

pour générer l'étincelle, le générateur d'impulsion déjà cité va commander le transistor interrupteur (joue le rôle du rupteur) va créer le courant primaire

Fig 03 V primaire
rouge y=50V/div
x=100µs/div
condensateur de 0,33µF
gap 12 mm



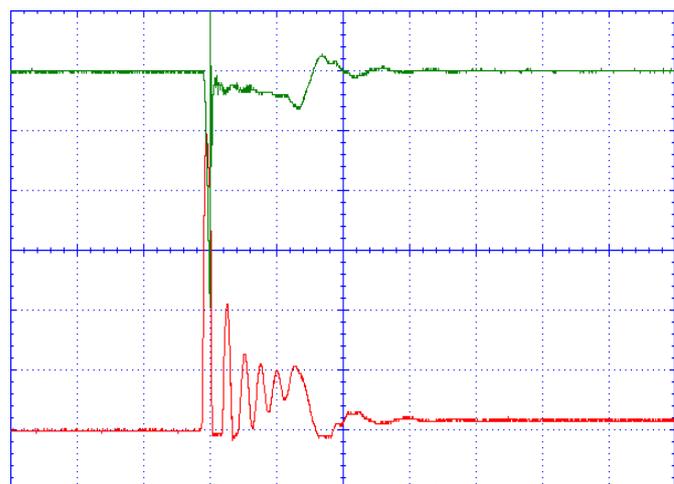
La bobine a largement eu le temps de se saturer (asymptote bien visible sur la figure 1, donc équivalent du « dwell » correctement assuré). Au moment de l'ouverture du rupteur, la tension du primaire monte à 260V. Compte tenu du rapport de transformation de la bobine la tension secondaire montera à $260 \times 55 = 14.3 \text{ kV}$.

Avec une « bougie » à électrodes plus rapprochées, en fait un espace de 2 mm, on constate que la durée d'étincelle augmente, la tension crête au primaire n'est pratiquement pas affectée.

Etincelles multiples

Sur Internet, on parle souvent d'étincelles multiples

Fig 04
vert y = 20V/div(x220)
rouge y = 50V/div
x = 500µs
gap environ 10mm



on constate que :

- l'étincelle dure 580µs
- l'amorçage de l'étincelle se fait quand la tension atteint 17600V
- la tension d'arc commence à 1250V

- pendant l'arc on voit une oscillation à 7,8kHz au primaire mais qui correspond simplement à de petites variations de la tension d'arc, il s'agit de modulations du courant **MAIS PAS d'étincelles multiples** comme on peut le lire. Il n'y a pas d'extinction **ET** réamorçage de l'arc.
- Le fonctionnement du transformateur n'est pas parfait et la tension primaire n'est PAS l'image de la tension secondaire.
- l'étincelle s'éteint lorsque la tension d'arc est à 1750V, valeur moyenne 1,5kV
- la tension augmente à l'extinction de l'arc lorsque l'énergie devient insuffisante pour entretenir l'arc
- une oscillation résiduelle à 2,5kHz (clairement le LC primaire) achève la dissipation d'énergie

Il existe cependant quelques vrais cas d'étincelles multiples :

- lorsque la montée de tension pendant l'arc peut s'expliquer par la variation de résistance de l'étincelle lorsque sa température interne augmente
- ou lorsque toute l'énergie d'un CDI n'est pas épuisée, et avec résonance du groupe LC.

Conditions normalisées

La littérature (par exemple le Mémento de technologie automobile Bosch) montre une durée d'étincelle de 1,5ms, c'est donc ce que je vais utiliser en estimant que ce sont les conditions « normales ». Pour faire marcher la bobine dans les mêmes conditions, il suffit de régler le gap à 6mm. Le problème de la représentativité du gap est que la bougie ne travaille pas dans l'air (comme mon gap) mais dans un mélange stoechiométrique de vapeur d'essence et d'air, qui a un comportement notablement différent. C'est une des raisons de la différence avec la courbe donnée par Bosch (à moins que celle-ci ne soit une courbe trop idéalisée).

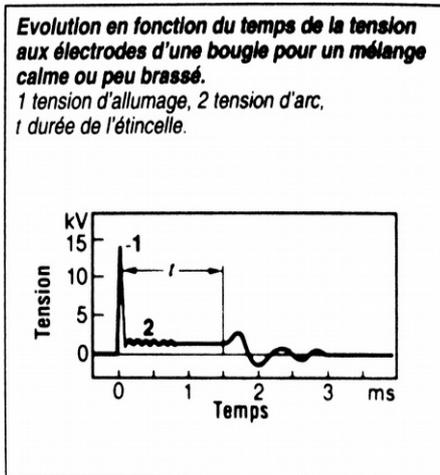


Fig 05

Bosch : amorçage 14kV, arc 1kV durée 1.5ms
tension inversée

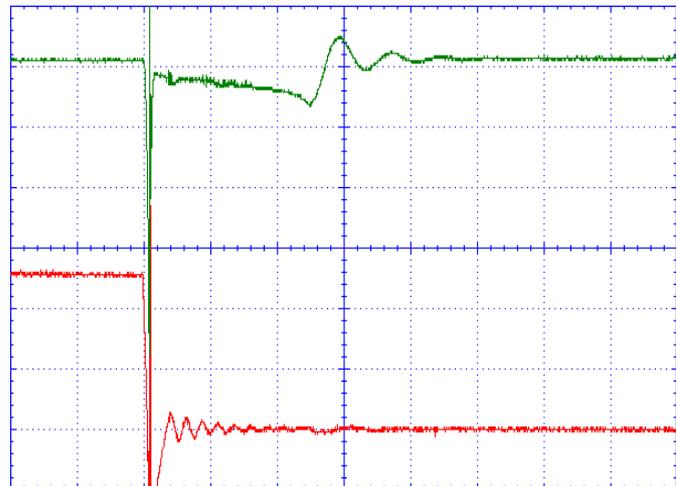


Fig 06

Ducellier : amorçage 12kV arc 950V moyen pour une durée de 1.3ms

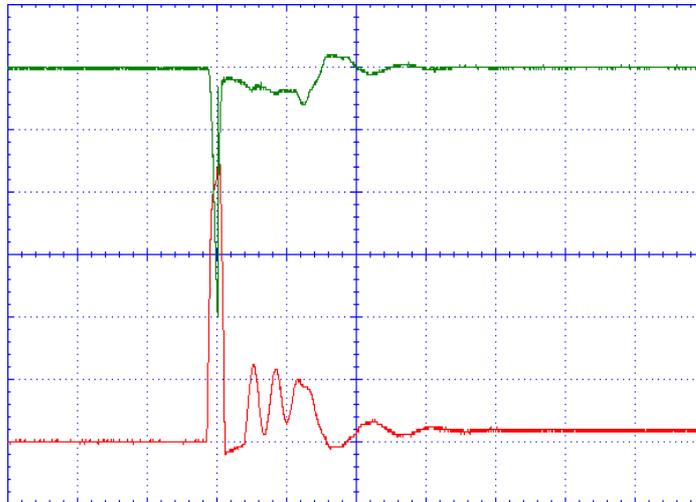
C'est la meilleure comparaison obtenue avec la figure Bosch, si je fais durer l'étincelle plus longtemps (en rapprochant les électrodes), la tension d'amorçage baisse, la tension d'arc baisse, et réciproquement si je fais durer moins longtemps, les tensions d'amorçage et d'arc augmentent. Ma difficulté est certainement que je ne crée pas l'étincelle dans un mélange air-essence (ce qui est quand même nettement plus compliqué pour mon labo domestique).

Effet de la valeur du condensateur

En remplacement le condensateur de $0,22\mu$ par un condensateur de $0,33\mu$ F, on obtient

Fig 07

vert $y = 20\text{V/div}(x220)$
rouge $y = 50\text{V/div}$
 $x = 500\mu\text{s}$
gap environ 10mm

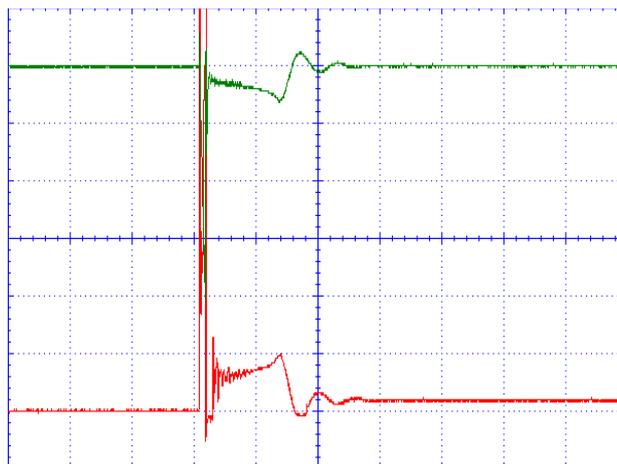


- l'étincelle dure $540\mu\text{s}$
- la tension d'amorçage et la tension d'arc ne doivent pas changer, puisque liées à des paramètres externes à la bobine, leur légère variation montre que ce gap a légèrement varié
- l'oscillation du primaire pendant l'arc est à $6,25\text{ kHz}$ et après l'arc est à $2,08\text{ kHz}$ soit un rapport 1,23 qui correspond à l'attendu, dû au changement de valeur de capacité. Ce qui implique que le condensateur influe sur les deux fréquences d'oscillation, pendant et après l'arc
- la tension de montée et la durée de l'impulsion au primaire avant amorçage ont légèrement changé : tension un peu plus faible

Sans condensateur

Fig 08

rouge $y = 50\text{V/div}$
 $x = 500\mu\text{s/div}$



Il ne reste que les capacités parasites du montage (très dépendantes donc du câblage). Vu les courbes, je n'affinerais pas la mesure. On note :

- durée de l'arc $540\mu\text{s}$, sa durée dépend donc peu du condensateur
- paramètres d'arc inchangés (tension d'amorçage, tension d'arc initiale et finale, dépendants du gap)
- oscillations à haute fréquence (pratiquement non mesurable) pendant l'arc, oscillation à $3,1\text{ kHz}$ après
- la tension primaire monte très haut et sort du cadre de l'oscilloscope soit plus de 350V . Je n'ai pas continué, au risque

de tuer le transistor, donné pour 1500V et de dégrader la sonde de mesure, donnée pour 600V. Ils ont été en fait protégés par la dégradation du condensateur. Depuis ces essais, j'ai changé de scope et de sondes.

