



1 . 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 :

- **bobine d'allumage** (parfois comprise dans le volant magnétique ou la magnéto) création de haute tension
- **rupteur** ou module électronique, pour la création du courant et la synchronisation
- **bougie** récepteur de la haute tension, 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 similaire dans un espace d'environ 1 mm. Cette énergie varie seulement selon la qualité du mélange (stœchiométrie = richesse), la température dans le cylindre, la pression dans le cylindre (taux de compression, altitude et charge moteur : ralenti/plein gaz), le brassage des gaz et le point d'allumage (qui agit 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 (300-500V) 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 nombre 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.
- Voir http://www.hackerschicken.eu/www/electric/volant_magnétique.pdf et http://www.hackerschicken.eu/www/electric/volant_Moriyama.pdf

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 de nombreux 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.

Il y a actuellement quatre principaux types de bobines

- bobine classique (bouteille), exemple Ducellier appelée « bobine à coupelle » par le traducteur-fou de Beru
- bobine jumostatique (sans distributeur) exemple bobine de 2CV ou les bobines modernes à circuit fermé (chap 4,1)
- rampe de bobines
- bobine crayon (chap 3)

1.1 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 10V (démarrage) à 14,5V. La puissance débitée dans la bobine sera (pour une bobine de 3Ω) $P= 33W$ 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 5τ , l'amplitude est encore à $99,3 \%$ du max. Le max est atteint (asymptote) en un temps théoriquement infini. Constante de temps $\tau=L/R$

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 bobine. On parle parfois d'angle de Dwell : c'est l'angle pendant lequel les vis platinees 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 énergie correspondante en fonction de la constante de temps τ

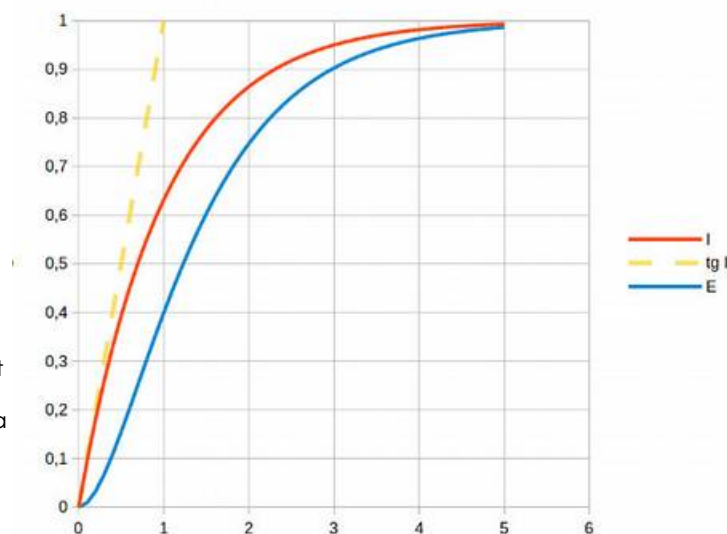


Figure 1.1: montée du courant bobine



Un Dwell habituel de 60 % (dwell 0,6) donne un temps de conduction à 6000 rpm de 3ms (4-temps 4 cylindres). Pour une bobine de 10mH et une résistance totale du circuit (bobine + câbles) de $3,3\Omega$, la constante de temps est de 3,03ms et les 3ms représentent 0,99 τ , le courant est à 63 % du max et l'énergie est à 39 % du max possible de l'étincelle.

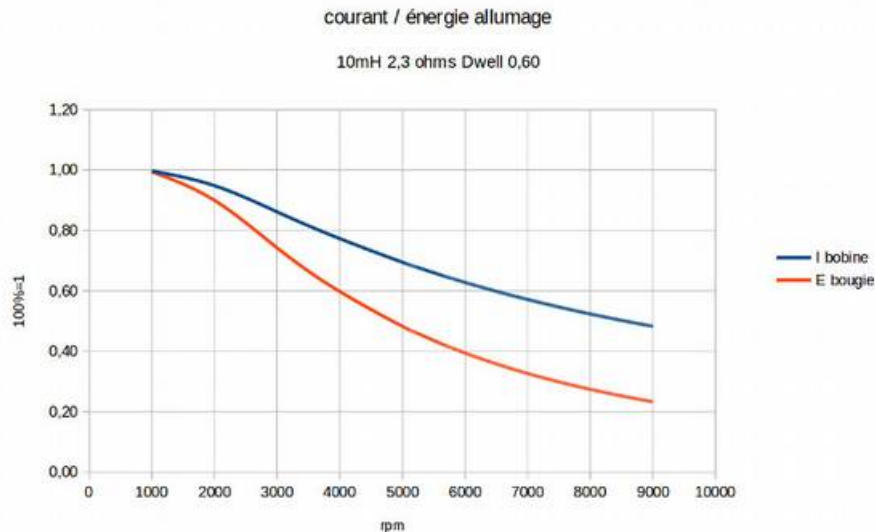


Figure 1.2: courant & énergie d'allumage fonction du régime

- 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 et imperceptible des petits moteurs de cyclo à vitesse légalement limitée. Il est aussi vrai qu'à une certaine époque, certainement révolue, les autorités « encourageaient » la restriction du régime, donc de la vitesse, par des performances limites de l'allumage. C'est alors un allumage sans marges de conception, sujet donc à des variations importantes d'un moteur à l'autre, et en fonction de la météo.
- 2) **Le dwell n'existe pas dans un volant magnétique ou une magnéto.** Quand le rupteur est fermé longtemps, la bobine se charge avec l'alternance opposée, puis se décharge pour se charger avec l'alternance utile. Seul, le point d'ouverture est important, en espérant que la conception donne un temps suffisant à une bonne charge de la bobine.

1.2 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 10A et la bonne vieille loi d'Ohm permet de dire qu'une bobine S... de $0,55\Omega$ parcourue par un courant de 6A développe une tension de 3,3V **c'est donc une « bobine 3V », mais aussi une « bobine 6V » avec un courant de 11A**, et on peut facilement en mettre deux en série (le primaire bien sûr et ça donne une combinaison « intéressante » des tensions) ce que font de nombreux constructeurs en commande par courant. Cette bobine S... sature en 4ms sous le courant de 3,8A de ma commande d'allumage (liens §6,2), inutile d'augmenter le courant sauf à faire tourner le moteur à 20 000 rpm puisque le seul effet de cette augmentation est de diminuer le temps pour arriver à saturation.



A noter que 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
- transistor : elle peut atteindre plus de 2V pour un transistor Darlington (et change relativement peu en fonction de la résistance de la bobine)
- en générateur de courant, la perte de tension peut atteindre 6V, on s'en fiche, la bobine sature quand même

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

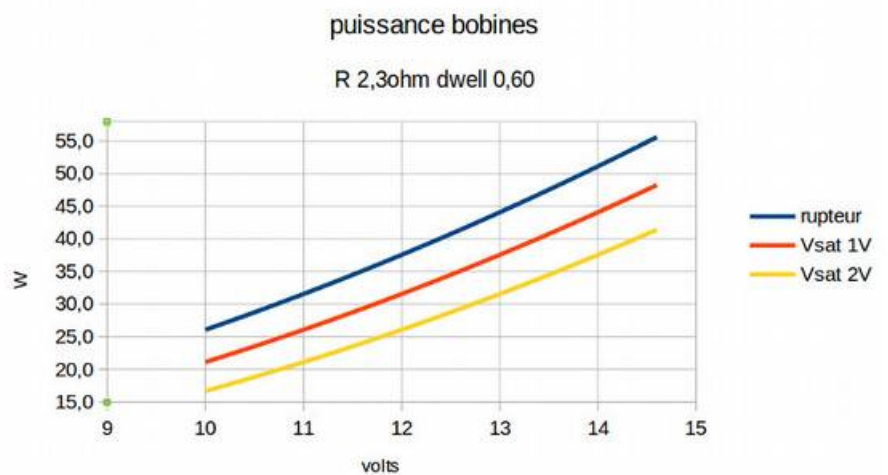
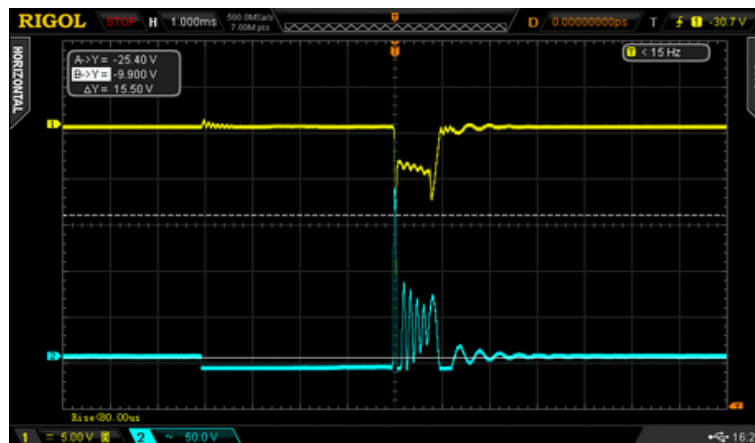


Figure 1.3: puissance bobine et tension déchet

1.2.1 Allumage par tension commandée

C'est le mode de fonctionnement classique de l'allumage batterie-bobine : la tension batterie est appliquée directement au primaire de la bobine. Les bobines à faible résistance primaire (par ex $0,5\Omega$) ne peuvent subir ce mode, le courant passerait alors à $12/0,5 = 24A$! de quoi faire fondre les câbles et la bobine avec un dwell courant. Ce mode n'induit pas d'étincelle parasite.



V1 sec = 1300V/div
V2 prim = 50V/div

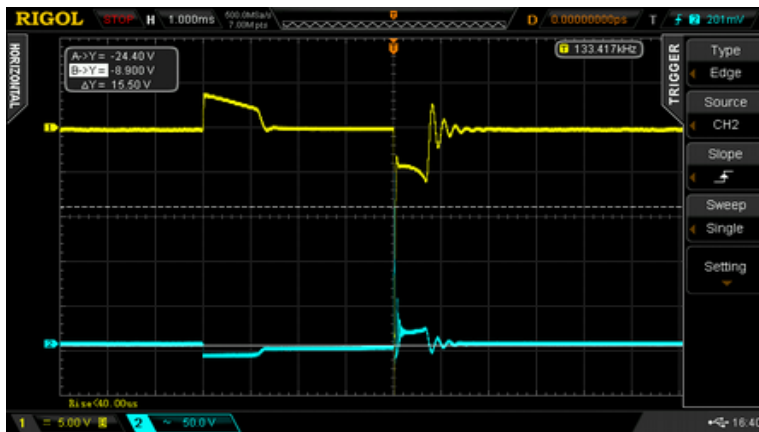
Figure 1.4: allumage à tension commandée, Ducellier



La bobine commandée en tension utilise normalement un condensateur associé, pour contrôler la tension max et la vitesse de croissance de l'impulsion. De plus, elle supporte mieux le débranchement de la bougie que la bobine commandée en courant, grande flexibilité d'installation.

1.2.2 Allumage par courant commandé

Les bobines à faible résistance primaire (p ex $0,5\Omega$) sont commandées par un calculateur et un étage de sortie à générateur de courant constant, ou par la bobine à impédance correspondante d'un volant magnétique.



V1 sec = 1300V/div
V2 prim = 50V/div

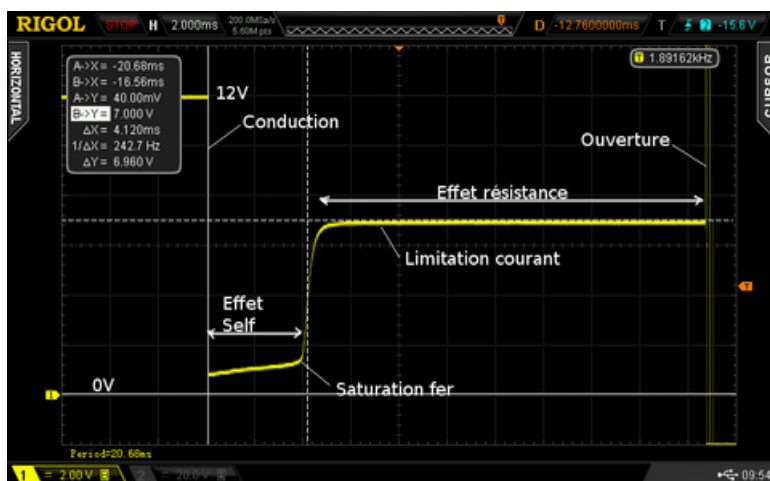
noter la surtension à l'établissement du courant, qui s'arrête dès que la bobine sature

Figure 1.5: allumage à courant commandé, bobine S...

L'instant d'établissement du courant (ici 3,8A) fait monter la tension jusqu'à la valeur de tension qui crée le courant demandé, propriété basique d'un générateur de courant constant. Le courant dans une bobine ne commence pas immédiatement, par effet d'inductance, et le générateur de courant applique donc sa tension max disponible. Les 12V d'alim se trouvent transformés en 1080V crête par le rapport de transformation. La nouvelle génération de bobines à forte énergie (jusqu'à 200mJ) augmente cette surtension à l'établissement qui finit par amorcer la bougie, on est donc amené à insérer en série une diode THT pour éliminer cette étincelle.

A noter que **le module d'allumage RMZ** permet de commander indifféremment en tension ou en courant et s'adapte à la tension d'alimentation, et à la résistance primaire de la bobine d'allumage. La limitation de courant n'existe pas dans de nombreux modules d'allumage commerciaux (Velleman, Cartier, Selectronic, etc) voir http://www.hackerschicken.eu/www/electric/commande_allumage.pdf

Détail montrant la charge en courant de la bobine SEV Solex, similaire aux autres bobines à faible résistance primaire



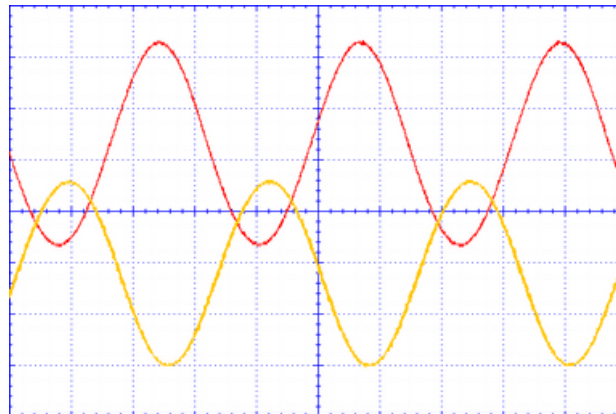
A la mise en conduction par le transistor (rupteur « idéal ») le courant (et la tension) monte jusqu'à la saturation magnétique du fer du noyau. A partir de ce moment, tout courant entrant dans la bobine, n'apporte plus rien d'autre que de l'échauffement du cuivre, la bobine est chargée magnétiquement en 4 ms. Le courant final est de $12-7=5V$, $5V/1,3\Omega=3,8A$, ce qui est bien la valeur de réglage du module d'allumage). A l'ouverture, la tension primaire monte à plusieurs centaines de volts et génère l'étincelle.

Figure 1.6: charge magnétique de la bobine à commande de courant



1.3 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 $4700\Omega/0,1\mu F$ (fréquence de coupure 340Hz) et un LM386 en ampli « de puissance »



rouge $y=50V/div$
jaune $y=1V/div$
temps $x=2ms/div$

Figure 1.7: Duccellier, rapport de transformation

résultats de mesure

$V_{prim}=3,64V_{cc}$ $V_{sec}=200V_{cc}$ \rightarrow ratio=55

C'est une des mesures, qui est facile pour des rapports de transformation faibles, et qui devient plus délicate ici, en raison notamment de l'influence de la capacités parasite de la sonde d'oscilloscope et de la capacité propre du secondaire (15 pF influent énormément un circuit secondaire de transformateur à capacité répartie de 50pF) Quant à mesurer le rapport de tension de l'impulsion en 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 90kHz avec une sonde d'oscilloscope de 15pF.

Une autre méthode indirecte consiste à estimer le rapport de longueur des fils primaires et secondaires, en connaissant la résistance des enroulements et la résistivité du fil de cuivre (tables AWG American Wire Gauge, car les fils ne sont pas de taille quelconque)

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 !

Le rapport de transformation peut aussi se mesurer en se servant des inductances primaires et secondaires **$n = \text{racine } (L_s / L_p)$**

1.4 inductance de fuite, mutuelle, couplage

Les inductances de fuites sont des inductances équivalentes, en série dans la partie concernée

L_{ip} = fuite primaire = inductance primaire, le secondaire en court-circuit

L_{is} = fuite secondaire = inductance secondaire, le primaire en court-circuit

la mutuelle, est ici utilisée comme auxiliaire de calcul.

le couplage est un coefficient primaire-secondaire, dépend de l'entrefer si présent et des inductances de fuite. Un coefficient fort (0,98) indique une bobine plutôt adaptée à un CDI ou à une bobine externe de volant magnétique.

$M = \sqrt{(L_p - L_{ip}) * (L_s - L_{is})}$

$k = M / (\sqrt{L_p * L_s})$



Ignition coils	Rprim DC	Lprim 1kHz	Rsec DC	Lsec 1kHz	Lip (scc)	Lis (pcc)	mutuelle	couplage	rapport n	energie mJ	τ
	ohms	mH	ohms	mH	mH	mH					ms
Ducellier 1	2,33	14	5380	37500	2,03	6301	611,11	0,84	51,75	185,67	6,01
Ducellier 2	3,55	8,19	5390	32500	1,68	8021	399,20	0,77	62,99	46,79	2,31
Beru crayon	0,58	3,023	6550	22600	0,1	4800	228,10	0,87	86,46	161,75	5,21
Kawa	3,1	4,38	14320	25750	0,375	12400	231,23	0,69	76,67	32,82	1,41
marelli	0,62	2,259	6960	22450	0,182	3700	197,34	0,88	99,69	105,78	3,64
6V	1,25	4,37	8,9k	41600	0,465	6500	370,22	0,87	97,57	50,34	3,50
novi	0,67	3,005	2307	11450	0,065	310	180,97	0,98	61,73	120,49	4,49
VSX MBK51	0,64	1,3	5,46	11080	0,124	3455	94,69	0,79	92,32	57,13	2,03
solex SEV	1,4	7,9	2600	10250	0,53	702	265,27	0,93	36,02	0,93	5,64

1.5 Consommation de l'allumage

Le type d'allumage influe sur la consommation électrique

- batterie-bobine la vieille bobine Ducellier 3,3 Ω 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 platiniées), 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 (non optimisé), consomme 0,4W pour 30mJ à 1200rpm 1 étincelle/tour

En fait, un besoin relativement récent oblige à avoir enfin un allumage de qualité : la toxicité des gaz imbrûlés vis-à-vis du pot catalytique et de l'environnement. 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 une grande majorité des anciens défauts sont gommés par un allumage suffisamment énergétique.

1.6 Tension de sortie maximale

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 millièmième de seconde) et l'arc s'établit. Sans bougie, on risque un claquage interne (un seul arc est peut-être tolérable, mais après plusieurs arcs, la matière se carbonise et la bobine se court-circuite), les magnétos qui n'avaient que des isolants « très moyens », possèdent un parafoudre interne qui s'amorce dès que la tension est trop forte, avec un écartement de **3 à 4 mm** seulement, vu les faibles tensions nécessaires à ces 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.

La tension **théorique du primaire** à l'ouverture du rupteur est

$$V_{max} = I_o \sqrt{\frac{L}{C}}$$

(wikipedia)

Cette valeur crête n'est atteinte que s'il n'y a pas d'amorçage intempestif de bougie, et que si les pertes sont suffisamment faibles (sinon on a eu historiquement recours aux disruteurs ou éclateurs (page23), soit avec notre bobine Ducellier 1 sous 12V et une capa de 0,22µF, une tension crête théorique de 730V. Les diverses pertes dans la bobine diminuent sérieusement cette valeur pour finir vers les 250V crête. Dans certains volants Solex, cette tension dépasse 500V (Solex avait gravé sur la languette de liaison et sur le condensateur la mention « huile » qui décrivait les « meilleurs » condensateurs de l'époque. Voir papier sur le condensateur en moto <http://www.hackerschicken.eu/www/electric/Spithascope/condensateur.pdf>



Quelques valeurs **pratiques et réelles** relevées au voltmètre de crête avec condensateur 0,22µF, confirmées à l'oscilloscope

bobine	Éclateur 5 mm (= 0,6mm à la bougie Solex)	Éclateur 10 mm	Fil de bougie débranché
Solex verte SEV	250V	450V	500V
Solex rouge	130V	220V	270V
Ducellier	280V	290V	400V
PVL	300V	400V	500V
Bobine Crayon Beru	100V	150	220V
Wovi Mobylette	110V	200V	250V

2 Mesures de bobines d'allumage « classique »

2.1 Les exigences d'une bobine

Pour allumer correctement, la Bobine doit :

- produire une haute tension **largement** suffisante (10 à 20 000V)
- accepter que la tension **soit limitée** par la bougie lors de l'amorçage de l'étincelle (8 à 15kV)
- accepter que la tension **s'écroule brutalement** en phase d'arc de l'étincelle (1 à 2kV)
- permettre le passage du **courant d'arc** (typiquement 30mA)

Cela implique une bobine à forte inductance de fuite, à entrefer important (faisceau magnétique droit ou faussement refermé). C'est une problématique identique à celle des tubes à décharge (tube fluorescent improprement appelé « néon », et lampe xénon automobile).

Le rapport de transformation permet, qu'avec le condensateur préconisé (voir §1.4) la THT (très haute tension) soit suffisante.

2.2 Allumage batterie-bobine

L'allumage par batterie-bobine existe depuis la Cadillac 1910, il a été inventé par Charles Kettering, poly-inventeur génial, fondateur de la Dayton Engineering 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 = à bobine d'allumage) 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 surtension¹ 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 bobine de type voisin, mais en transformateur seulement (il ne faut pas une bobine saturable) et on décharge brutalement un

1 En réalité le courant ne s'interrompt pas : il continue, initialement avec la même valeur, se transforme en tension de polarité opposée jusqu'à ce que l'énergie se soit dissipée dans les pertes des isolants. Cette tension peut monter très haut, par exemple 500V pour une bobine de Solex avec capa 0,22µF.



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).

3 Bobines Ducellier 12V

Pour en avoir le cœur 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 au départ d'un 10 - 20 % (c'est déjà beaucoup mieux que ce qu'on lit sur le web). On affinera les mesures avec l'évolution de mon matériel.

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 0,33 Ω 5W 10%
l'atténuateur THT : 22 résistances de 2,2M Ω
et une de 100k Ω



Figure 3.1: Bobine Ducellier

3.1 Moyens utilisés

- oscilloscope numérique OWON (Lilliput aux US) PDS6042S (40MHz) sondes 10M Ω 60MHz remplacé ultérieurement par un Rigol DS1052 puis DS2072, numériques aussi
- pont diviseur à résistances 10 x 2,2M Ω / 100k Ω sans capas de compensation, donc avec un amortissement du signal aux hautes fréquences (bande passante 90 kHz avec sonde de 13pF)
- milliohmètre personnel lit les dizaines de milli Ω (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)
http://www.hackerschicken.eu/www/electric/commande_allumage.pdf ou plus élaboré , avec dwell 10ms et maintien d'une d'urée d'arc de 1ms
http://www.hackerschicken.eu/www/electric/Spithascope/ignition_pulse_generator.pdf

Le matériel a été complètement renouvelé depuis les premiers essais :

- oscilloscope RIGOL DS1052E 50MHz puis DS2072
- générateur BF 2MHz Tti
- fréquencemètre GW puis multimètre de table Rigol DM3058



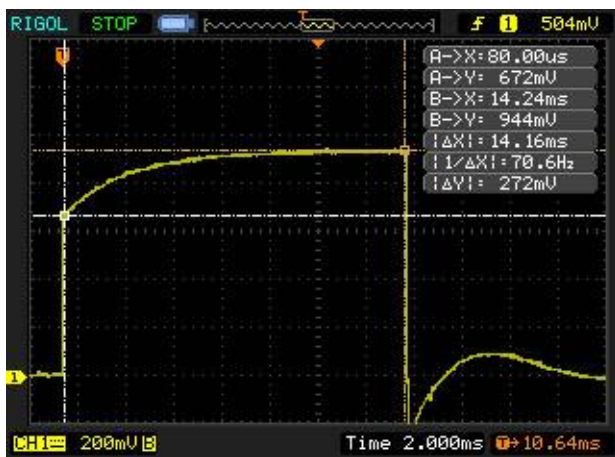
- éclateur réglable (IG Motos²) avec atténuateur pour scope 10 x 3,9M Ω /150k Ω rapport 262 BP 90kHz (si sonde 13pF)
- générateur d'impulsions réglable à base d'arduino
- oscilloscope / analyseur logique Rigol MSO5074

La haute tension max qu'on peut obtenir est la tension au primaire multipliée par le rapport de transformation, tension jamais atteinte car un arc 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 μ /U=630V.

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 **$L=tr$**



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

Figure 3.2: mesure courant bobine

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

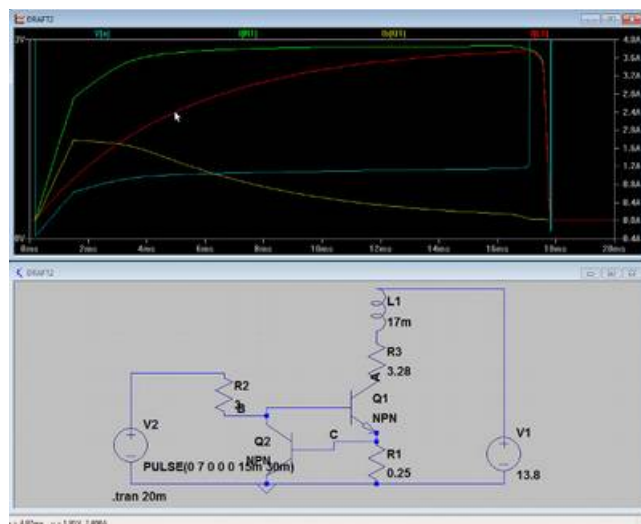


Figure 3.3: simulation Spice

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, par augmentation du Q, de la fréquence de résonance, d'où on tire l'inductance par **$L=1/(6.28)^2 \times C$**). 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 seulement 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 jusqu'à se comporter comme une inductance dynamique nulle à la saturation. J'utilise dans ce papier l'inductance à $I=0$.

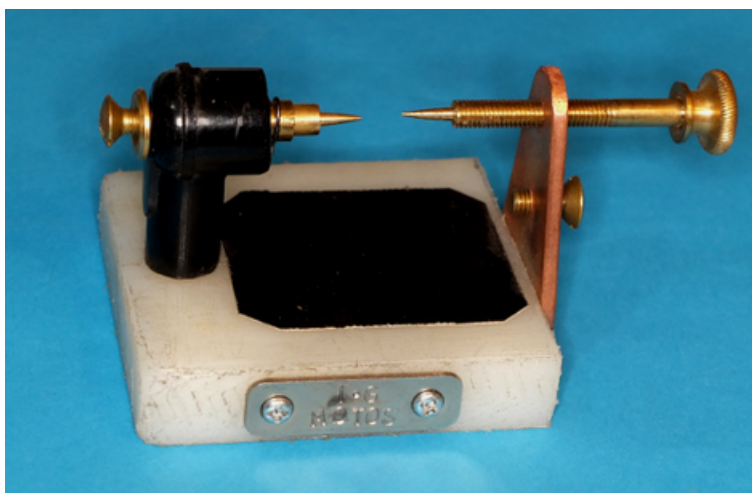


Figure 3.4: Éclateur de mesure fait par IGM



3.1 Mesures Ducellier avec PeakTech 2170

Nouvel appareil capable de tout mesurer dans le domaine auto-moto

- mesures à différentes fréquences
- inductances jusqu'à 100M Ω
- capacités et ESR
- résistances faibles

mesures avec des sondes Kelvin en 4 fils
une bête de compétition !