Ce cas ne se produit pas dans l'allumage normal, puisque sans condensateur, une étincelle se forme entre les points du rupteur, absorbe l'énergie et empêche ce comportement. Dans les allumages électroniques, on utilise souvent un écrêtage par diode Zener, ou un contrôle strict des paramètres tension/courant/durée.

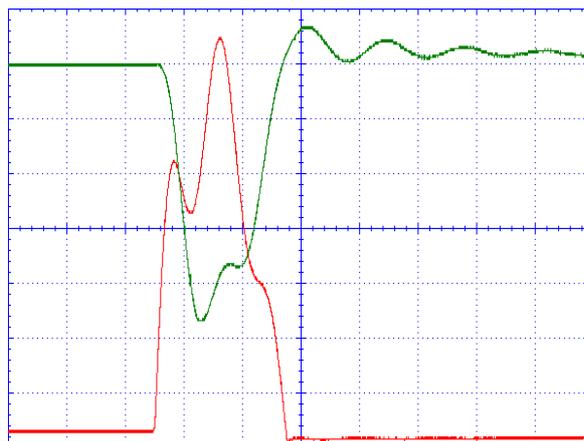
Voir aussi les mesures sur la bobine de Solex (page 24), où j'ai pu diminuer la capa à $0,11\mu\text{F}$, la tension primaire monte alors à 600V et la durée d'impulsion diminue

Essai sans bougie

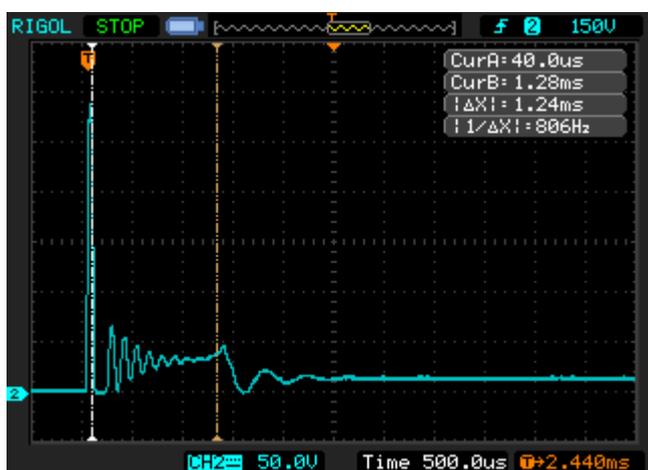
Sans « bougie » (gap infini) le début de la courbe est identique, il semble y avoir un début d'amorçage (probablement interne et correspond sans doute au « tic » entendu dans la bobine) et la tension monte ensuite bien plus haut, à 370V. Il semble de plus avoir d'arcage interne à la nouvelle crête de tension. Cela pourrait être dû à la vaporisation de l'huile contenue dans la bobine et la bulle chaude ainsi créée entre les points conducteurs les plus proches serait plus isolante que l'huile. Si la bobine est remplie d'asphalte (appelé brai ou goudron il y a quelques dizaines d'années), cet amorçage va créer des traces charbonneuses, et après un certain nombre d'arcages internes, le secondaire finira par un court-circuit. La tension crête atteint 20,5kV la tension d'arc interne est de 16,3 kV. On n'est pas entré dans la zone de claquage du condensateur (utilisable à 400V) ce qui aurait conduit à sa dégradation partielle, l'énergie étant ici limitée et le condensateur de type cicatrisable. Pour éviter ce problème dans les magnétos, quand la protection par immersion dans l'huile est impossible, on place un éclateur interne qui va décharger la bobine si la sortie bougie est déconnectée.

Fig 09

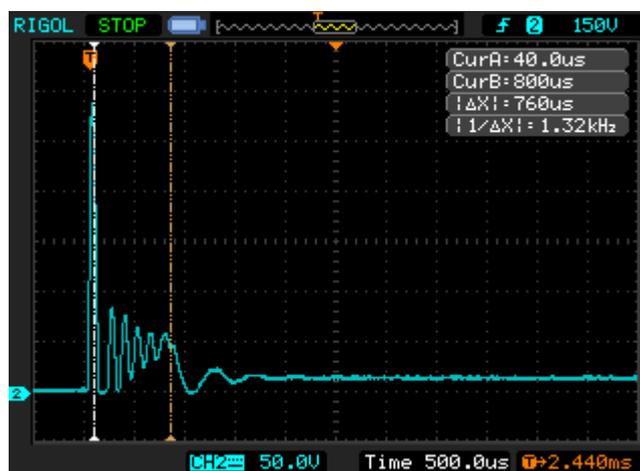
primaire rouge $y=50\text{V/div}$
 secondaire vert $y=20\text{V/div (x220)}$
 $x=100\mu\text{s/div}$
 condensateur de $0,22\mu\text{F}$
 gap « infini »



Influence de l'écartement bougie



éclateur 5mm (**bougie 0,5mm**)
 la durée d'étincelle est de **760 μs**



éclateur 10 mm (**bougie 1mm**)
 la durée d'étincelle est de **1,24ms**

(valeurs lues au primaire de la bobine Ducellier)

C'est un paramètre fondamental de la durée d'étincelle

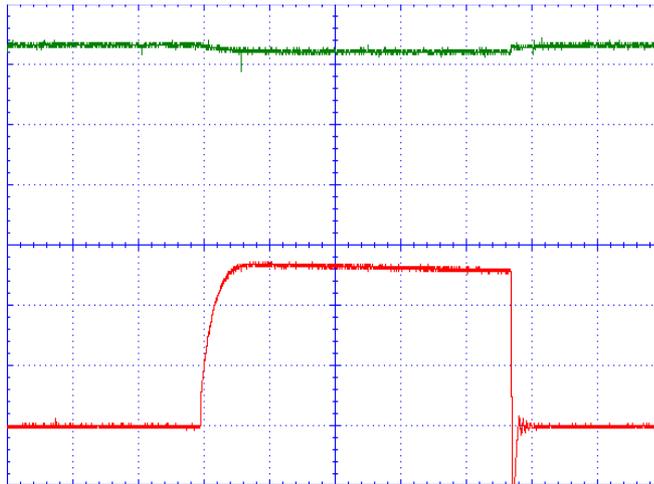
On se retrouve avec une problématique identique au temps d'extinction d'un relais avec une diode (ou une zener) de roue libre : le temps de libération de l'énergie accumulée dans la self dépend de la tension zener (l'écartement bougie n'est pas autre chose) $t=L*(1/Vz)$. En fait relation un peu complexifiée par le temps de rétro-action secondaire vers primaire (et la présence du condensateur) et par les impédances secondaires réagissant avec la bougie et sa résistance optionnelle. Avec un plus grand écartement, la tension d'arc est plus élevée, donc la puissance dissipée et plus élevée, et la bobine se vide plus rapidement.

Mesure de l'inductance secondaire

Mesure par l'effet au primaire

La fréquence plus élevée des oscillations pendant l'étincelle fait penser à une diminution de l'inductance pendant l'arc. En effet un arc se comporte comme un court-circuit à décalage de tension (en fait une résistance dynamique faible).

Fig 10
secondaire en court-circuit
Vert = tension batterie $y=2V/div$
rouge= courant primaire $y=1,212A/div$
 $x=2ms/div$



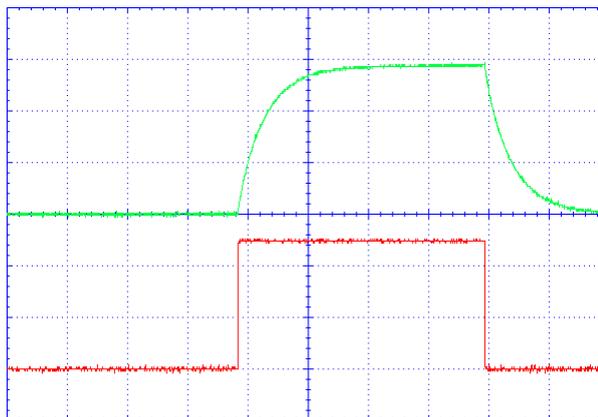
L'estimation de l'inductance secondaire se fait par l'observation de son influence sur le primaire : en court-circuitant le secondaire, on ramène ainsi au primaire les effets du secondaire dans leur ensemble (avec un certain coefficient bien sûr): inductance, inductance de fuite, résistances, capacités.

La pente du courant est beaucoup plus raide. La constante de temps est atteinte en $280\mu s$ l'inductance au primaire (inductance secondaire vue du primaire, de valeur $1,7mH$, et mise en parallèle avec l'inductance primaire) devient $1,4mH$.

La fréquence de résonance est maintenant de 9 kHz , ce qu'on retrouve, comme par hasard dans la fréquence d'oscillation du courant primaire, pendant l'étincelle.