Ducellier 1

résistance primaire 2,33 Ω
résistance secondaire 5380 Ω
inductance prim 14 mH
inductance sec 37,5H
Lip 2,03mH Lis 6,301H
couplage 0,84 rapport 52
énergie @12V 185 mJ
 τ 6,01ms

Ducellier 2

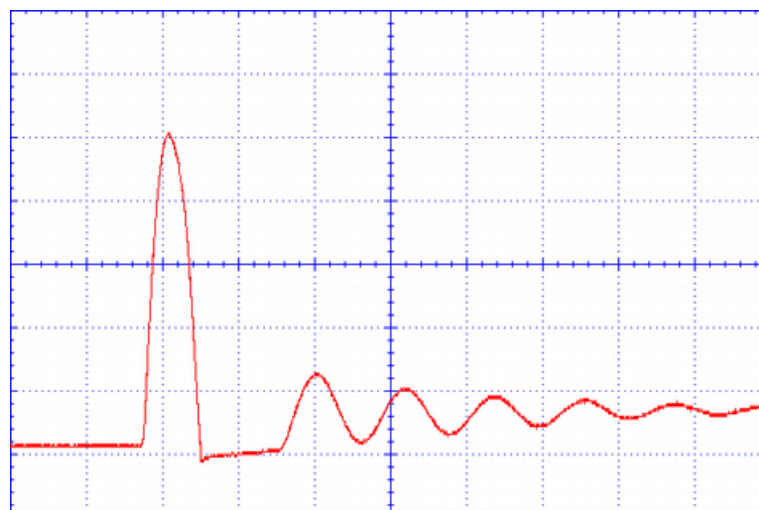
résistance primaire 3,55 Ω
résistance secondaire 5390 Ω
inductance prim 8,2 mH
inductance sec 32,5H
Lip 1,68 mH Lis 8H
couplage 0,77 rapport 63
énergie @12V 47 mJ
 τ 2,31ms



Figure 3.5: une (très) vieille bobine Ducellier des sixties

3.2 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



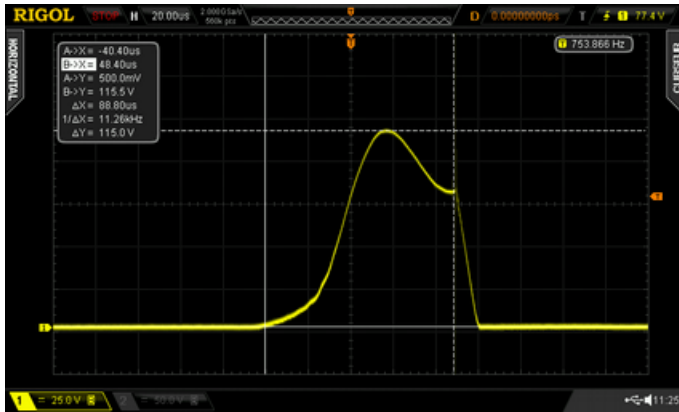
V primaire
rouge y=50V/div
x=100 μ s/div
condensateur de 0,33 μ F
gap 12 mm

La bobine a largement

Figure 3.6: Ducellier, tension primaire

eu le temps de se saturer (asymptote bien visible sur la figure 3.2, 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.



La bobine Ducellier avec une capa de $0,22\mu\text{F}$ a une tension crête de 115V et un retard d'allumage de 90μs

3.3 Étincelles multiples

Sur Internet, on parle souvent d'étincelles multiples

vert $y = 20\text{V}/\text{div}(\times 220)$
rouge $y = 50\text{V}/\text{div}$
 $x = 500\mu\text{s}$
gap environ 10mm

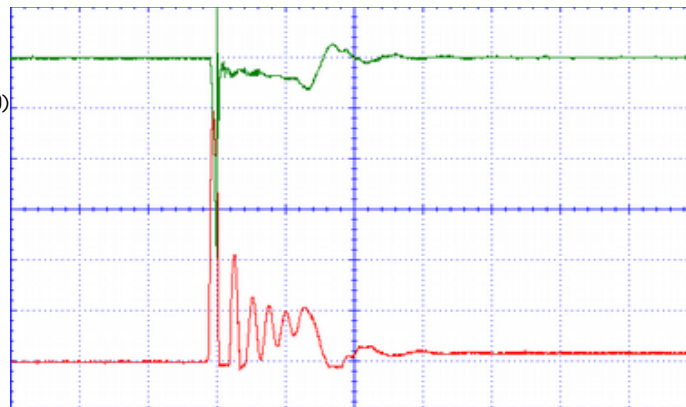


Figure 3.7: Ducellier, oscillations primaires

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. C'est l'oscillation du condensateur avec l'inductance secondaire, en court-circuit par l'arc, ramenée au primaire
- 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 ici 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, notamment dans un CDI, lorsque toute l'énergie n'est pas épuisée, et avec résonance du groupe LC.

3.4 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 des conditions « normales voiture ». Pour faire marcher la bobine dans les mêmes conditions, il suffit de régler le gap à 10 mm. 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).

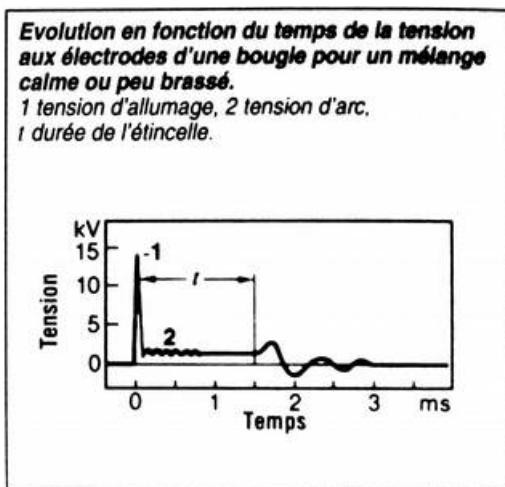


Figure 3.8: Bosch, tension bougie

Bosch : amorçage 14kV, arc 1kV durée 1.5ms
un amorçage à 14kV nécessite au moins 18
à 20kV crête

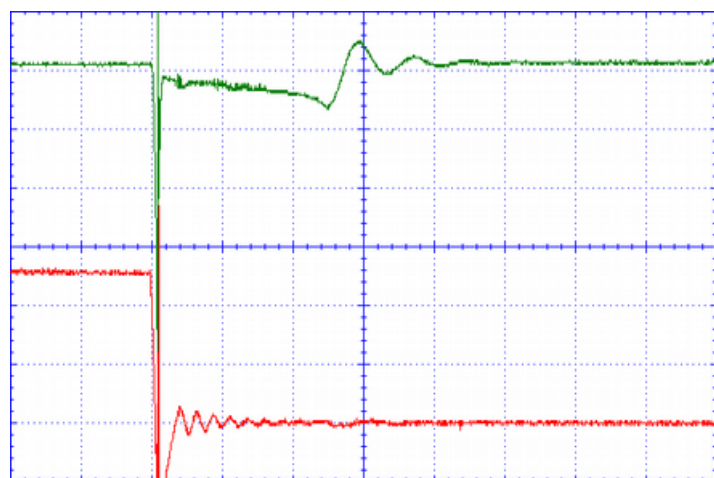


Figure 3.9: Étincelle Ducellier

Ducellier : amorçage 12kV arc 950V moyen pour une durée de 1,3ms
la tension est inversée

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 aussi que je ne crée pas l'étincelle dans un mélange air-essence (ce qui est quand même nettement plus compliqué pour mon labo domestique).

3.5 Écartement des électrodes :

L'écartement des électrodes a intérêt à être le plus important possible, pour enflammer le maximum de gaz à l'instant d'allumage, mais doit aussi être suffisamment petit pour pouvoir assurer le démarrage de l'engin, quand la tension disponible est faible. Il devrait aussi présenter une impédance identique à l'impédance de la bobine pour assurer un transfert d'énergie optimum.

L'écartement dépend aussi de la pression qui règne dans la chambre au moment de l'étincelle selon la loi de Paschen³, dans sa zone linéaire. Elle est soumise à de fortes contraintes dans le moteur.

L'écartement des électrodes est donné par le fabricant et dépend : de la très haute tension disponible, de la durée d'étincelle demandée, de la pression à l'instant d'allumage.

Sur un gros 4 temps (BMW R1100RT), la compression atteint 10 bars à l'instant d'allumage et monte à 43 bars

3 Loi de modération de Paschen

$$V_B = \frac{Bpd}{\ln(Apd) - \ln\left[\ln\left(1 + \frac{1}{\gamma_{se}}\right)\right]}$$

vers 15° de retard. Hohe Teillast = à donf !

Par Jürgen Stoffregen, ancien patron du développement BMW Moto in Motorradtechnik, Springer

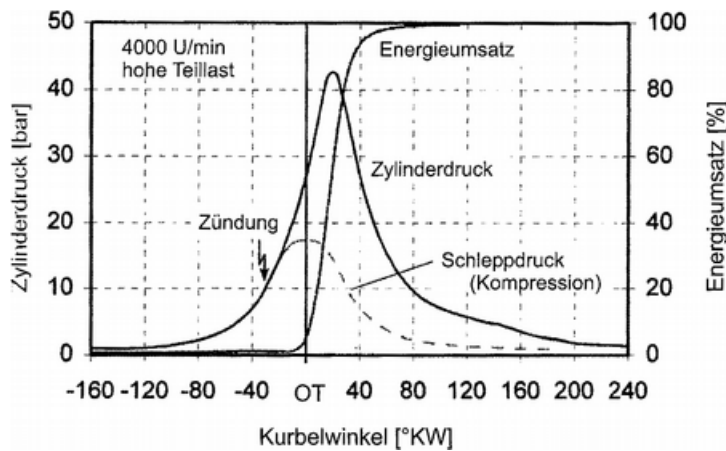


Bild 3.32
Druckverlauf während
der Verbrennung

Figure 3.10: Moto BMW R1100, pression cylindre

La pression au moment de l'allumage dépend de la géométrie des cylindres et de la poignée des gaz. Pour les moteurs à clapets⁴, la pression à l'allumage dépend de la géométrie des cylindres et de la charge moteur (position du papillon de gaz). Sur une BM R1100, on est rarement à donf, sauf les chaussettes, à clous, les pandores, CRS, et autres acrobates. La pression à 10 bars exige une tension d'amorçage de 34 kV pour 1mm d'écartement

Sur un moteur 2 temps, cylindre à trous⁵, la compression effective ne commence pas au point mort bas, mais en haut des lumières dans le cylindre. La pression au moment de l'étincelle est donc plus faible que dans un moteur à clapets. Pour le Soufflex 3800, par exemple, la compression géométrique est de 6,44 bars, la pression à l'allumage, à 23,5° d'avance, est de 6,63 bars (plus élevée que la pression géométrique au point mort en raison de la compression adiabatique), et monte à 36,4 bars max après l'explosion.

Cylinder Liner	Length	87.7 mm
	Top Edge	Liner Top Edge above Cylinder Top Edge 1.5 mm
	Deck Height	Liner Top Edge above Piston Top Edge at TDC 0.8 mm
Geometric Compression Ratio	8.2 : 1	
True Compression Ratio	Also known as Swept or Trapped Compression Ratio 6.44 : 1	
Cranking Compression Pressure	CCP = True Compression Ratio x 1.013185 6.63 bars (663 kPa or 96.11 PSI)	
Peak Combustion Pressure	PCP typically equals Cranking Compression Pressure x 5.5 36.44 bars (3644 kPa or 528.58 PSI)	

Figure 3.11: Solex 49cc, pression cylindre (Briansolex)

La tension d'amorçage nécessaire est donc de 20,4 kV/mm. Avec un écartement de bougie de 0,5mm (recommandation Briansolex) la tension nécessaire est de 10,2 kV, compatibles avec 200V de surtension de rupture et un rapport de transformation de 62.

4 Jusqu'au début du 20^{ème} siècle, l'admission était faite par un clapet à ressort. Et puis ça peut être une (fine)appellation(*) des soupapes

5 Le cylindre 2 temps est percé de lumières de transfert de gaz entre carter et cylindre



3.6 Polarité :

La polarité universellement adoptée est : la tension négative sur l'électrode centrale. La polarité affecte la tension de déclenchement de l'étincelle, mais de 14 % max⁶. Les marges qu'on applique sont généralement bien supérieures, et pourtant, on applique toujours cette règle depuis au moins 1920. Les allumages jumostatiques sans distributeur et la 2CV, enfreignent d'ailleurs allègrement cette règle.

3.7 Tension max au condensateur

$$V_{max} = I_o \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Mesure Ducellier avec 0,33μF (théorique 590V)

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

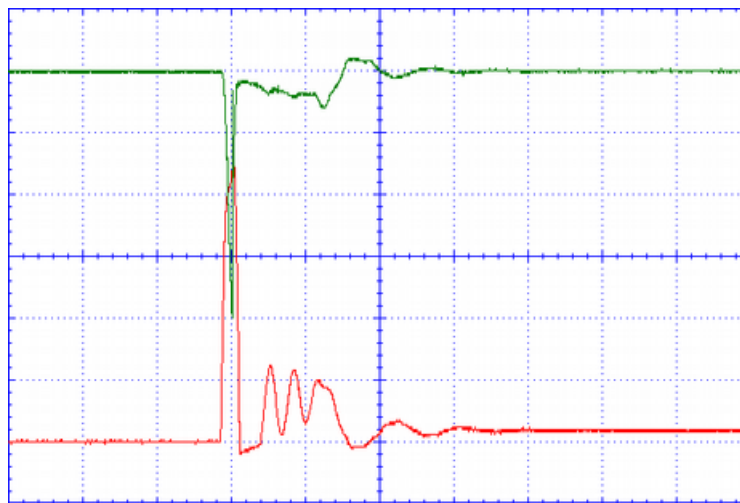


Figure 3.12: Ducellier, capa 0,33μF

- l'étincelle dure 540μs
- 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 kHz et après l'arc est à 2,08 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 changé : tension un peu plus faible

6 Et pourtant on en fait tout un plat, et depuis 1920, on conserve la polarité négative. « The average difference in the sparking voltage on the two polarities as measured at normal pressure and temperature on an assortment of spark plugs of very varied shape was 14 percent » Francis B Silsbee in : the sparking voltage of spark plugs, National Bureau of Standards, 1920, report 202, national advisory committee for aeronautics. Page 363 VII Polarity

3.8 Mesure de l'effet de la valeur du condensateur

3.8.1 Sans condensateur

La tension tend vers l'infini.