Mesure directe

Fig 11
vert secondaire $y=1V/div$
rouge générateur $y= 2V/div$
 $x=5ms/div$
 $LR=2,16ms$



La résistance du secondaire est de $5,5k\Omega$, l'asymptote du signal se trouve à $3V$, la constante de temps (passage à 63% de V_{max}) est de $2,16ms$, ce qui donne une valeur d'inductance de 32 Henrys

Courants de bougie

Estimation par moyennage

Les 30 mJ disponibles se dissipent en environ 1300µs à une tension d'arc de 0,95kV moyens

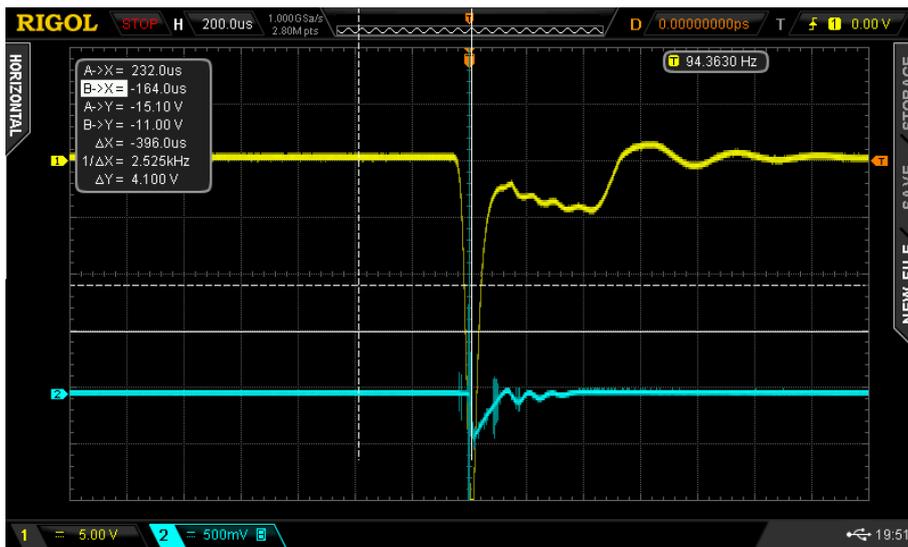
$P=E/t$ soit 30mJ/1300µs soit 23W, attention, ces 23W de puissance instantanée n'existent que pendant 1300µs

$i=P/U$ soit **24mA moyens**

Ce courant change avec le gap, comme les tensions d'amorçage et d'arc. Pour un gap de 12mm la tension moyenne est de 1,5kV la puissance moyenne passe à 30/220 soit 136W, et le courant à 90mA

Quelques mesures crédibles sur le Net annoncent une crête de courant à 60mA sur forme d'onde triangulaire, ce qui correspond à 30mA moyens. Nous sommes dans les mêmes ordres de grandeurs

Une mesure du courant bougie sur une résistance de pied donne la courbe bleue (en jaune la tension bougie) d'une bobine Solex



on a ici une pointe du triangle de courant de 30mA (sonde 100x)

La quasi-totalité de l'énergie est transférée à l'étincelle en une centaine de µs.

Rappelons qu'un courant de 30mA peut être mortel, s'il passe par le coeur.

Il y a une partie du courant beaucoup plus importante : l'instant où la conduction de l'arc commence par une avalanche à quelques millions de mégavolt par seconde, mais c'est extrêmement bref !

Remarques sur les chutes de tension

Si le circuit de bougie comporte une résistance antiparasite de 5000 Ω couramment utilisée dans le câble haute tension ou intégrée à la bougie, la chute de tension apportée par cette résistance sera de **120V** ($U=R \times I$, ce n'est pas négligeable par rapport aux 950V, et c'est aussi c'est de l'ordre de grandeur de la chute de tension, relativement indépendante du courant, apportée par un petit tube à décharge de gaz qu'on insère parfois dans le fil de bougie de molybdates (tubes au néon ou argon selon la couleur) pour le fun. La chute de tension apportée par le jeu entre le doigt de Delco et la tête de Delco est aussi notable. Comme que le courant qui traverse la bougie est le même que celui du Delco il y a un rapport entre la tension et la distance, mais dans le cylindre la compression augmente la tension par mm (loi de Paschen pour les pressions supérieures à 30mbar, $V=k * PD$) mais la présence de vapeur d'essence la diminue. Dans le cas « normalisé » d'étincelle à 1.3ms / 6mm/950V, un gap de 0,5mm va prendre sur la totalité de longueur d'étincelle dans l'air disponible de 6mm et aura besoin de 80V. Il ne faudrait pas trop cumuler les chutes de tension (résistances, distributeur et tube néon, gaps involontaires (par exemple des fils HT à résistance incorporée au carbone après multiples pliages, cyclages thermiques, ...) dans les fils haute tension et anti-parasites) si on veut conserver un allumage fiable, car selon cette même loi de Paschen, on peut allumer correctement à « basses » pressions et ne plus allumer aux hautes.

Dans un allumage multi-cylindres à étincelle perdue, les deux bougies ont le même écartement et le rapport des tensions bougie active/bougie inactive est directement proportionnelle à la compression au point d'allumage (à 15% près à cause de la polarité incorrecte d'une des bougies).

Rappel : la pression au point d'allumage dépend fortement du papillon (et il est très difficile d'avoir des données sur la pression

papillon au ralenti on trouve un peu plus facilement des données sur cette pression plein gaz) : au ralenti ou en descente le papillon ferme l'arrivée d'air et l'admission aspire « du vide » alors qu'en plein gaz, le papillon est à pleine ouverture et l'admission aspire du mélange carburé à un bar.

Sur les foires : l'**Eclator** (à rédiger)

Bobines crayon

Bobine Sagem

Ces bobines, d'utilisation courante aujourd'hui représenteraient un progrès, sauf chez un constructeur où la longévité a été fortement diminuée, voir les nombreux problèmes de « bobines Sagem ». Ces bobines faites sur spécifications constructeur ou choisies par lui (ce n'est pas par hasard, puisque ce constructeur remplace les bobines défectueuses par des neuves, toujours les mêmes, même plus de dix ans après la fin de fabrication de bobines par Sagem alors que ce fabricant en est au « zéro stock ». Depuis le temps, à moins d'être totalement autiste, ce constructeur sait parfaitement ce qu'il en est. Ces bobines ne baignent pas dans un bain d'huile mais dans de l'époxy rigide, et les couches sont sans film isolant entre couches. Avec le temps, les cyclages thermiques permanents et les vibrations, il y a destruction partielle de l'émail isolant, et l'isolement entre les couches disparaît. Un arc finit par se créer entre couches puisque la tension est de 2 kV entre les extrémités de deux couches consécutives et que le fil émaillé résiste habituellement à moins d'un kV (bobinage vraisemblablement en boustrophédon), amenant à un court-circuit entre celles-ci. **Le constructeur est inattaquable sur le sujet de la sécurité**, puisque qu'il suffit de 0,2 mJ pour une bougie moteur chaud et mélange bien réglé, alors qu'au démarrage à froid il faut parfois plus de 30mJ pour partir. L'énergie bougie sera simplement plus faible et le moteur ne tombera pas en panne en accélérant pour doubler un poids lourd une fois la panne survenue, mais simplement il tournera « sur trois pattes » au prochain démarrage à froid, et ne sera donc pas enclin à rouler puisqu'il sait qu'il va abîmer son pot catalytique. Le problème ne vient pas du primaire comme on peut le voir sur le Net.

Tout cela ne doit rien au hasard¹ (sinon le constructeur remplacerait immédiatement toute bobine Sagem par une autre identique) et c'est pourquoi j'ai perdu toute confiance en ce constructeur et n'achète plus ses voitures, puisque je suis naturellement tenté de penser maintenant que ce constructeur invente tout moyen de créer des pièces d'usure là où il n'y en avait jamais eu. En plus, cerise sur le gâteau, mon « professionnel » (concessionnaire quand même), s'étonne et « voit cette panne pour la première fois » (j'ai découvert par la suite sur internet, que des centaines de milliers d'utilisateurs pestent contre ces bobines, mais sans doute sans prévenir mon professionnel). Ce professionnel a conduit la voiture à une quinzaine de km, où se trouve la « valise » ce qui use prématurément le catalyseur, faut bien se générer du boulot pour la suite, alors que le diagnostic d'une panne si courante est immédiat, même pour un mauvais mécanicien.

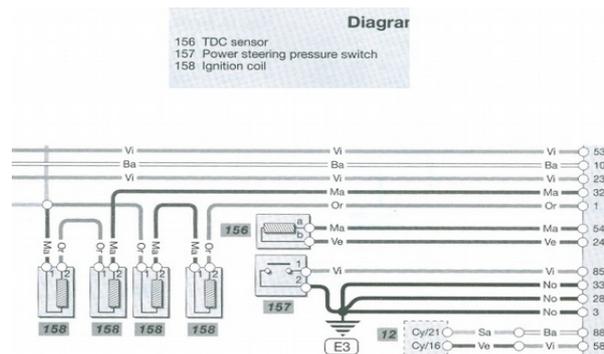
En plus, il suffit de monter des bobines plus sérieuses, par exemple des Beru (ou autre marque sérieuse), pourtant à moitié prix des « **pièces d'origine** », et qui dureront la vie de la voiture, comme d'ailleurs la plupart des bobines d'allumage d'il y a 40 ans (fine allusion à une publicité des anciennes voitures de ce constructeur). On trouve sur le Net que Peugeot avait commencé à les utiliser sur des 206 mais a vite reculé d'horreur, pas notre constructeur.

J'ai eu une autre voiture avec le même moteur, du même constructeur, mise sur le marché en Hongrie, les bobines ne sont évidemment pas des Sagem ! Et fonctionnent sans histoire. C'est peut-être réservé à la vache à lait française.

Les bobines crayon, une par bougie, sont montées sans distributeur, et souvent en série, il s'agit donc en fait de **bobines 6V** (au moins dans le montage dont je reproduis un extrait du schéma, montage qui doit être relativement courant). Il n'y a alors que deux commandes d'allumage (deux transistors) dans le calculateur, et une étincelle « perdue » par bougie.

Noter qu'on respecte la polarité des étincelles, les points 1 et 2 des bobines sont dans le même sens électrique.

Le secondaire haute tension n'est pas représenté ici.



1 C'est clairement de l'« **obsolescence programmée** » terme impropre, mais utilisé par tous les journalistes, il s'agit ici de durée de vie diminuée (plus ou moins) intentionnellement. Ce même constructeur a aussi monté sur des monospaces, pendant des années, un tableau de bord consommable (prix relevés de la réparation entre 800 et 1200€) où la panne est due à une pièce que l'amateur peut se procurer à 8€ (que dire alors du prix constructeur!) mais là, la durée de vie n'est pas aussi bien prévisible que les bobines, car cette durée de vie dépend des conditions d'utilisation : affichage jour/nuit, nombre de chiffres allumés. Il semblerait même que de légères modifications thermiques pourraient pérenniser la réparation et la faire durer un temps inadmissible pour le constructeur. Les mêmes journalistes (adeptes de la théorie du complot) appellent aussi obsolescence programmée la durée de vie des lampes, qui me semble beaucoup plus le résultat d'un compromis industriel entre rendement, durée de vie et survolage, le changement d'un paramètre influe énormément sur les autres, il a bien fallu uniformiser, par exemple une surtension de 5 % diminue la durée de vie de 60 %. L'exemple ressassé d'obsolescence programmée d'une fameuse lampe de caserne de pompiers californienne est de plus très mal interprété : on ne connaît pas la nature du filament, sa température de fonctionnement actuelle et sa température prévue par le constructeur ni sa tension de fonctionnement prévue, (un sous-voltage important augmente énormément la durée de vie) et l'histoire de cette lampe n'est connue que depuis les fifties. (papier en préparation sur le sujet)

Ce montage en série entraîne que le « RUPT » d'une bobine et que le point « +BAT » de l'autre sont reliés ensemble et que ce point se promène de 0 à 6V puis à 260V, ce qui, considérant les kV en jeu, est sans influence notable, c'est juste la compréhension fine qui est un peu plus difficile.