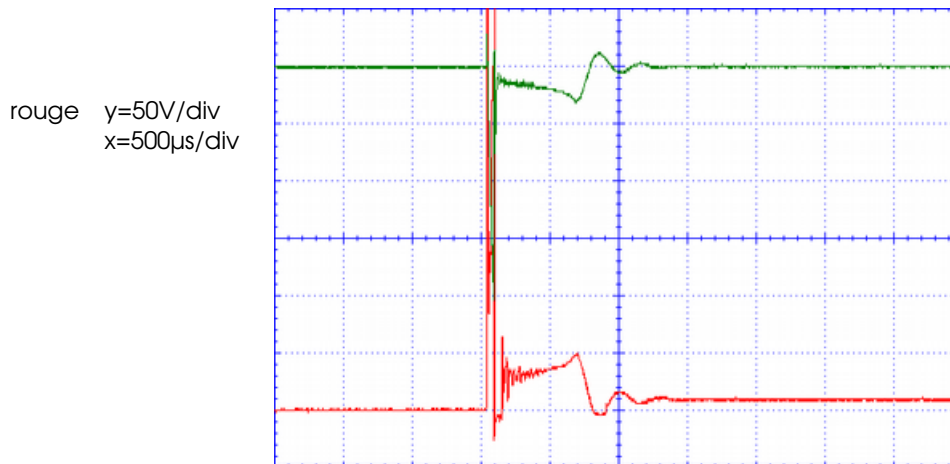


Figure 3.13: Ducellier, sans condensateur

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 540µs, 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 kHz après
- la tension primaire monte très haut très vite 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 récents, on utilise souvent un écrêtage par diode Zener, ou un contrôle strict des paramètres tension/courant/durée avec détection des misfires (ratés d'allumage) et absence de condensateur.

Voir aussi les mesures sur la bobine de Solex (page 35), où j'ai diminué la capa à 0,11µF, la tension primaire monte alors à 600V et la durée d'impulsion diminue

http://www.hackerschicken.eu/www/electric/volant_magnétique.pdf

3.9 Essai sans bougie

Sans « bougie » (gap infini) le début de la courbe est identique, il semble y avoir un début d'amorçage (interne, et correspond au « tic » aigu entendu dans la bobine, le « toc » plus grave est dû à la magnéstrostriction, qui, elle est imperceptible dans les bobines noyées dans l'époxy) et la tension monte ensuite bien plus haut, à 370V. Il semble de plus y 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 secondaire 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 ou totale, 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. La tension théorique max serait de 750V.

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

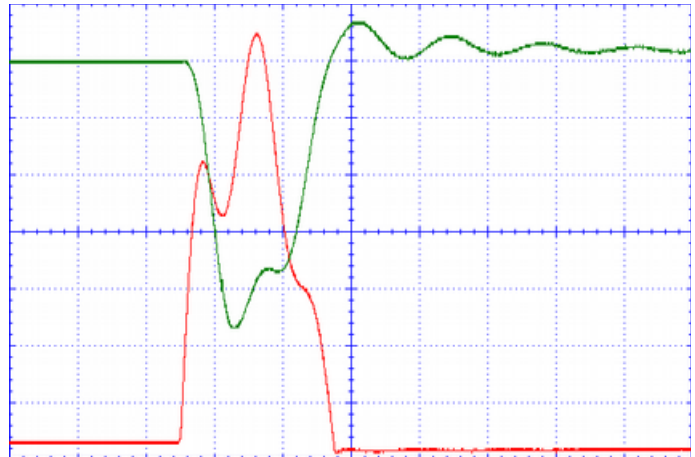


Figure 3.14: Ducellier, sans bougie

3.10 Influence de l'écartement bougie

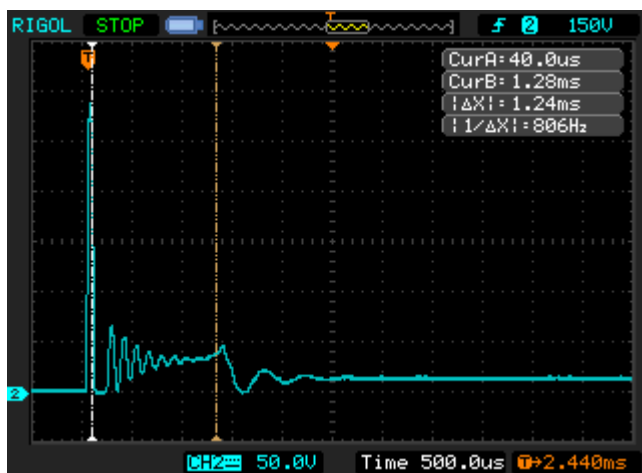


Figure 3.16: Ducellier, éclateur 5mm
éclateur 5mm (= **bougie 0,5mm**)

la durée d'étincelle est de **1,24ms**
(valeurs lues au primaire de la bobine Ducellier)

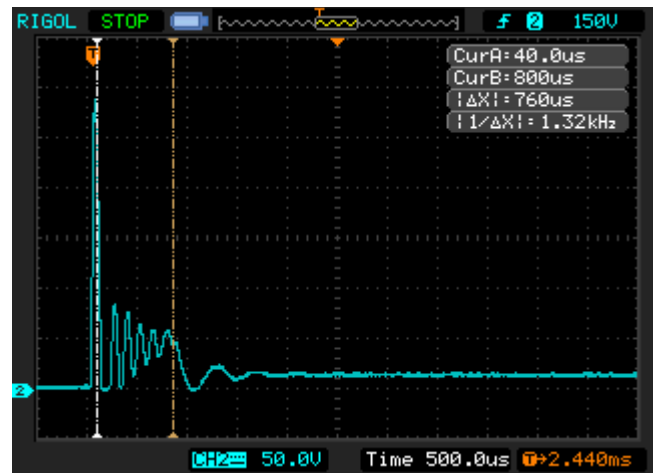


Figure 3.15: Ducellier, éclateur 10mm
éclateur 10 mm (= **bougie 1mm**)

la durée d'étincelle est de **760μs**

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) $t=L*(I/V_z)$. 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 est plus élevée, et la bobine se vide plus rapidement.

3.11 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).

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

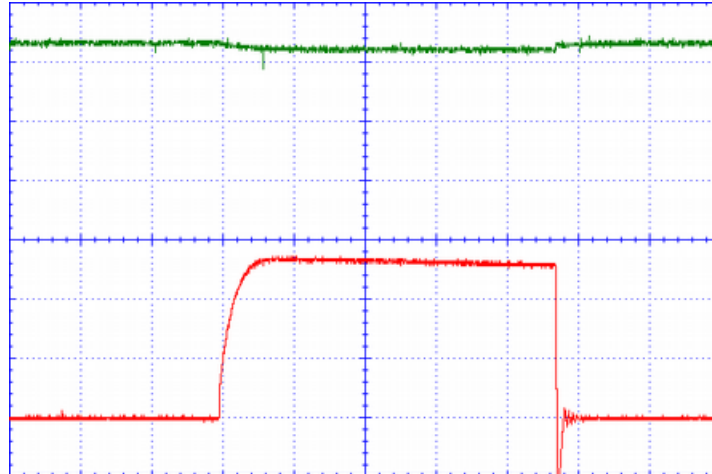
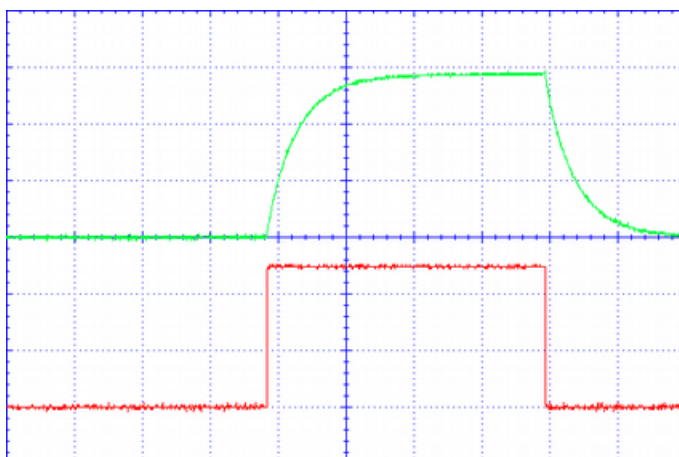


Figure 3.17: Ducellier, secondaire en court-circuit

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

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

Figure 3.18: Ducellier, mesure directe inductance secondaire

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 . On peut aussi la mesurer avec un instrument plus élaboré (PeakTech2170).



3.12 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-air 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

Mesure par résistance shunt

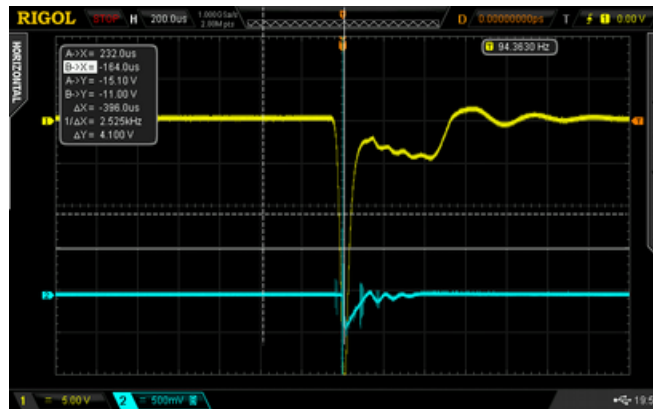


Figure 3.19: mesure du courant bougie

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, lorsqu'il passe par le cœur. Et les futures bobines à 200mJ seront très dangereuses

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** ($U=RxI$, 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 mobylettes (tubes au néon ou argon selon la couleur) pour le fun, chute de tension <100V. La chute de tension apportée par le jeu entre le doigt de Delco et la tête de Delco est aussi notable. Comme 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, $V = k \times PD$) 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 1500V. 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.

Mais il ne s'agit aussi que de 120V de perdus à une ddp de 18kV, cette ddp se répartissant entre pertes dans l'inductance de fuite et la résistance secondaire, le gap éventuel du distributeur, la résistance de l'antiparasite et la résistance intégrée à la bougie, et les 900à 1000V de l'étincelle active, faut relativiser !

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.

On peut corréliser le courant avec la tension de crête, le courant crête, et la fréquence de la demi-période de l'impulsion primaire. La bobine classique, avec son condensateur, résonne à 3kHz environ (effet L et C primaire) l'impulsion secondaire est une image du primaire et cette impulsion se retrouve en sortie, avec une inductance de l'ordre de 30 H. La réactance du secondaire est de l'ordre de 600 kΩ. Le courant de court-circuit (bougie) est alors de 20kV / 600 kΩ soit 33mA.

3.13 Éclateurs voulus / accidentels

Il existe, dans les allumages à distributeur (tête de Delco), un espace voulu entre le doigt de distribution et la borne de sortie. Cet espace est dû à la construction du distributeur et à l'usure des pièces. Il peut atteindre 0,5mm. La chute de tension de ce jeu peut donc atteindre 1500V, largement supportable par un allumage en bonne santé. Cet éclateur est voulu et est pris en compte dans la conception de l'allumage.

Il existe des « éclateurs » cette fois involontaires, qui apparaissent lors de dégradations des bobines. La connexion du fil du secondaire de la bobine à la borne de sortie de la bobine est une liaison scabreuse, contre nature, d'une grosse borne et d'un fil fragile. Le fil du secondaire est d'une taille voisine du cheveu humain, 40μ (4/100 de mm). Si le cheveu résiste à une traction de 60 à 100g, le cuivre tient 20kg/mm², le fil de gauge 46 (40μ) tient moins d'une trentaine de grammes.

La sortie d'une bobine doit pouvoir résister à des efforts mécaniques et à des manipulations humaines sans tirer sur le fil. La borne est souvent fixée sur la « bobine », en fait collée sur les bandes textiles d'enrobage de la bobine. Ces bandes sont enduites de colle ou de vernis. Le fil est pris dans la colle et le tissu qui sont bien plus solides que le fil et toute déformation due à l'âge, l'humidité, la dénaturation des produits chimiques ou la température, va tendre vers la rupture du fil.

La brasure du fil sur l'électrode est souvent corrodée, c'est souvent le cas des pièces « neuves » d'origine (NOS New old stock) dont on n'a pas prévu, ni réalisé évidemment, un stockage de qualité pendant 70 ans ! Cerise sur le gâteau, on voit des brasures mal faites à l'origine (soudures sèches) qui bien sûr ne s'arrangent pas avec le temps et des corrosions dues au flux de brasage, agressif, ou mal nettoyé.

La réparation idéale (ou remise à niveau) comporterait le dernier demi-centimètre libre de toute tension du fil, ou mieux, avec boucle de relaxation de contraintes, et non prise dans la colle (très légèrement pincée entre deux faces non adhésives de rubans), faut que ça puisse un peu bouger sous une traction de 10g.

Lorsqu'il y a rupture du fil (la résistance au multimètre disparaît, résistance « infinie ») un jeu apparaît, qui est facilement (au début du phénomène) traversé par un arc électrique. Il y a encore une étincelle à la bougie, pendant un certain temps seulement. Le cuivre se vaporise à 2600°C, et l'arc électrique monte, lui, à 3500°C, ce qui va augmenter le jeu et créer des dégâts collatéraux (carbonisation des matières organiques, dépôts métalliques, puis court-circuit des couches voisines). Bref, dès que le secondaire voit sa résistance augmenter, il est temps d'approvisionner une nouvelle bobine ou de la réparer.

On préconisait il y a quelques dizaines d'années **le bouton de culotte**. C'était l'époque des boutons en céramique. Il suffisait de bobiner une spire de fil nu entre deux trous, et une spire entre les deux trous libres, le disrupteur étant inséré en série, à l'extérieur, dans le fil de bougie.

Cela fonctionnait surtout lorsqu'une résistance de fuite à la masse empêchait la croissance de la THT jusqu'à la tension d'amorçage. Avec le disrupteur la THT peut monter de 1500V supplémentaires, et, lorsque le courant passe, il devient suffisant pour détruire la résistance parasite. Cela ne marche que dans certaines plages de tension/courants/résistances de fuite, bref pour un certain nombre d'anciennes.

Certains gourous⁷ et charlatans ont mal compris ou jamais vu de bouton de culotte.

On intercalait un bouton de culotte dans le circuit HT. L'épaisseur du bouton faisant disrupteur. Il fallait bien évidemment viser juste, pour que l'étincelle disruptive se fasse à travers un trou du bouton.= légende urbaine ! Qui préconise une méthode peu

7 On n'a que les gourous qu'on se mérite, qu'on comprend à peine (eux aussi d'ailleurs), RMZ

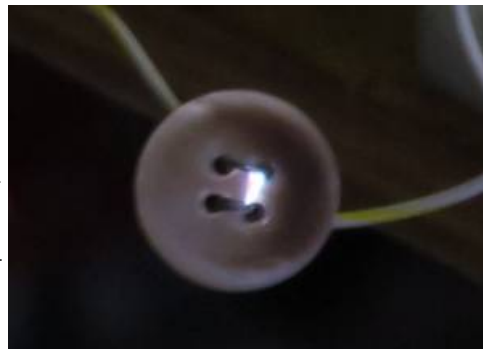


reproductible, au contraire du fil dans les trous du bouton de culotte.



La longueur de l'arc du bouton est de l'ordre de 3mm

le bouton ne sert que d'isolateur et pour définir approximativement la distance de l'arc



De même la présence d'un **disrupteur à l'intérieur d'un bobinage** tient de la légende urbaine ; il faut laisser passer les gaz de la dilatation quasi-explosive ou y résister, avoir des parois qui tiennent la température sans charbonner, un volume suffisant et une possibilité de nettoyage.

Ces **légendes urbaines** confondent aussi l'**éclateur anti-surtension** et un hypothétique **disrupteur interne**. Dans certaines anciennes magnétos, la mauvaise qualité des isolants de l'époque imposait un anti-surtension lorsque la bougie était déconnectée (éclateur bien visible à 4 mm environ, dans ces magnétos l'allumage était faiblard et ne montait alors qu'à 12kV max, donc faible taux de compression et bougie à électrodes rapprochées). D'aucuns ont prétendu qu'il y avait un éclateur dans certaines bobines tournantes. Difficile à croire ou rarissime, même s'il s'agit d'un organe de sécurité, appelé à ne déclencher que rarement : un éclateur ne devrait être constitué que de matériaux fonctionnels minéraux (verre, métal, céramique et air) et non de matériaux organiques (tissus, vernis, peintures, caoutchouc, résines) qui charbonnent rapidement . Et encore il faut prévoir un nettoyage des dépôts brûlés des impuretés de l'air. On ne m'a pas encore convaincu de cette existence en me présentant une telle chambre.

Quant à la présence d'un disrupteur (éclator) interne qui fonctionnerait donc à chaque étincelle, c'est difficile à croire, sauf en matériaux minéraux et démontable, ça se verrait, mais ce serait quand même plus facile de l'installer sur le fil de sortie de bougie ! Ça sert plutôt d'excuse à un secondaire de bobine coupé (résistance infinie au multimètre) et finira par détruire les isolants et la bobine.



3.14 Sur les foires : l'Eclator

La réactance du secondaire à 600 k Ω (§ 3.12) constitue une impédance de source élevée et est facilement affectée par une résistance de fuite même élevée. Mettons une résistance de fuite de 1M Ω sur la bougie et la tension crête passe de 20kV à 12,5 kV, insuffisants pour amorcer la bougie. Un seau d'eau versé sur le moteur est impressionnant et le badaud pense à un court-circuit. On ne sait rien de la conductivité (ajout éventuel de sel) du seau d'eau du bateleur !

La tension secondaire peut croître librement (sans passage de courant) jusqu'à ce que l'éclateur déclenche le passage du courant. À ce moment, le courant dispose d'une énergie suffisante pour courir à la surface du film d'essence d'une bougie noyée ou pour brûler les dépôts légers. L'Eclator est la suite « industrielle » des boutons de culotte qui maintenaient deux fils à distance, et des bougies à éclateur intégré. L'effet devrait être différent selon que la fuite est une couche d'essence ou des dépôts carbonés. Les allumages à bobine commandée en courant et sans condensateurs ne peuvent être améliorés par un éclateur puisque la montée en tension est déjà très brutale.



Figure 3.20: bougie à éclateur intégré, chez IGM

bougie à éclateur interne, collection IGM, cavité d'un certain volume et nettoyable puisqu'il y a toujours un peu de dépôt de métal « sous vide » (pression partielle de vapeur métallique) et carbonisation de polluants de l'air
construction en céramique, métal, verre et air.



Figure 3.21: l'Eclator des foires

pas de nettoyabilité, faut garder le business !
Pour la même raison, certains en « recommandent » un par bougie
électriquement inutile avec un distributeur



4 Bobines crayon

4.1 Bobine S...

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 S... ». Ces bobines faites sur spécifications constructeur ou choisies par lui (ce n'est pas par hasard, puisque ce constructeur remplace les bobines défaillantes par des neuves, toujours les mêmes, même plus de dix ans après la fin de fabrication de bobines par S... 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 hasard⁸ (sinon le constructeur remplacerait immédiatement toute bobine S... par une autre identique, et un autre constructeur ne les a utilisées que six mois) 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 mécano.

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 S... ! 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 les primaires sont **en série**, il s'agit donc en fait de **bobines « 3V »** puisque, grâce à Georg Ohm, on sait qu'un courant de 6A dans une bobine de résistance de $0,55\Omega$ développe une ddp de 3,3V, tension minimale d'utilisation de cette bobine, et deux bobines 3V dans un circuit 12V laissent une bonne marge pour le transistor de commande et le générateur de courant. Cette bobine est obligatoirement commandée en courant (comme dans le

8 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 survoltage, 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 envisagé sur le sujet)



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.

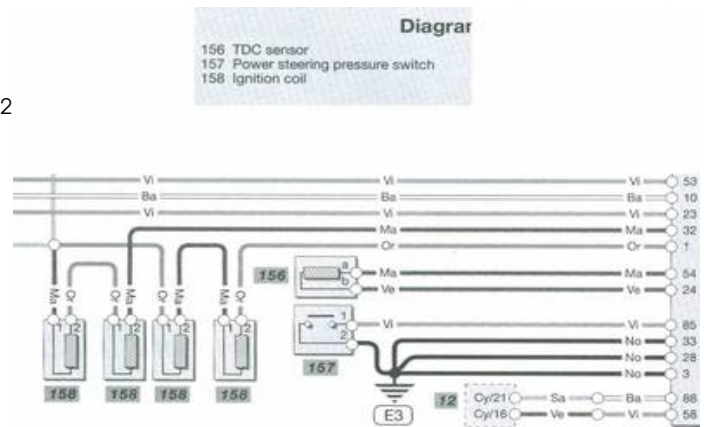


Figure 4.1: branchement de bobines-crayon

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.

4.1.1 Tension max de bobine-crayon

Les bobines-crayon sont commandées par un boîtier d'allumage électronique, et comme l'ensemble est mécaniquement solidaire du moteur, on ne craint plus (sauf par bidouilleur sauvage) de fonctionnement hors d'un montage correct. Le condensateur n'a plus besoin de protéger le rupteur, mais le transistor de commande, qui supporte une variation de tension plus rapide et n'arque pas, la valeur de la capa devient plus faible que pour les allumages à rupteur : une dizaine de nF. Ce qui donne une HT théorique de 3500V, qui, multipliés par le rapport de transformation de 100, donne une THT théorique de 350kV (sans pertes), heureusement limités par l'amorçage de la bougie, avec un temps de montée de 1/4 de période soit 0,3µs avec un condensateur de 10nF. Ces valeurs sont imposées par la réglementation et la pollution, pour être sûr de démarrer en deux tours (un cycle complet par cylindre) et de ne pas envoyer de gaz imbrûlé dans le cylindre, merci le garagiste de ma femme (comme toutes, elle veut la réparation pour demain) et le garage « découvrant la panne pour la première fois » alors qu'un million de malheureux râlent sur le Web, fait tranquillement 15km, la valise se trouvant là-bas (?) et le garage, en bon professionnel, ne sait pas que ça réduit la durée de vie du catalyseur !. Depuis, je n'achète plus cette marque pour n'acquérir que des voitures championnes de la fiabilité.



4.1.2 Analyse de construction de la bobine S...

Ouverture de la bobine



Figure 4.2: bobines S... et Beru

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

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



Figure 4.3: bobine S... ouverte

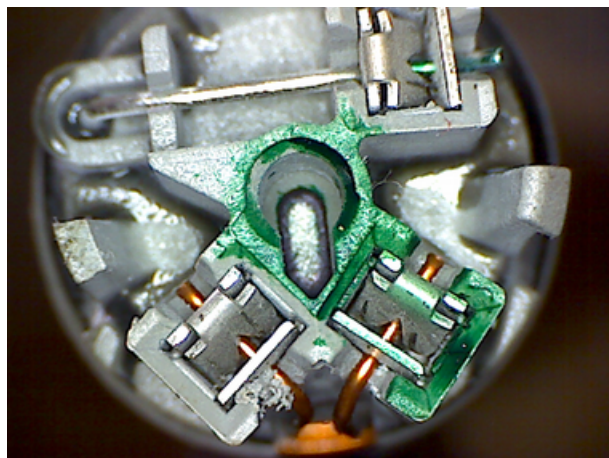


Figure 4.4: bobine S..., extrémité

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

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 cosse 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 (= tension de claquage env 1,5kV)



Figure 4.5: bobine S..., chapeau de contact

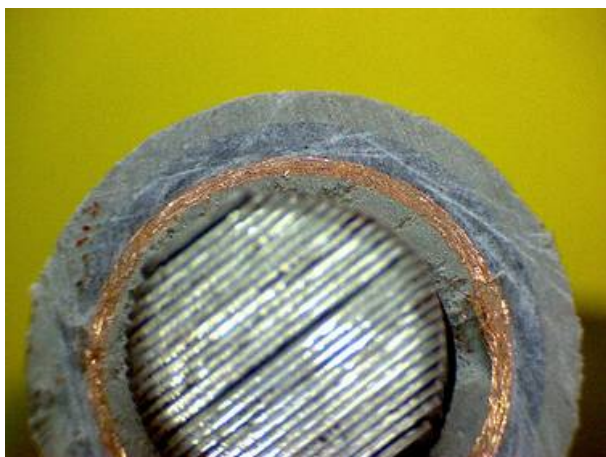


Figure 4.6: bobine S..., coupe transversale

coupe transversale 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 électrique)

coupe parallèle aux fils

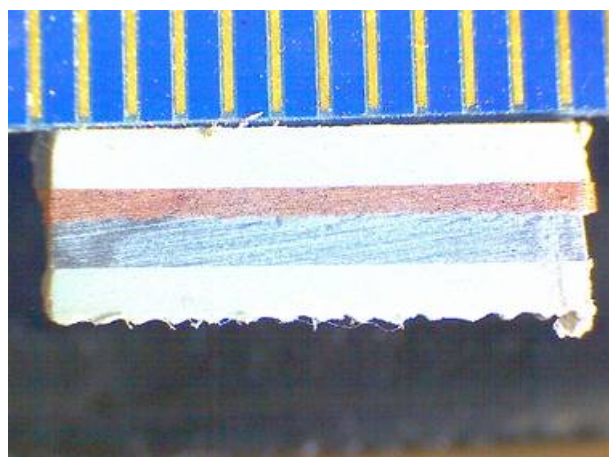


Figure 4.8: bobine S..., coupe sagittale

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

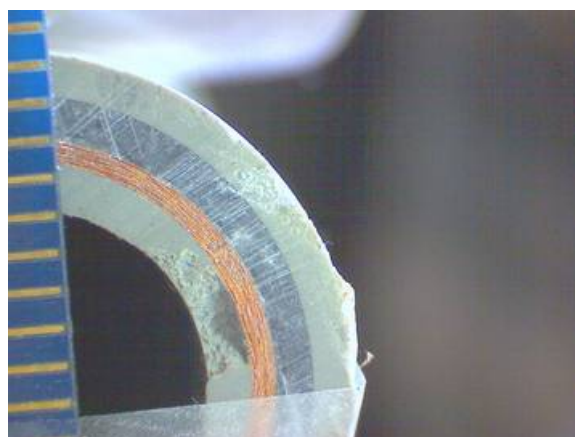


Figure 4.7: bobine S..., en polissage

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



Figure 4.9: bobine S..., détail du
secondaire

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 la cause du problème

- tube plastique
- bobinage environ 15 couches dans 0,6mm, **PAS de film isolant** entre couches. La place est pourtant largement 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 isollements. 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)

4.1.3 Caractéristiques électriques :

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 rangées (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 $18 \times 2 / 14 = 2,5$ 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 320µs (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
- époxy de remplissage
- tube plastique PVC

4.2 Bobine Beru

ZS052 0 040 100 052

La bobine n'est pas démontable comme la bobine S..., 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.