Analyse de construction de la bobine Sagem

Ouverture de la bobine



bobine Sagem et Beru la différence de longueur du plan de pose à l'extrémité de bougie est compensée par le ressort interne de contact THT



ouverture bobine Sagem en haut à droite ressort acier qui pince le cylindre de blindage magnétique (fer cadmié bichromaté jaune) on voit le bobinage primaire par la fente

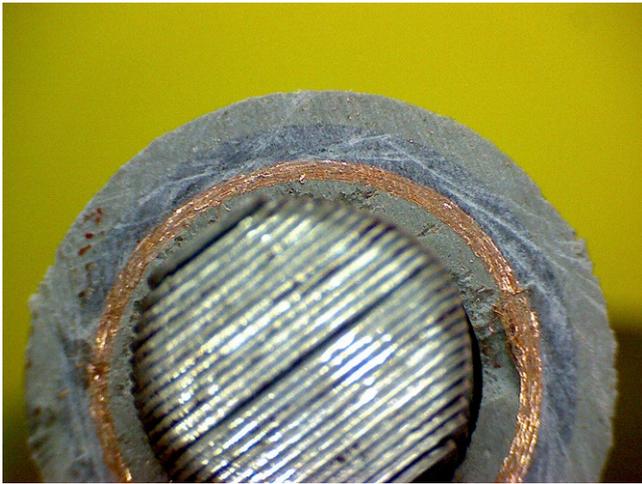


Extrémité de la bobine : en haut les extrémités du fil du primaire qui sont pincées dans des clips qui dénudent le fil à l'insertion et qui pincement les cosses de sortie, en bas le point froid du secondaire relié à la cosse colorée en vert par le chapeau. Ce point n'est pas relié en « dur » à la cosse ce qui permet facilement de placer une broche supplémentaire en changeant simplement le chapeau, ce n'est pas pour avoir la sortie THT isolée (l'isolement serait alors très beaucoup insuffisant) mais pour avoir, par exemple, une mesure d'ionisation et détecter les « misfires » (ratés d'allumage, obligatoire depuis OBD-2)

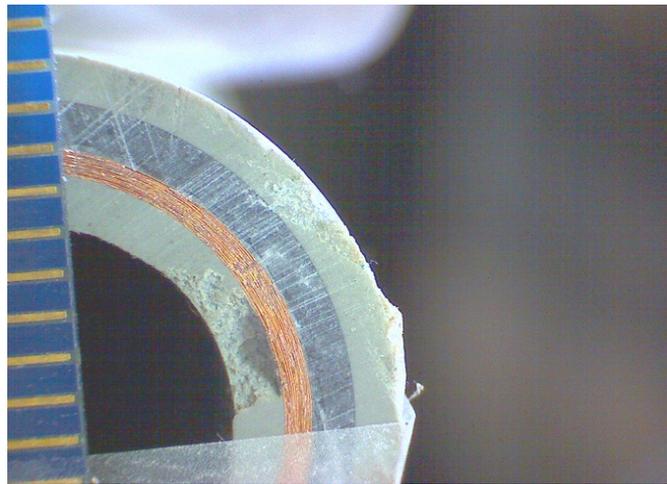
On voit le jeu d'environ 0,5mm entre le bobinage et la carcasse magnétique



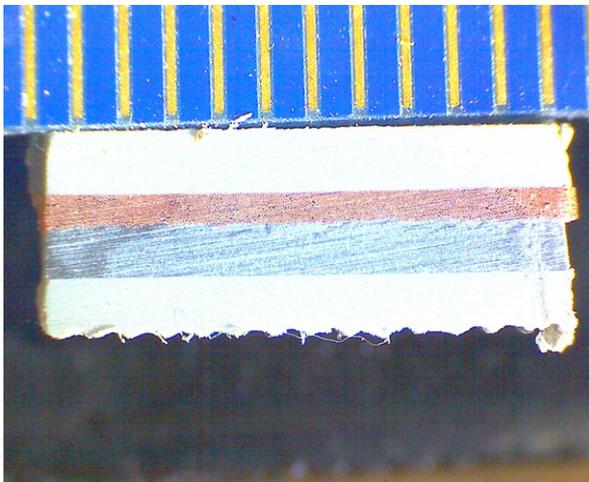
Chapeau de contact : il relie la bobine au connecteur externe. Les doigts s'insèrent dans les clips photo de gauche. Il y a 3 doigts pour 2 broches, deux broches sont reliées dans ce chapeau



coupe transverse avec noyau magnétique en place
le secondaire est bien isolé du primaire et du noyau. Le noyau se promène librement dans son logement (sans conséquence)



détail après premier polissage, coupe transverse (le long des fils)



coupe sagittale (perpendiculaire aux fils)

les deux coupes confirment l'absence de film isolant entre couches
Alors qu'il y a amplement de la place disponible !
Le bobinage occupe 0,6mm

détail du secondaire : on voit
le faible foisonnement du cuivre
(rapport cuivre/isolement)



Ouverture de la partie haute tension couches concentriques successives

- noyau en tôles de fer empilées (le contrepiéteur clame qu'on y empile son vieux fer) formant un cylindre de 10mm. Le noyau n'est pas fixé et se promène quand on secoue la bobine. Sans aucune conséquence ! Sauf pour certains « analystes » du Net qui croient y avoir trouvé le problème
- tube plastique
- bobinage environ 15 couches dans 0,6mm, **PAS de film isolant** entre couches. La place est pourtant disponible
- remplissage (sans doute époxy. Les couches pourraient facilement être séparées par un isolant, il y a la place, puisque le bobinage remplit un tiers seulement de la place disponible) qui apparaît à l'extrémité de la bobine
- tube plastique avec empreinte pour loger plus facilement le fil, diamètre ext 18mm autour duquel sont bobinées les deux couches du primaire

Il y aurait largement la place de mettre du fil plus gros au secondaire (meilleure impédance de sortie et donc moins de pertes résistives dans la bobine, mais c'est plus cher). En général dans les bons transformateurs, on cherche à remplir de cuivre toute la place disponible et à bien assurer les isolements. Il y a ici environ 2mm disponibles pour le bobinage mais seulement 7/10 environ occupée par le cuivre (une quinzaine de couches, SANS film isolant)

Caractéristiques :

résistance primaire **0,55 Ω** mesurée au milli-ohmmètre

résistance secondaire **9,76 k Ω** (là, le multimètre numérique est OK) le double de la bobine Beru, le fil est donc estimé à la moitié de la section du fil Beru, pour coûter moins cher sans doute, on voit bien que cela ne remplit pas l'espace disponible.

rapport de transformation **100**

primaire fil 0,73mm 187 spires soit 11,6m de fil sans doute fil de gauge 21 (0,724mm résistance des 11m = 0,49 Ω auxquels il faut ajouter les résistances de contact des clips et des broches de connecteur) Il n'est donc pas question de brancher cette bobine en permanence sur une batterie (le courant serait de 24A avec un câblage parfait) ou de la commander par un rupteur classique, moteur arrêté. Son fonctionnement normal est évidemment contrôlé par une commande en courant/temps du calculateur.

secondaire environ 18700 spires soit 1 km environ de fil, le fil fait environ 5/100 de mm, isolant compris Il est probable qu'il s'agit de fil de gauge 45 (diamètre 4,5 /100 de mm résistance 7000 Ω /km) si le fil passe à la gauge 46, la résistivité passe à 8700 Ω /km et le même nombre de spires donnera une résistance secondaire de 8,7 k Ω (ceci pour les ayatollahs du Net qui décrètent qu'une bobine, qui n'a pas exactement la résistance connue, est mauvaise, le fabricant de bobines, ou de voitures réduit parfois ses coûts et change la taille de son fil, par incrément d'un point de gauge, ce n'est pas une dérive ni un signe de dégradation).

Si les spires du secondaire étaient bien rangée (comme sur les bobine à durée de vie « éternelle » par exemple sur les Mobylettes) les 60mm disponibles admettent 1176 tours, il y a donc 14 couches, qui, rangées, demandent une épaisseur de 0,63mm ce qui correspond bien à l'épaisseur constatée. Il n'y a donc aucun film isolant entre couches. Si le bobinage était en boustrophédon (à la grecque, fils bien rangés, en directions alternées) la tension entre deux extrémités de couches atteint $18 \times 2/14 = 2,5\text{kV}$, or de nombreux fabricants de fils de cuivre ne donnent qu'une tension de claquage (et la tension d'utilisation devrait être bien plus faible) de 600V pour cette taille, pas étonnant que cela claque, ce qui est étonnant c'est que cela dure si longtemps (20000km) avant destruction, l'imprégnation époxy aide à l'isolation et a pu permettre de passer tout juste la qualification.

inductance primaire 4,2mH mesuré avec une précision moyenne, par fréquence d'oscillation après l'étincelle, avec capa de 0,22 μ F

énergie de l'étincelle 37mJ

pas de résistance série interne (elle est incluse dans la bougie, ou bien on compte sur la forte résistance du secondaire pour la remplacer)

tension d'amorçage 18kV

tension d'arc 1,5kV

durée d'arc 320 μ s (gap 9mm)

La THT produite culmine à 18kV à l'amorçage ce qui fait 1300V entre couches et l'isolation doit tenir !