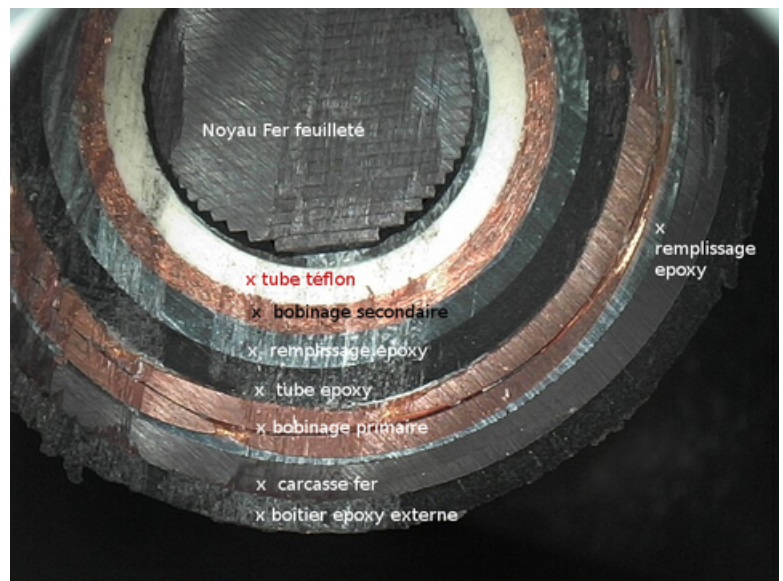


Figure 4.10: bobine Beru, coupe

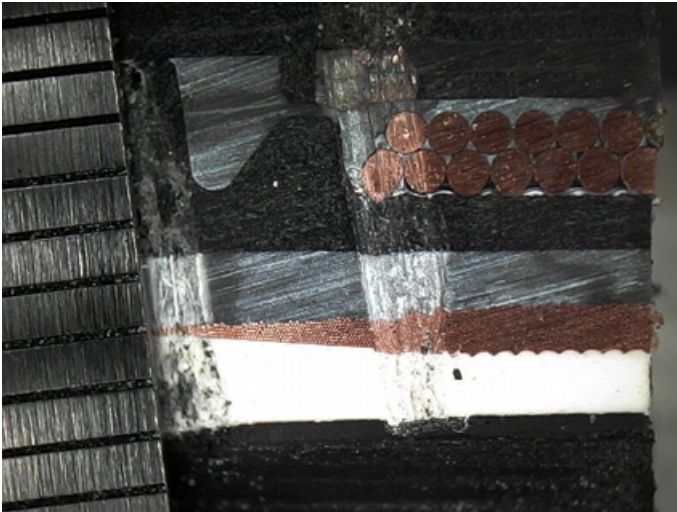
En soignant l'éclairage et la polarisation du microscope, on peut mettre en évidence

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 S....



Figure 4.11: bobine Beru, détail de la coupe



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 S... 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 que dans la bobine S....

Figure 4.12: bobine Beru, coupe sagittale



Figure 4.13: bobine Beru, foisonnement des fils

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

Beru

résistance primaire 0,58 Ω
résistance secondaire 6550 Ω
inductance prim 3,023 mH
inductance sec 22,6H
Lip 0,1mH Lis 4,8H
couplage 0,87 n = 86
énergie @6V/4A 161 mJ



τ 5,21ms

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

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

Remarque : le montage des bobines-crayon permet de garantir correctement que la bobine fonctionne toujours connectée avec sa bougie. Il n'y a donc plus besoin de maîtriser la montée de la surtension primaire avec un condensateur, qui disparaît des calculateurs et augmente la précision de l'instant d'allumage.

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

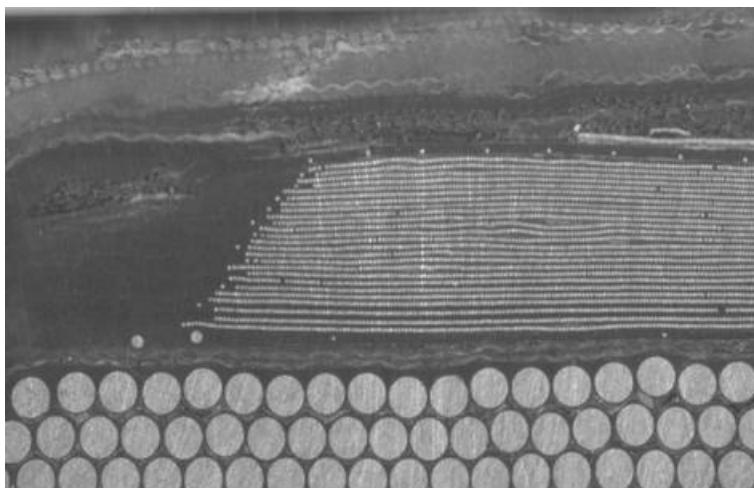
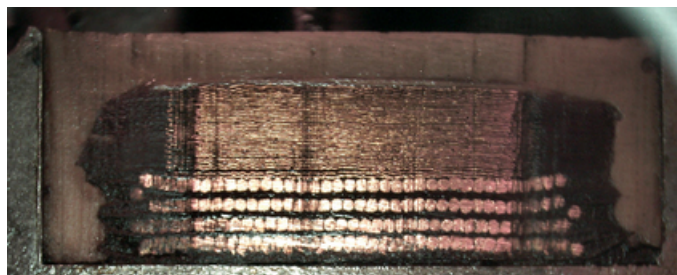


Figure 4.14: bobine Lambretta

Les spires du secondaire sont bien rangées, l'isolement est soigné, et on distingue nettement la présence d'un film d'isolation entre couches secondaires. La bobine S... 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 largement 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, assure la protection mécanique et électrique



4.4 Analyse de quelques causes de panne probables

L'accumulation de matériaux différents, avec la différence consécutive des coefficients de dilatation cuivre (CTE=17x10E-6, celui de l'époxy de 20 à 100, et variable en fonction de la température et du degré de polymérisation) conduit inmanquablement à des effets thermiques et l'isolation 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 ces 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 ultra-classique sans valise ?), a conduit la voiture sur 15 ou 30 km, et sur trois cylindres, conduite normalement interdite, vu les risques de détérioration du catalyseur ! Je n'ose croire que c'est fait exprès.

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

5 Autres bobines

6 Bobine à circuit « fermé » Magneti Marelli

sur Clio 1,2

Magneti Marelli SAE 504 L 5H

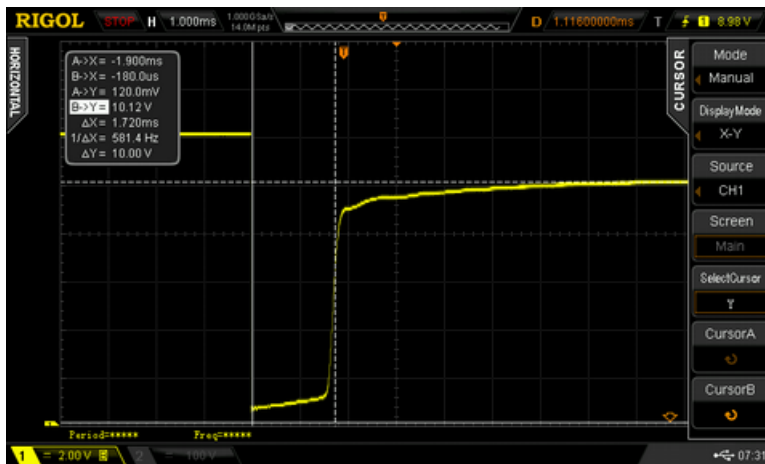
résistance primaire 0,62 Ω
résistance secondaire 6960 Ω
inductance prim 2,259 mH
inductance sec 22,5H
Lip 0,18mH Lis 3,7H
couplage 0,88 n = 100
énergie @4A 105 mJ



Figure 5.1: bobine Magneti Marelli

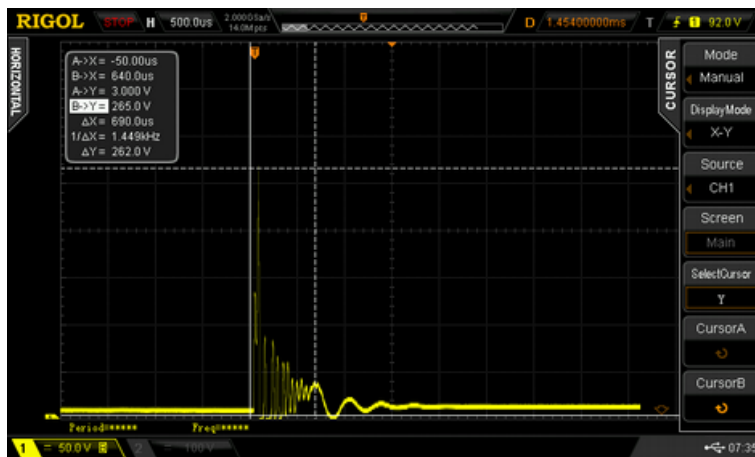
De par sa résistance interne, cette bobine ne peut fonctionner que commandée par une électronique et courant commandé (calculateur), si on la commande par un rupteur, elle partira très rapidement en fumée au démarrage, ou détruira le câblage/fusible.

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 saturer

Figure 6.1: bobine Magneti Marelli charge magnétique



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

Figure 6.2: bobine Magneti Marelli, tension primaire

6.1 Magneto aviation 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 5kV(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.

Figure 6.3: constantes typiques de magnetos aviation 1929

6.2 bobine moto japonaise Kawasaki (ZXR750)

Double sortie

résistance primaire 3,1 Ω
résistance secondaire 14320 Ω
inductance prim 4,5 mH
inductance sec 25750H
Lip 0,375mH Lis 12,4H
couplage 0,69 n 77
énergie @12V 33 mJ
 τ 1,41ms

6.3 Bobines Lucas et compatibles



Figure 6.4: bobines Lucas & compatibles



6.3.1 bobine Lucas 17M12 date code 26/71

inductance 13mH
énergie 65mJ

6.3.2 bobine Lucas 17M12 date code 17/74

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

6.3.3 bobine Klitz ACQU1 #1

R primaire 2,89 Ω
R secondaire 4,35 k Ω
rapport 62R primaire 3,7 Ω
R secondaire 5,24 k Ω
rapport 56
inductance 10mH
énergie 89mJ

6.3.4 bobine Klitz ACQU1 #2

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

Bobine moto 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 $\frac{1}{2} LI^2 = \underline{53 \text{ mJ}}$ (si I=4,5A, pilotés par le calculateur)

6.4 bobine Solex VSX2200 SEV



Taille représentative, la longueur fer est de
10 cm

Figure 6.5: bobine SEV Solex

 **$R_p = 1,4 \Omega$** **$R_s = 2,60k$** **$L_{prim} = 7,9 \text{ mH (@1 kHz)}$ secondaire à vide** **$L_{ip} = 0,53 \text{ mH}$ secondaire en court-circuit** **$L_{sec} = 10,25 \text{ H (@1Hz)}$** **$L_{iss} = 0,702$ primaire en court-circuit** **$E(6V/4A) = 73 \text{ mJ}$** **couplage = 0,93** **$n = 36$** **$\tau = 5,64\text{ms}$**

masse = 225g

Cette bobine a été fournie par Bernique (Rap'n pneus) qui la croyait HS.

C'est une bobine à 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, je sais, mais il y a des furieux qui emmènent ces bécanes à des 90 km/h! Voir le site des râpeurs de pneus)

Dans ces conditions, il faut que le rupteur et le condensateur ou le module d'allumage le supportent, 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.

Les tensions indiquées ci-après correspondent à la tension d'alimentation de l'allumage, toujours pour la même bobine, elles influent sur la durée de la charge magnétique, dès que le module entre en limitation de courant.

À 6000rpm, 10 mm à l'éclateur
soit 1,4 mm à la bougie Solex

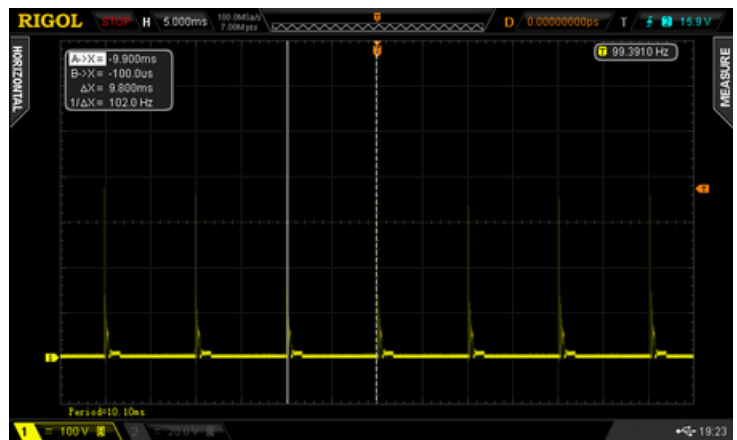


Figure 6.6: bobine SEV Solex, à 6000 rpm

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'écroule avec l'amorçage de l'arc (normalement un peu avant le maximum), le retard depuis l'ouverture rupteur varie de 40 à 100 μs . On a en gros une 1/2 sinusoïde dont la tension dépend de la fréquence d'oscillation et l'amplitude du rapport de l'impédance de source et des résistances de fuites dans les isolants. J'ai comparé ici avec les conditions d'amorçage.

Sur bobine Solex-SEV :



Alim 6V (via transistor et résistance de limitation de courant : 065V), capa 0,11µF
fréquence complète 4,15 kHz
théorique 5,1 kHz
amplitude 600V
la seconde pseudo-crête est une réflexion du secondaire

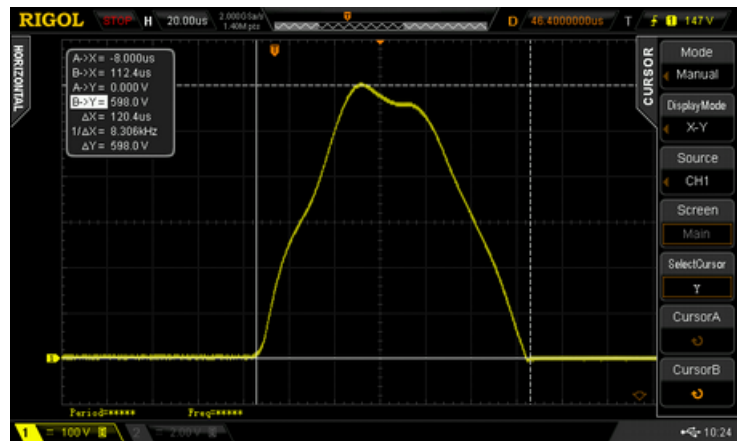
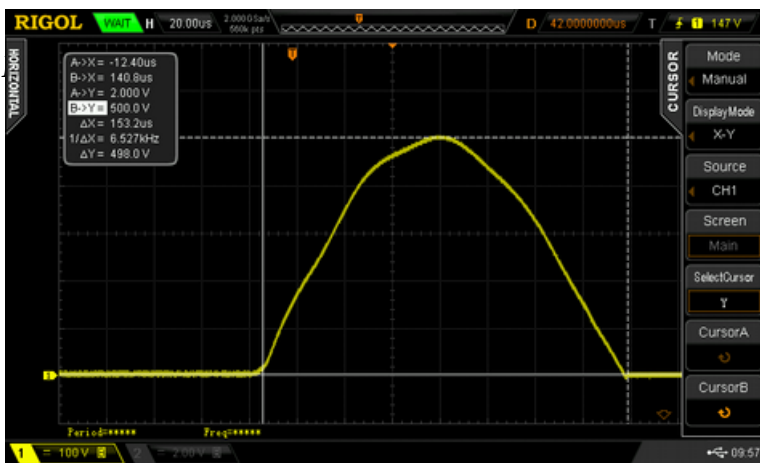


Figure 6.7: bobine SEV sans bougie



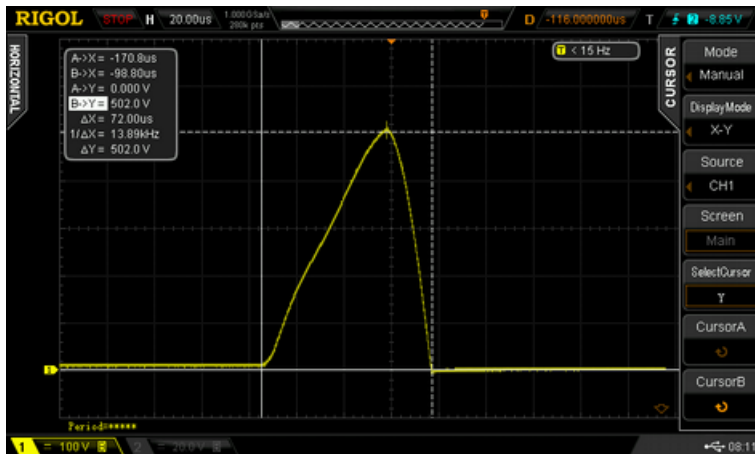
Alim 6V, capa 0,22µF
allure d'une demi-sinusoïde
fréquence complète 3,25 kHz
théorique 3,62
amplitude de l'impulsion 500V
pas d'amorçage

Figure 6.9: bobine SEV 6V 0,22µF



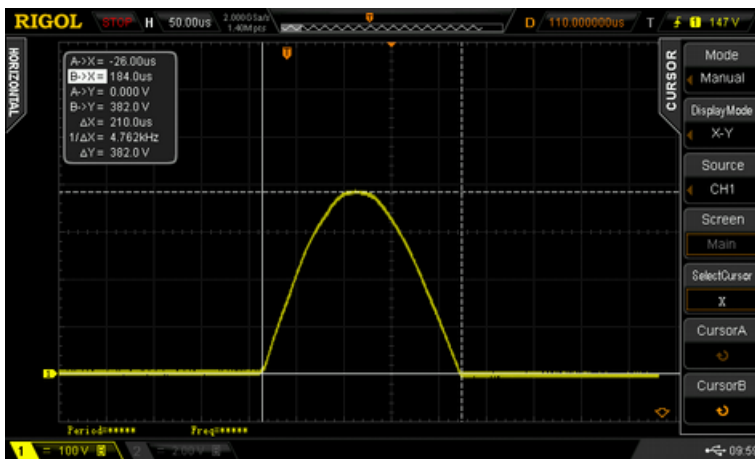
Alim 12V capa 0,22µF éclateur 10mm
retard à l'amorçage 66µs
tension d'amorçage 510V

Figure 6.10: bobine SEV 12V 0,22µF écl 10mm



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

Figure 6.11: bobine SEV 12V 0,22µF écl 5mm



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

Figure 6.12: bobine SEV 6V 0,44µF



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

Figure 6.13: bobine SEV 12V 0,44µF écl 10mm

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



6.4.1 inductance de fuite et tension secondaire

Avec un rapport de 32 et la tension du condensateur ($0,22\mu\text{F}$) est de 250V (voir p8) à l'amorçage, soit 8kV. En fait la bobine se comporte comme si la tension à atteindre au secondaire détermine la tension à atteindre à la capa. **Un rapport de transformation faible entraîne une tension au condensateur forte.**

6.5 Bobine de remplacement Solex, sans marque

Vendue chez VSX

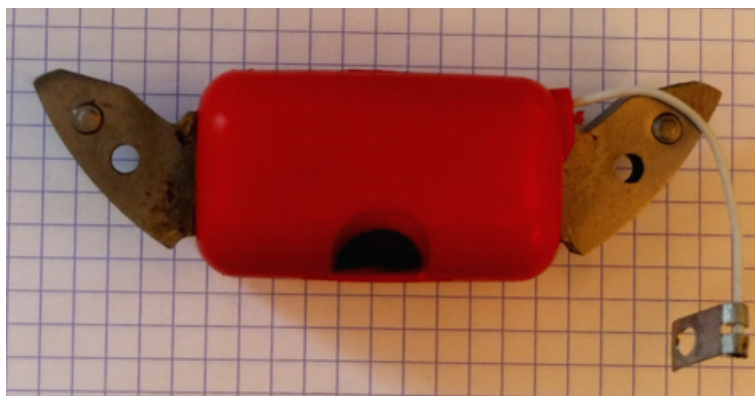


Figure 6.14: bobine VSX

comparée à la bonne grosse
verte SEV / Solex



Figure 6.15: bobine VSX et SEV, de coté



Figure 6.16: bobines VSX et SEV, de dessous

Bobine VSX

$R_p = 0,75 \Omega$

$R_s = 6,33 \text{ k}\Omega$

$tr_{21} = 76$

$tr_{12} = 55$

$L_p = 4,94 \text{ mH} (@4800\text{Hz})$

$L_{pcc} = 0,04\text{mH} (@54,9\text{kHz})$

$L_s = 21 \text{ H}$

$tr \text{ (par les inductances)} = 65$

$E(6\text{V}) = 53\text{mJ}$

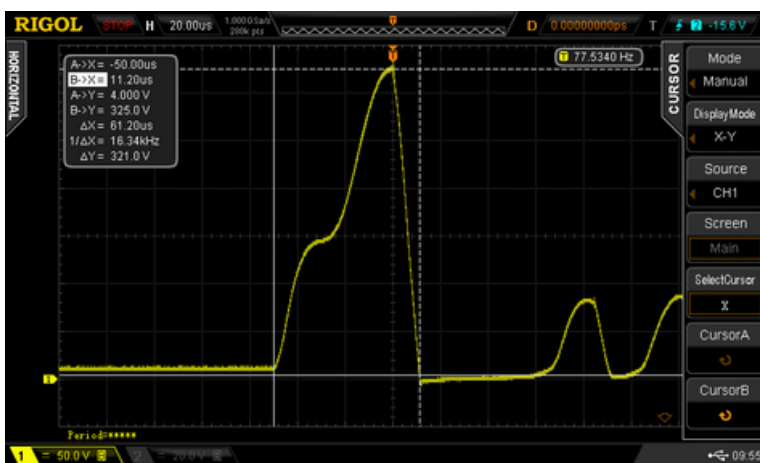
$E(3,8\text{A}) = 36\text{mJ}$

fil primaire, diamètre non mesurable (présence d'un fil intermédiaire)

épaisseur fer 10,3mm

masse = 164g plus légère que la SEV et il y a moins de fer (SEV 14,5, rouge 10,2 mm)

Y'a moins de cuivre et de fer que la bonne grosse bobine verte SEV/Solex, mais elle claqué bien quand même



Avec une capa de 0,22µF, la tension primaire grimpe à 320V et met 50µs avant amorçage

Figure 6.17: bobine VSX 0,22µF

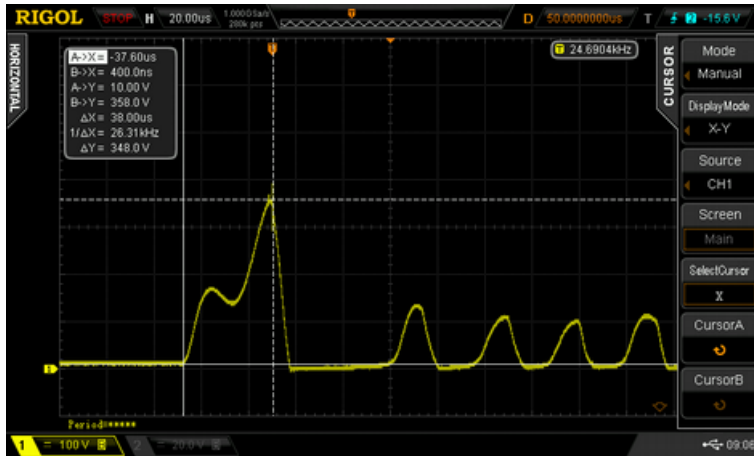


Figure 6.18: bobine VSX 0,11µF

Avec une capa de 0,11F, la tension primaire passe à 350V et met 30µs avant amorçage les oscillations après la 7ème division correspondent à la dissipation de l'énergie dans les isolants, L'étincelle est déjà éteinte

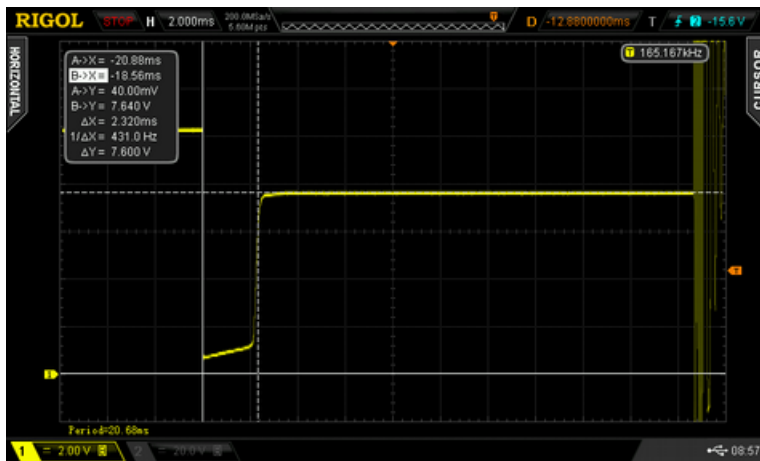


Figure 6.19: bobine VSX, courant de charge

la bobine met 3,2ms avant de saturer (@12V)

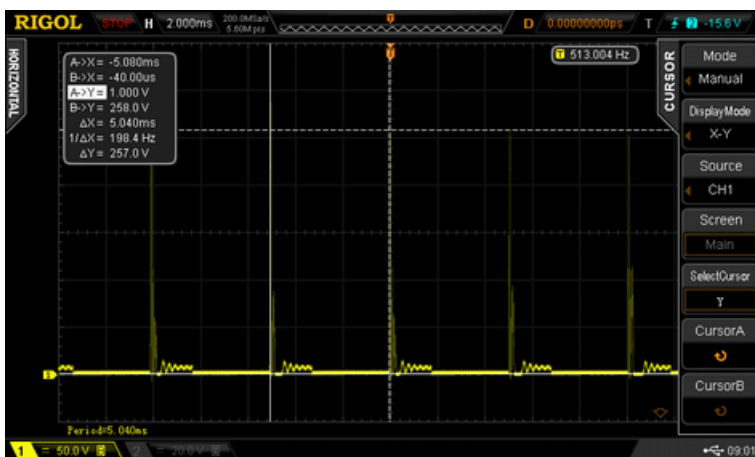


Figure 6.20: bobine VSX haut régime 12000 rpm

Avec 0,22µF, la bobine peut aller à 12 000 rpm et plus

La bobine compatible VSX fonctionne correctement



6.6 Bobine PVL

trouvée dans une Triumph Speed Twin « la baignoire »



Figure 6.21: Triumph Speed Twin

La bobine est spécifiée pour une bobine par cylindre

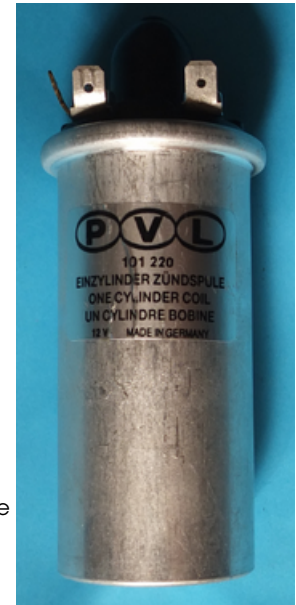


Figure 6.22: bobine PVL

$R_p = 3,66\Omega$

$R_s = 5,8k\Omega$

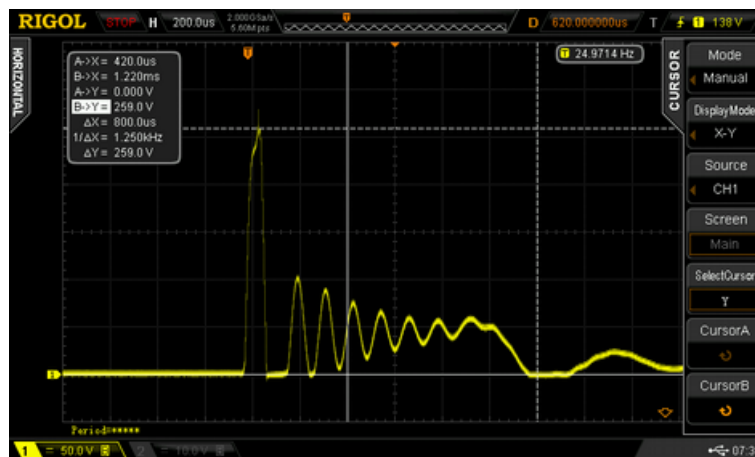
$L = 20mH$

$\tau_{21} = 46$

$E(12V) = 106\text{ mJ}$, elle est pêchue !