Or la construction du noyau THT montre des matériaux bien différents :

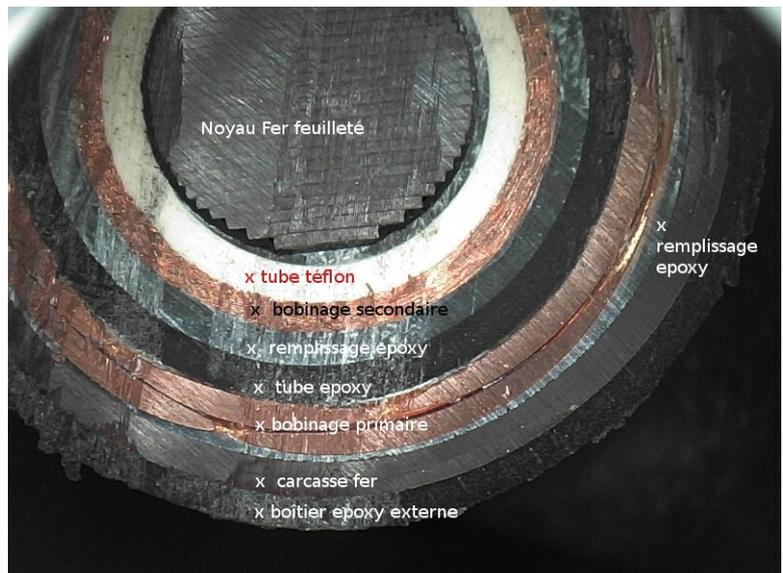
- fer doux
- tube plastique PVC
- fil de cuivre
- epoxy de remplissage
- tube plastique PVC

Bobine Beru ZS052 0 040 100 052

La bobine n'est pas démontable comme la bobine Sagem, elle est imprégnée d'époxy dur.

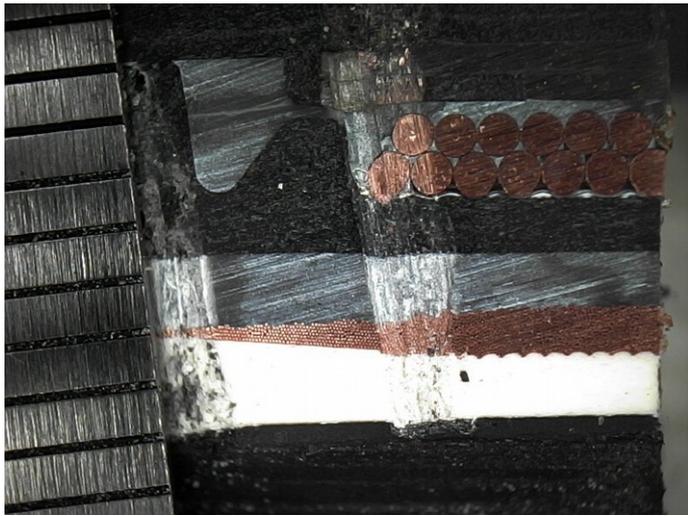
Coupe de la bobine :

Le fil secondaire (gauge 44 AWG = 5,5kohm/km) est bobiné sur un tube de téflon, reconnaissable à sa dureté bien moindre que celle de l'époxy et un des meilleurs isolants haute tension. Tous les espaces vides sont remplis, sans doute par un époxy coulé. Le bobinage primaire (18AWG 0,82mm en deux couches) est bobiné sur un tube en époxy dur. Le noyau en fer est maintenu par un remplissage approximatif à l'époxy, juste suffisant pour ne pas laisser l'impression inspirant la défiance, de quelque chose qui bouge quand on secoue ; mais sans aucune importance sur le fonctionnement.



En soignant l'éclairage et la polarisation, on peut mettre en évidence la présence d'un isolant entre les fils du secondaire. La couleur gris-brun, qui apparaît lors de l'échauffement localisé, dû au polissage, fait penser à un film flexible entre les couches ou à un remplissage époxy (qui est réussi puisque pénétrant toutes les couches), d'autant plus qu'on peut bien compter les couches, et que les couches sont bien rangées. Ces grains pourraient aussi être constitués de l'émail fondu lors du polissage : peu crédible car le polissage a été fait à la meule fine à eau, et l'émail tient au moins 150°C.

Le bobinage utilise un peu plus que 0,91 mm dans l'espace possible, soit 26 % de plus que les 0,71 mm de 14 couches de fil 44 AWG sans film (comparé aux 0 % de la bobine Sagem).



Cette coupe montre l'absence de film isolant (qui déborderait à gauche, là où il y a peu de couches). Par contre le foisonnement est plus important que chez Sagem car on distingue bien mieux l'espace hors cuivre. Ce qui signifie que la couche d'émail est plus importante, et que l'isolement du fil est donc meilleur.

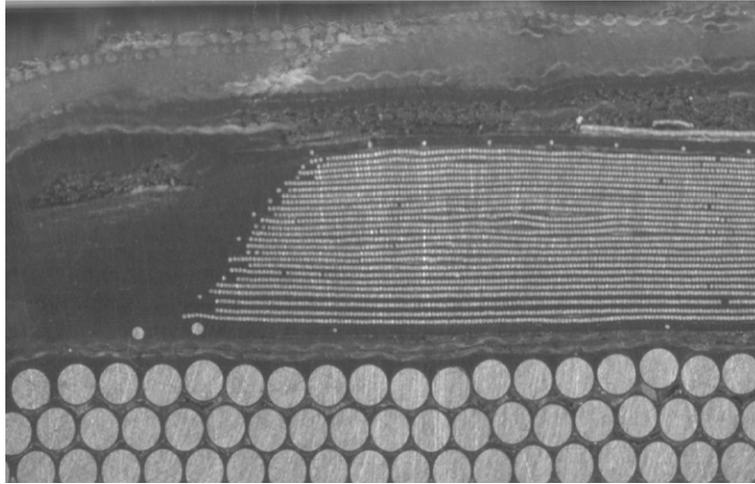


Beru utiliserait donc du téflon et de l'émail renforcé, de performances supérieures aux matériaux Sagem et les process apparemment mieux maîtrisés, permettent un meilleur remplissage des vides par l'époxy.

La bobine Beru, d'origine germanique, est mieux fabriquée, et utilise des matériaux plus chers et mieux adaptés que la bobine Sagem.

Le résultat est flagrant : la Sagem est mal fabriquée et ne dure pas ! Et elle est plus chère (pour le client) que la bobine Beru

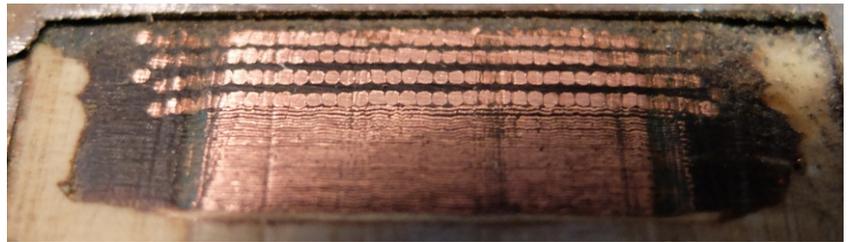
Comparaison avec la construction de bobine de volant magnétique de scooter et de Mobylette des sixties



Bobine Lambretta

(source internet inconnue)

Les spires du secondaire sont bien rangées, l'isolement est soigné, et on distingue nettement la présence d'un film d'isolement entre couches secondaires. La bobine Sagem montre, quant à elle, des bobinages secondaires imbriqués couche dans couche, on n'y voit ni l'emplacement ni l'épaisseur d'un film isolant, alors que la place est disponible !



Bobine Novi (Mobylette)

séparation par film isolant, et rangement des couches

utilisation de deux matériaux de remplissage. L'un (brun) est l'empilage des films isolants inter-couches, et l'autre plus dur, la protection mécanique et électrique

Analyse de quelques causes de panne probables

L'accumulation de matériaux différents, avec la différence consécutive des coefficients de dilatation cuivre ($CTE=17 \times 10^{-6}$, celui de l'epoxy de 20 à 100, et variable en fonction de la température et du degré de polymérisation) conduit inmanquablement à des effets thermiques et l'isolement entre les couches de cuivre se détruit à la longue. Serait-ce un hasard? et il y a alors charbonnage ou court-circuit entre couches. Perdre 2000 ou 4000V est sans conséquence pour un moteur chaud mais très important pour un moteur froid.

Un autre effet moins probable est la fatigue thermique du contact fil primaire-clip de contact. Il faudrait mesurer ou connaître le CTE (coefficient de dilatation thermique) du métal du clip, celui du cuivre est bien connu. Ce défaut devrait être évité car il conduit à la perte de conduction primaire et donc, comme les bobines sont en série par deux, à la perte d'allumage de deux cylindres à la fois.

Le point froid du secondaire est relié au clip par un métal qui semble moins rouge que le cuivre, à confirmer, car la pince coupante peut entraîner du métal blanc de la couche externe dans la section de coupe. Les effets thermiques du point froid pourraient conduire à la perte de contact du secondaire, ce qui est « plus » admissible (puisque cela conduirait à la perte d'un cylindre seulement quand les bobines sont en série deux par deux), mais compte tenu du faible courant et d'un gap admissible, c'est fort peu probable.

Tout cela ressemble bien à un élément à **durée de vie programmée** (appelée improprement « **obsolescence programmée** »), la moyenne des utilisateurs constatent une durée de 20 000 km selon le buzz internet, et mon expérience personnelle où, cerise sur le gâteau le garagiste, sous prétexte que la « valise » se trouvait dans un autre établissement à 15km (il est donc incapable de diagnostiquer une panne classique sans valise ?), et sur trois cylindres, conduite normalement interdite, vu les risques de détérioration du catalyseur ! Je n'ose croire que c'est fait exprès.

Sagem, dans les mêmes années s'est pourtant montré capable de produire des bobines sans problème de fiabilité. J'ai possédé une AX Citroën avec bobine double Sagem, c'était une voiture très solide : 280000 km, embrayage, joint de culasse et bobine d'origine. Je n'oserais croire que c'est sur demande du mauvais constructeur, qu'elle a sorti ces calamités de bobines.

Autres bobines

Bobine à circuit fermé Magneti Marelli

sur Clio 1,2

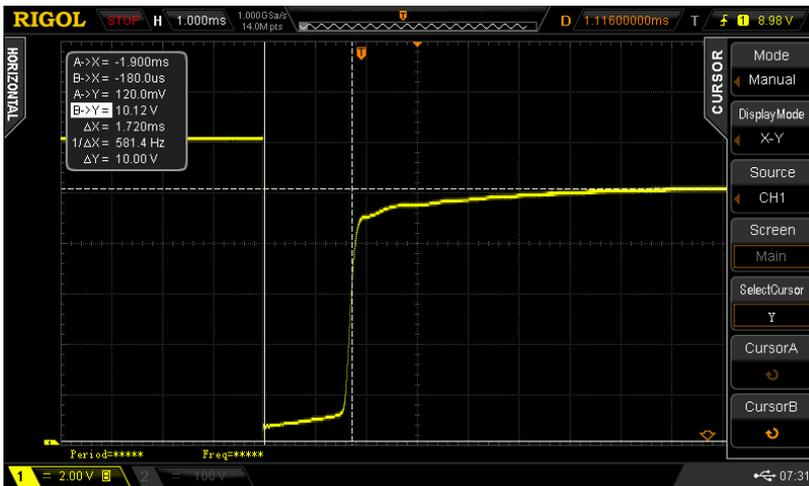
Magneti Marelli SAE 504 L 5H

rapport de transformation 90

résistance primaire	0,46 Ω
résistance secondaire	2650 Ω
inductance	6,3 mH
énergie @5A	80 mJ

De par sa résistance interne, cette bobine ne peut fonctionner que commandée par une électronique (calculateur), si on la commande par un rupteur, elle partira très rapidement en fumée au démarrage, ou détruira le câblage/fusible.

Le pic de haute tension théorique serait de 24,6kV (tension pointe de 300V au primaire, multipliée par le rapport de transformation) qui ne peut être atteint, car l'étincelle s'amorce avant (à 18,4kV pour 10mm de gap)



charge de la bobine via le module d'allumage RMZ, à courant de 3,8A sous 12V. La bobine met 1,7 ms à se charger



tension aux bornes de la capa éclateur 8mm

La surtension atteint 276V et la durée d'étincelle est de 700 μ s
la tension secondaire atteint 23 kV

Magneto aviation Bosch 1929

une magnéto comprend une vraie bobine d'allumage, comparable fonctionnellement aux autres bobines étudiées

extrait de : Report 58, National Bureau of Standards USA, 1929, F Silsbee, pour évaluer l'allumage des avions

résistance primaire 0,5 Ω

résistance secondaire 2,5 k Ω

inductance primaire 15 mH

courant 4A (ce qui, combiné avec la résistance primaire et un dwell de 63%, fait penser à une bobine 4 V, si ce courant est le courant max, la tension serait de 2 V, pas important, puisque la tension est la tension générée par le champ magnétique tournant, à l'intérieur même du primaire, juste pour comprendre)

rapport de transformation 50

tension d'arc bougie 600V, tension d'amorçage bougie 6kV (avec les taux de compression, et l'écartement des électrodes de l'époque)

énergie à 1000rpm : 90mJ

Throughout this report frequent reference will be made to numerical values of the various quantities which may be expected in a typical case. For this purpose a magneto having the constants in the following Table I has been chosen. These constants do not precisely fit any individual magneto but are representative of values measured on a number of different types recently tested.

TABLE I.—Constants of Typical Magneto.

Primary turns (N_1)	160.
Secondary turns (N_2)	8,000.
Ratio of turns (n)	50 : 1.
Primary resistance (R_1)	0.5 ohm.
Secondary resistance (R_2)	2,500 ohms.
Primary inductance (L_1)	0.015 henry.
Mutual inductance (M)	0.74 henry.
Secondary inductance (L_2)	36 henrys.
Primary condenser (C_1)	0.2 microfarad.
Secondary (distrib.) capacity (C_2)	50 micro-microfarads.
Normal speed of operation	2,000 r. p. m.
Primary current at break (I_b)	4 amperes.
Maximum current in spark	0.075 ampere.
Breakdown voltage of gap	5,000 volts.
Sustaining voltage of gap	600 volts.

OUTLINE OF OPERATION.

The high tension magneto combines in a single machine the functions of an electric generator and of an induction coil, and these two functions are to a considerable extent independent of one another.

Bobine-crayon Beru

Bobine-crayon = COP : coil on plug

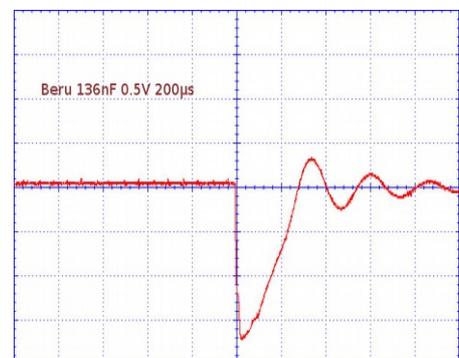
résistance primaire 0,51 Ω

résistance secondaire 5810 Ω

inductance 3,5 mH

énergie @5A 44 mJ

rapport = 60



Bobine-crayon Renault

résistance primaire 0,55 Ω

résistance secondaire 9750 Ω

inductance 3,1 mH

énergie @5A 40 mJ

bobine moto japonaise Kawasaki (ZXR750)

résistance primaire 2,86 Ω

résistance secondaire 14500 Ω

inductance 4,5 mH

énergie @12V 40 mJ

rapport 90

Bobines Lucas



bobine Lucas 17M12 date code 26/71

R primaire 3,7 Ω
 R secondaire 5,24 k Ω
 rapport 56
 inductance 13mH
 énergie 65mJ

bobine Lucas 17M12 date code 17/74

R primaire 3,67 Ω
 R secondaire 4,95 k Ω
 rapport 54
 inductance 13mH
 énergie 70mJ

bobine Klitz ACQU1 #1

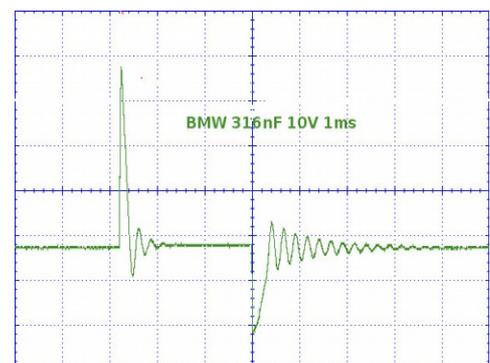
R primaire 2,89 Ω
 R secondaire 4,35 k Ω
 rapport 62
 inductance 10mH
 énergie 89mJ

bobine Klitz ACQU1 #2

R primaire 2,85 Ω
 R secondaire 4,35 k Ω
 rapport 60
 inductance 10mH
 énergie 91mJ

Bobine BMW R1100

Ref 1 341 978 – 0 040 100 224
 r primaire 0,49 Ω
 R secondaire 7,45 k Ω
 rapport 85
 f(316nF) 3,906 kHz d'où **L= 5,26mH**
énergie $\frac{1}{2} LI^2 =$ **53 mJ** (si I=4,5A pilotés par le calculateur)



bobine Solex VSX2200 SEV

Taille représentative, la longueur fer est de 10 cm

$$R_p = 1,30 \Omega$$

$$R_s = 2,67k$$

$$L_p = 8,77 \text{ mH (@}3,6 \text{ kHz } 0,22\mu\text{F, fréquence de fonctionnement)}$$

$$L_p \text{ cc} = 0,53 \text{ mH (@}14,5 \text{ kHz } 0,22\mu\text{F)}$$

$$L_s = 5,05 \text{ H (@}150\text{Hz } 0,22\mu\text{F)}$$

$$L_s \text{ cc} = 0,45 \text{ H (@}500 \text{ Hz } 0,22\mu\text{F)}$$

$$E(6V) = 93 \text{ mJ}$$

$$E(3,8A) = 63\text{mJ}$$

la mesure de rapport de transformation devrait se faire à la fréquence de résonance primaire, c'est le mode de fonctionnement nominal

$$tr = 23 \text{ (racine } L_2/L_1)$$

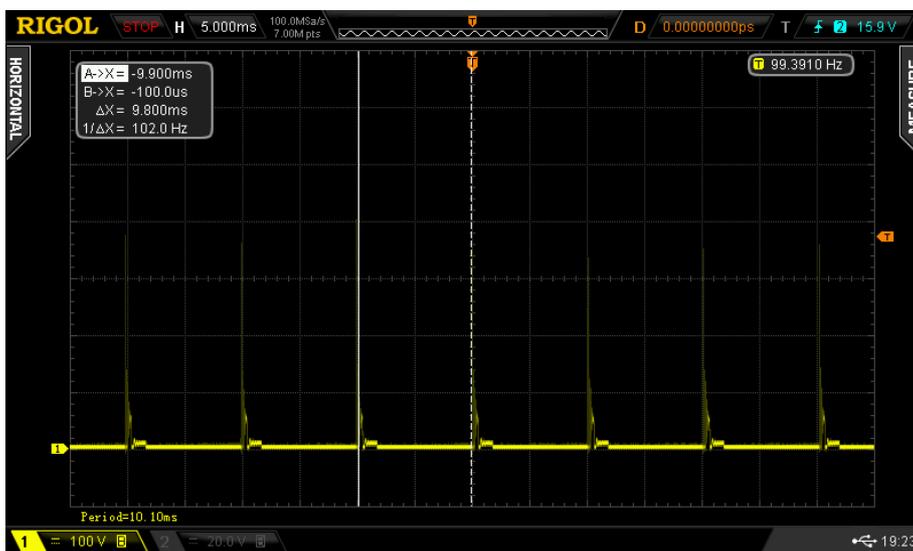
$$tr = 33,9 \text{ (}160,7/4,74 \text{ mult)} \quad tr = 37,8 \text{ (}4,975/131,34 \text{ div)}$$

C'est une bobine à (relativement) faible rapport de transformation et de bonne réputation.

Quand on la pilote correctement, elle est capable de grandes choses.

avec un condensateur de $0,11\mu\text{F}$, elle monte allègrement à 6000 rpm (c'est pour un Solex, mais il y a des furieux qui emmènent ces bécans à des 90 km/h!)

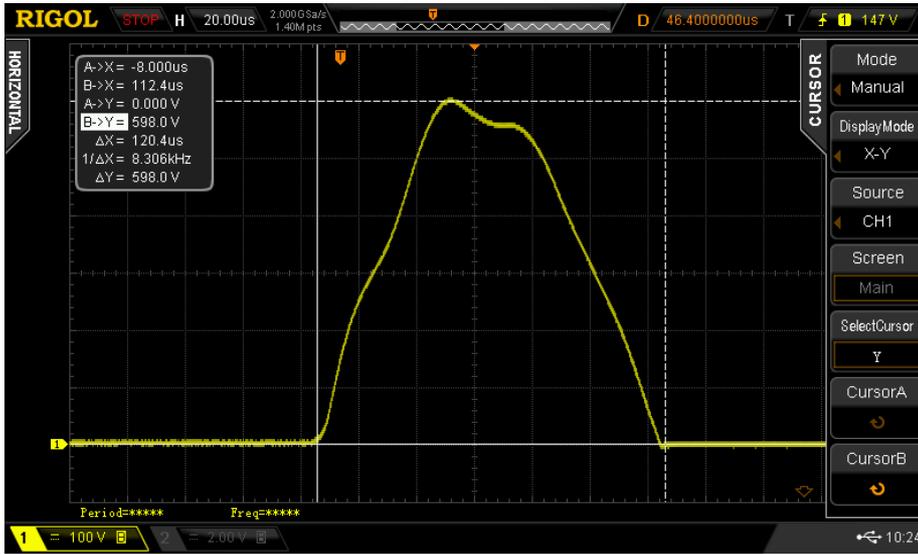
Dans ces conditions, il faut que le rupteur ou le module d'allumage le supporte, car la surtension à l'ouverture du rupteur monte alors à 600V. Tous les modules avec protection (Zener externes ou internes aux composants) genre Velleman, Selectronic en sont totalement incapables, le module RMZ décrit par ailleurs sur ce site, le supporte fort bien, conçu dès le départ pour ces extrêmes. Il est ici piloté par un μ contrôleur, ébauche d'un futur Bermascope.



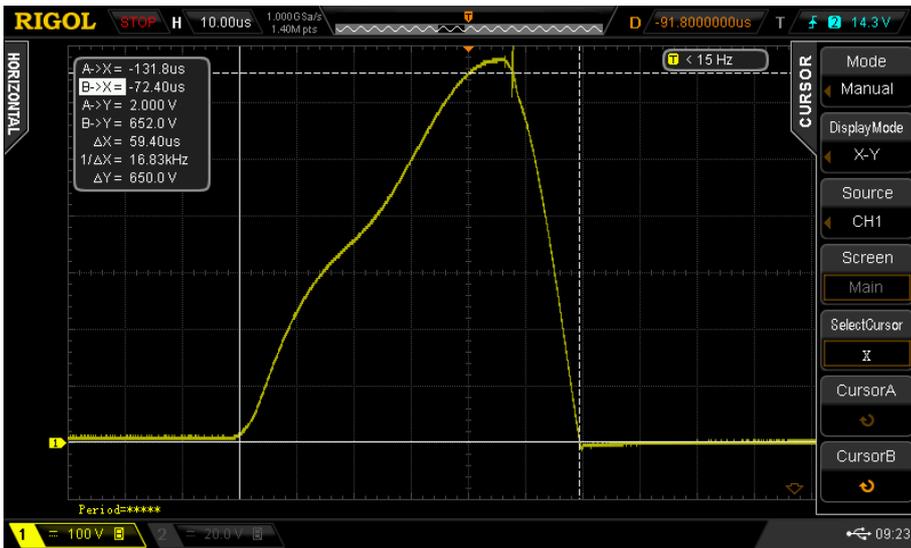
À 6000rpm, 100 mm à l'éclateur soit 1,4mm à la bougie Solex

Essais de surtension à ne pas répéter beaucoup, limiter à 2-3 essais sans amorçage (éclateur ouvert, isolants rapportés), mais cela permet de mesurer la totalité de l'impulsion qui s'abrège avec l'amorçage de l'arc (normalement un peu avant le maximum), le retard depuis l'ouverture du rupteur varie de 40 à 100µs. On a en gros une 1/2 sinusoïde. J'ai comparé avec les conditions d'amorçage.

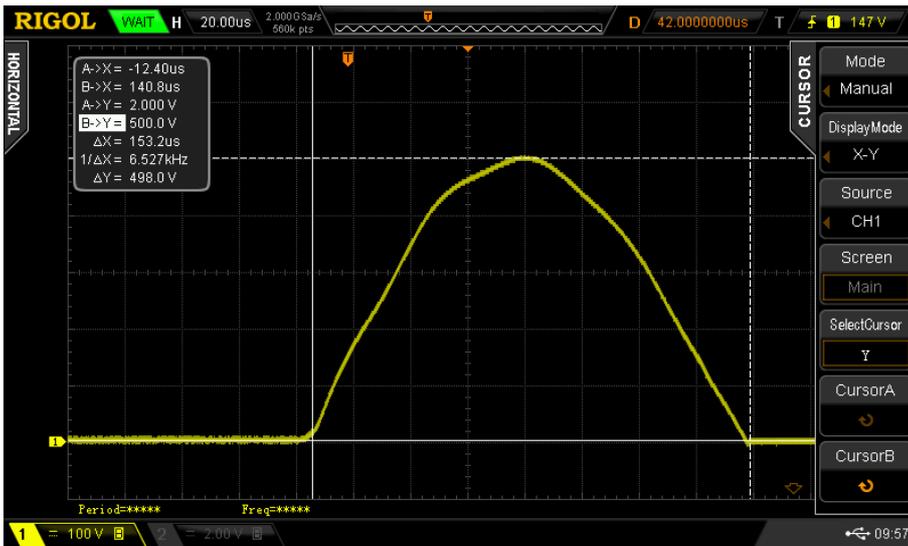
Sur bobine SEV-Solex :



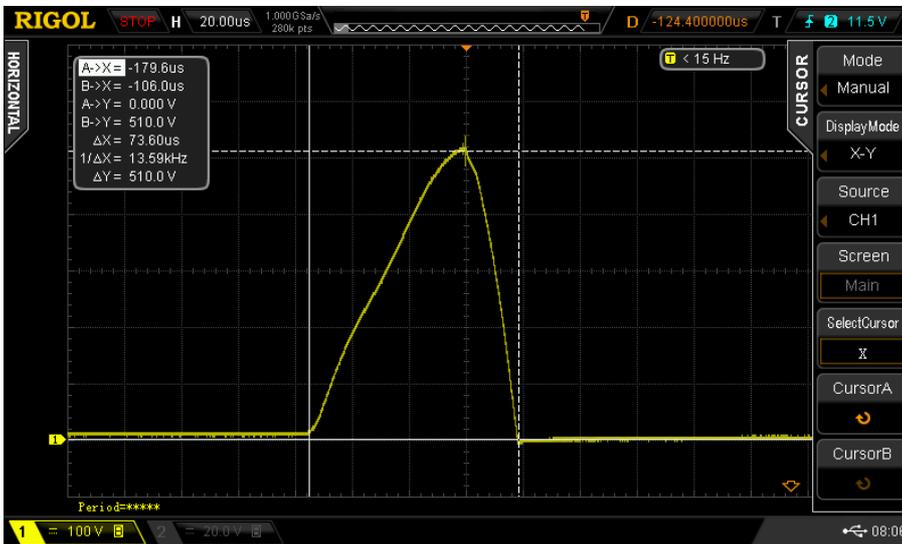
Alim 6V, capa 0,11µF
 fréquence complète 4,15 kHz
 théorique 5,1 kHz
 amplitude 600V
 la seconde pseudo-crête est une réflexion du secondaire



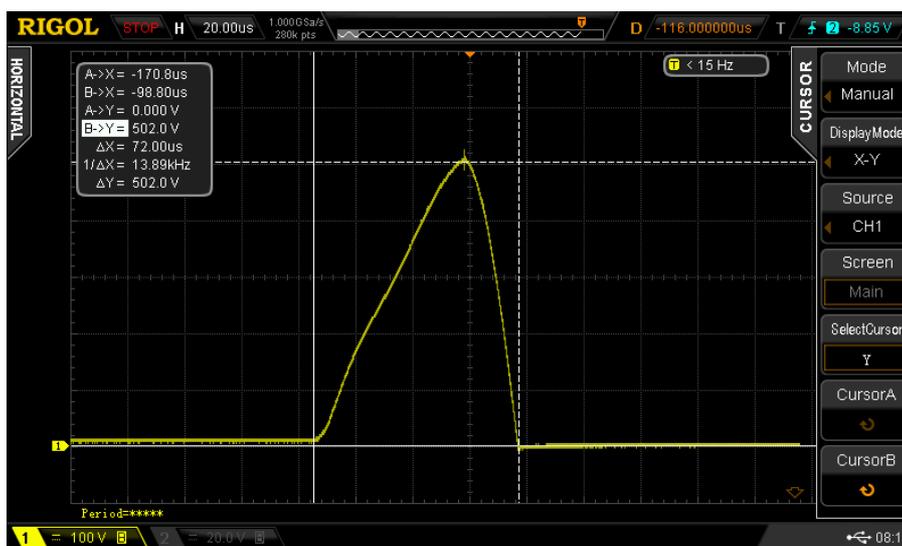
Alim 12V, capa 0,11µF
 retard à l'amorçage 47µs,
 tension d'amorçage 650V
 la demi-sinusoïde est tronquée après l'amorçage



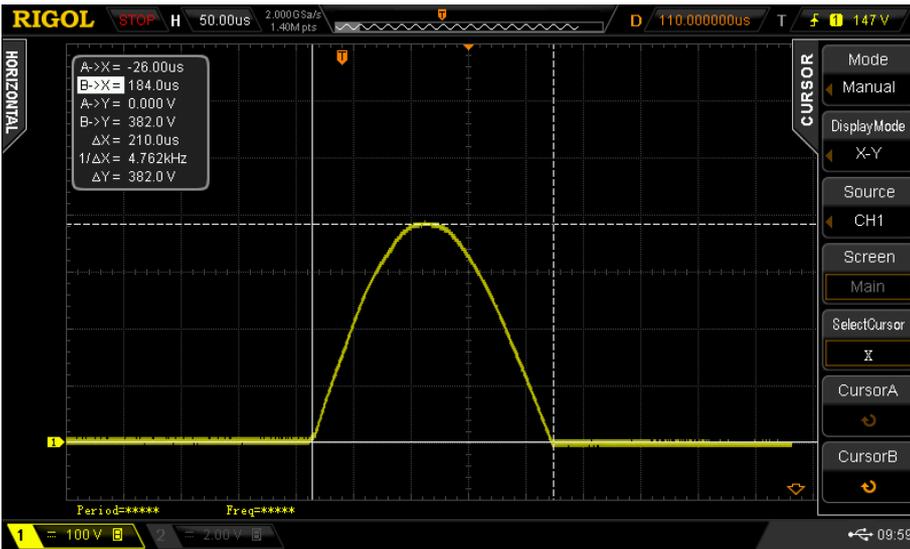
Alim 6V, capa 0,22μF
 allure d'une demi-sinusoïde
 fréquence complète 3,25 kHz
 théorique 3,62
 amplitude de l'impulsion 500V



12V capa 0,22μF éclateur 10mm
 retard à l'amorçage 66μs
 tension d'amorçage 510V



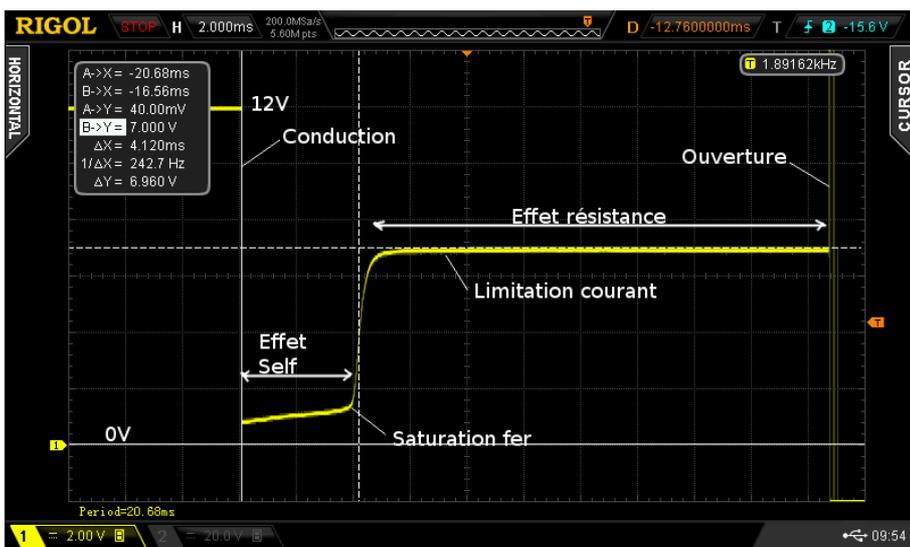
12V capa 0,22μF éclateur 5mm
 retard à l'amorçage 53μs,
 tension d'amorçage 502V



Alim 6V, capa 0,44μF
fréquence complète 2,4 kHz
théorique 2,5
amplitude 380V



12V capa 0,44μF éclateur 10mm
retard à l'amorçage 108μs
tension d'amorçage 438V



Détail montrant la charge de la bobine
A la mise en conduction par le transistor (rupteur « idéal ») le courant (et la tension) monte jusqu'à la saturation magnétique du fer du noyau. A partir de ce moment, tout courant entrant dans la bobine, n'apporte plus rien d'autre que de l'échauffement du cuivre, la bobine est chargée magnétiquement en 4 ms. Le courant final est de $(12-7)/1,3 = 3,8 A$, ce qui est bien la valeur de réglage du module d'allumage). A l'ouverture, la tension monte à plusieurs centaines de volts et génère l'étincelle.
La limitation de courant n'existe pas dans de nombreux modules d'allumage (Velleman, etc)

Lorsqu'on augmente la capa, la durée de l'impulsion augmente, l'amplitude diminue



Bobines Mobylette externe et scooter (volant magnétique)

Les bobines de volant magnétique prennent l'énergie stockée dans la bobine primaire du volant magnétique (au choix : volant magnifique ou maléfique) Cette énergie, amortie par un condensateur, cause une impulsion plus faible qu'un allumage batterie-bobine d'environ 150-200V, ce qui permet un écartement plus faible des contacts du rupteur, et qui est simplement transformée par la bobine extérieure. Le paramètre primordial est alors le rapport de transformation. La tension est souvent inférieure, pour un moteur deux temps, à écartement bougie inférieur, et taux de compression effectif plus faible (à cause de la présence des lumières lors de la course du piston) qu'un 4-temps.



Bobines Novi et Wovi

Bobine Novi 125440

R primaire 88m Ω
 R secondaire 3,21k Ω
 Inductance 12mH
 rapport 70
 diamètre corps 31mm
 masse 207g

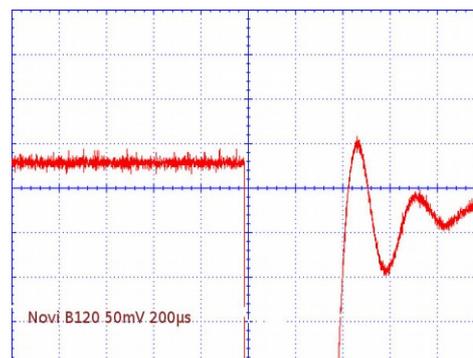
Bobine Novi 25440

R primaire 1,05 Ω
 R secondaire 3,13k Ω
 Inductance 15mH
 rapport 30
 diamètre corps 35mm
 masse 210g

Bobine Novi B120

résistance primaire 0,56 Ω
résistance secondaire 5320 Ω
inductance 4,7 mH
énergie @12V 65 mJ

L'énergie à 6V serait de 275mJ, elle ne fonctionne donc certainement pas à 6V ! à 3V elle fournit déjà 70mJ



Bobine Wovi 125440 (copie de Novi)

résistance primaire 0,64 Ω
résistance secondaire 6660 Ω
inductance 4,6 mH
énergie @3V 65 mJ

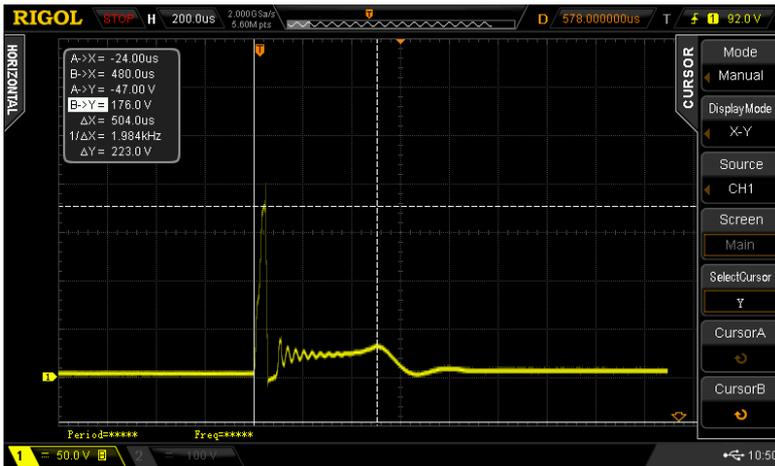
rapport 70

diamètre corps 31mm

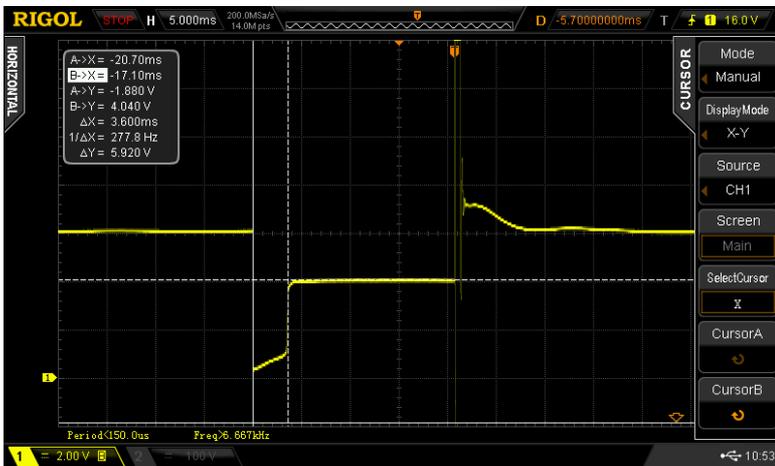
masse 190g

Cette bobine a des caractéristiques voisines de la Novi 125440 et B120, sauf la résistance secondaire (peut-être du fil plus fin, d'où une masse inférieure, bien perceptible) Elle peut peut-être se dispenser d'une résistance dans l'antiparasite, la résistance interne jouant partiellement ce rôle.

Mesures sur éclateur 5mm



sur-tension amorçage : 180V, durée d'étincelle : 500 μ s



charge magnétisante sous 6V, durée: 3,6 ms
avec le temps d'étincelle, le régime pour la puissance nominale d'étincelle est de 15000 rpm

scooter

epoxy noir

résistance secondaire 3035 Ω

résistance primaire 0,26 Ω

rapport 150

$f=31,2\text{kHz}$ ($I@316\text{nF}$) $L=80\text{nH}$

epoxy blanc

rapport 130 . Ces bobines travaillent donc à une tension primaire plus faible.

A compléter avec d'autres bobines

Valeurs typiques

Voici les valeurs typiques relevées sur quelques cas (tension primaire typique, rapport de transformation, inductance L, résistance primaire, résistance secondaire, énergie max disponible sous 12V, sans pertes dans le circuit)

- Bobine classique (Ducellier) 12V rapp=80 L=9,2mH, Rprim=3,3 Ω Rsec=5,3k Ω E=117mJ @ 12V
- bobine moto Lucas 17M12 12V rapp=54 L=13mH Rprim= 3,67 Ω Rsec=4,95k Ω E=70mJ @ 12V
- bobine Beru pour Renault 6V rapp=100 L=6,3mH Rprim=0,45 Ω Rsec=9,8k Ω E=44mJ @ 5A
- bobine Clio carcasse fermée 12V rapp=90 L=14mH Rprim=0,5 Ω Rsec=4,7k Ω E=80mJ @ 5A
- bobine magneto aviation 1929 2 V rapp=50 L=15mH Rprim=0,5 Ω Rsec=2,5k Ω E=90mJ (moteur basse compression, donc relativement faible tension à la bougie)

Conclusions

Ce papier propose quelques explications sur le fonctionnement des bobines d'allumage et leurs caractéristiques principales. Quelques bobines sont analysées. Les bobines d'allumage répondent à un besoin identique quel que soit le moteur et ont des caractéristiques similaires et sont largement interchangeables, à technologie identique. Elles doivent pouvoir produire une vingtaine de kV à la bougie et maintenir 1kV pendant la décharge. Leur durée de vie dépasse largement celle du véhicule, à l'exception de la bobine Sagem.

Voir le papier sur la conception d'un allumage électronique à transistors :
<http://www.hackerschicken.eu/www/electric/ElectricFR.php>