La forte inductance explique peut-être cette indication car la constante de temps est de 5,4ms et fait prévoir des pertes notables dès 10000 rpm en monocylindre soit 5000 rpm en bicylindre

Ce n'est pas vraiment une limite Je l'ai faite monter à 7500 rpm/2cyl sans ratés d'allumage avec l'éclateur à 10 mm soit la bougie à 1mm.



Éclateur 8mm

Figure 6.23: bobine PVL, éclateur 8mm

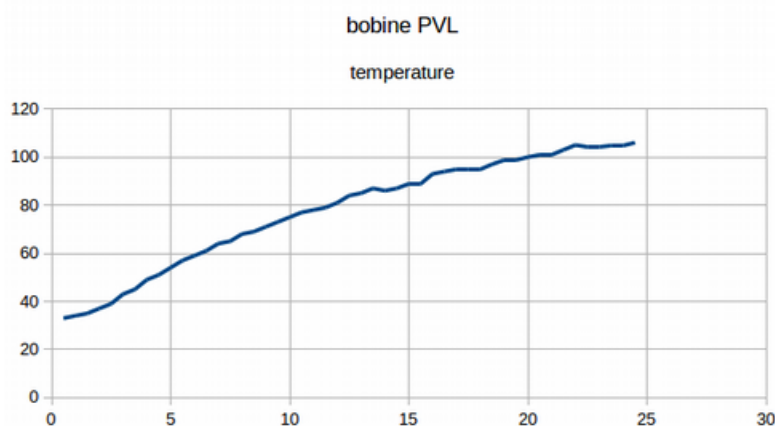


10 mm

Figure 6.24: bobine PVL, éclateur 10mm

Un ami d'IGM⁹ s'inquiète de sa température (qui passe de 27 à 100° en 20' et montera encore, ce qui est normal, sa résistance thermique avec l'ambiante est de 1,5°/W) Il ne faut pas oublier qu'elle dissipe 40W (si dwell 100%) Il est donc fortement conseillé de la ventiler, de la monter avec une bride, et de ne pas la monter sous la selle, faut se préserver les gonades.

Pour un dwell à 70 % et une tension de batterie de 14V, la dissipation de puissance reste à 37W, cela reste une bonne chauffelette avec peu de refroidissement naturel, qu'il faut monter par une bride, dans un endroit ventilé. Le courant passe de 3,4A (@25°C) à 2,13A(@105°C).



essai sans ventilation et à dwell 100 %, 14V

Figure 6.25: bobine PVL seule, montée en température

6.7 Bobines Mobyette externe (volant magnétique)

Les bobines de volant magnétique prennent l'énergie stockée dans la bobine primaire du volant magnétique (au choix : volant magnétique ou maléfique) Cette énergie, amortie par un condensateur, cause une impulsion souvent 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 : 6,8 bars vs 10 b.



Figure 6.26: bobines Mobyette, Novi & Wovi

6.7.1 Bobine Novi 125440

R primaire 088mΩ
R secondaire 3,21kΩ
Inductance 12mH
rapport 70
diamètre corps 31mm
masse 207g

6.7.2 Bobine Novi 25440

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



6.7.3 Bobine Novi B120

résistance primaire 0,65 Ω
résistance secondaire 8900 Ω
inductance prim 4,37 mH
inductance sec 41,6H
Lip 0,465mH Lis 6,5H
couplage 0,87 n =50
énergie @6V4A = 120 mJ

6.7.4 Bobine Wovi 125440 (copie de Novi)

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

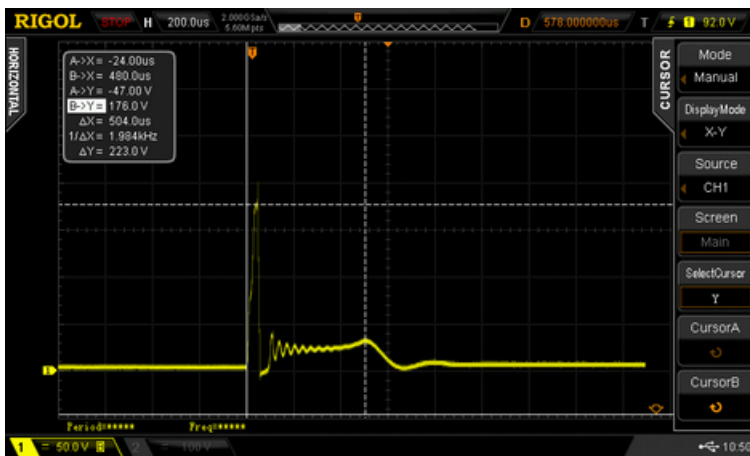
rapport 70

diamètre corps 31mm

masse 190g

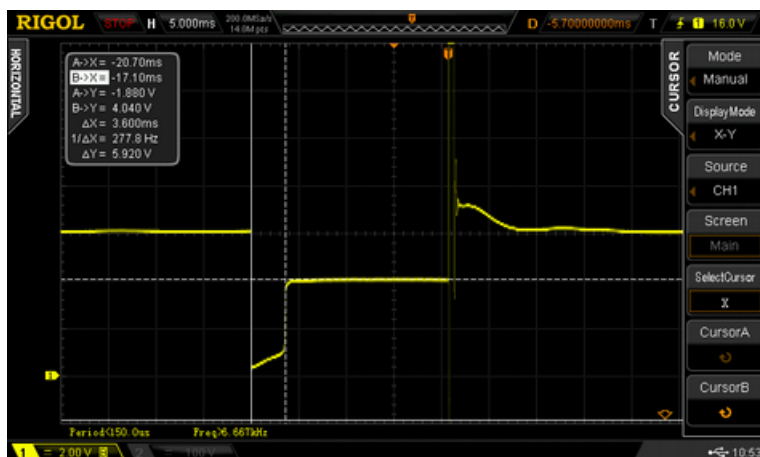
Cette bobine a des caractéristiques voisines de la Novi 125440 et B120, sauf la résistance secondaire (peut-être du fil plus fin, d'où une masse inférieure, bien perceptible) Elle peut peut-être se dispenser d'une résistance dans l'antiparasite, la résistance interne jouant partiellement ce rôle.

Mesures sur éclateur 5mm



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

Figure 6.27: bobine Wovi, éclateur 5mm



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

Figure 6.28: bobine Wovi, courant de charge



6.8 VSX pour MBK51

Bobine externe pour Mobylette

epoxy noir

résistance secondaire 5460 Ω

résistance primaire 0,64 Ω

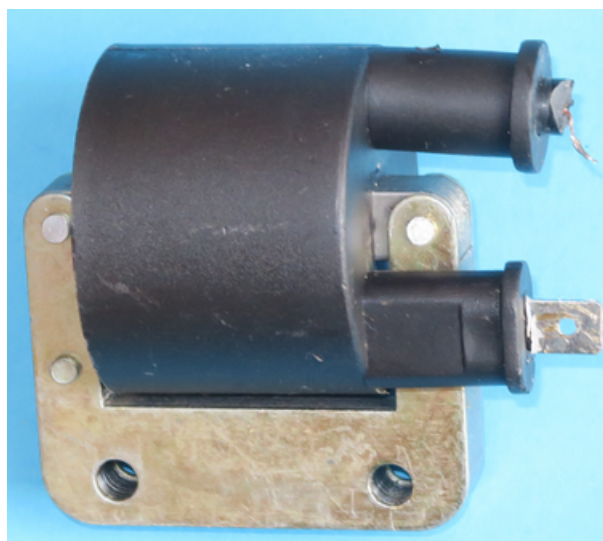
inductance prim 1,3mH

inductance sec 11,08H

Lip 0,124mH Lis 3,45H

couplage 0,79 rapport 92

énergie @6V/4A = 57mJ



A compléter avec d'autres bobines

7 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)



8 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 l'in-fâmeuse bobine S....

8.1 Biblio :

- Internet, et quelques rares infos, dans son ramassis d'infos nulles ou fausses
- Memento de technologie automobile, Bosch 2^{ème} et 3^{ème} édition (Fr)
- Automotive Handbook, Bosch, 9^{ème} édition (Engl)
- Ottomotor-Management, Kraftzeugtechnik 2^{ème} édition (Deutsch)
- Internal combustion engines fundamentals, John B Heywood, Mc Graw Hill (Engl)
- Motorradtechnik, Grundlagen und Konzepte von Motor, Antrieb und Fahrwerk, Jürgen Stoffregen, Springer Verlag (Deutsch), dank Isatis
- Report 58, National Bureau of Standards USA, 1929, F Silsbee (Engl)

8.2 Liens :

- conception allumage électronique http://www.hackerschicken.eu/www/electric/commande_allumage.pdf
- condensateurs en moto <http://www.hackerschicken.eu/www/electric/Spithascope/condensateur.pdf>
- volant magnétique http://www.hackerschicken.eu/www/electric/volant_magnétique.pdf
http://www.hackerschicken.eu/www/electric/volant_Moriyama.pdf

Au 28/01/2019 ce papier a été consulté 16600 fois les douze derniers mois, selon mon hébergeur





Table des matières

1 . Utilisation de la bobine d'allumage.....	1
1.1 Nécessité de connaître les paramètres bobine (inductance, résistance).....	2
1.2 Modes de commande de la bobine.....	3
1.2.1 Allumage par tension commandée.....	4
1.2.2 Allumage par courant commandé.....	5
1.3 Rapport de transformation.....	6
1.4 inductance de fuite, mutuelle, couplage.....	6
1.5 Consommation de l'allumage.....	7
1.6 Tension de sortie maximale.....	7
2 Mesures de bobines d'allumage « classique ».....	8
2.1 Les exigences d'une bobine.....	8
2.2 Allumage batterie-bobine.....	8
3 Bobines Ducellier 12V.....	9
3.1 Moyens utilisés.....	9
3.1 Mesures Ducellier avec PeakTech 2170.....	12
3.2 comportement en situation d'allumage.....	12
3.3 Étincelles multiples.....	13
3.4 Conditions normalisées.....	14
3.5 Écartement des électrodes :.....	14
3.6 Polarité :.....	16
3.7 Tension max au condensateur.....	16
3.8 Mesure de l'effet de la valeur du condensateur.....	17
3.8.1 Sans condensateur.....	17
3.9 Essai sans bougie.....	17
3.10 Influence de l'écartement bougie.....	18
3.11 Mesure de l'inductance secondaire.....	19
3.12 Courants de bougie.....	20
3.13 Éclateurs voulus / accidentels.....	21
3.14 Sur les foires : l'Eclator.....	23
4 Bobines crayon.....	24
4.1 Bobine S.....	24
4.1.1 Tension max de bobine-crayon.....	25
4.1.2 Analyse de construction de la bobine S.....	26
4.1.3 Caractéristiques électriques :.....	28
4.2 Bobine Beru.....	29
4.3 Comparaison avec la construction de bobine de volant magnétique de scooter et de Mobylette des sixties.....	31
4.4 Analyse de quelques causes de panne probables.....	31
5 Autres bobines.....	32
6 Bobine à circuit « fermé » Magneti Marelli.....	32
6.1 Magneto aviation 1929.....	33
6.2 bobine moto japonaise Kawasaki (ZXR750).....	34
6.3 Bobines Lucas et compatibles.....	34
6.3.1 bobine Lucas 17M12 date code 26/71.....	35
6.3.2 bobine Lucas 17M12 date code 17/74.....	35
6.3.3 bobine Klitz ACQU1 #1.....	35



6.3.4 bobine Klitz ACQU1 #2.....	35
6.4 bobine Solex VSX2200 SEV.....	35
6.4.1 inductance de fuite et tension secondaire.....	39
6.5 Bobine de remplacement Solex, sans marque.....	39
La bobine compatible VSX fonctionne correctement.....	41
6.6 Bobine PVL.....	42
6.7 Bobines Mobylette externe (volant magnétique).....	44
6.7.1 Bobine Novi 125440.....	44
6.7.2 Bobine Novi 25440.....	44
6.7.3 Bobine Novi B120.....	45
6.7.4 Bobine Wovi 125440 (copie de Novi).....	45
6.8 VSX pour MBK51.....	46
7 Valeurs typiques.....	46
8 Conclusions.....	47
8.1 Biblio :.....	47
8.2 Liens :.....	47

Index des illustrations

Figure 1.1: montée du courant bobine.....	2
Figure 1.2: courant & énergie d'allumage fonction du régime.....	3
Figure 1.3: puissance bobine et tension déchet.....	4
Figure 1.4: allumage à tension commandée, Ducellier.....	4
Figure 1.5: allumage à courant commandé, bobine S.....	5
Figure 1.6: charge magnétique de la bobine à commande de courant.....	6
Figure 1.7: Ducellier, rapport de transformation.....	6
Figure 3.1: Bobine Ducellier.....	10
Figure 3.2: mesure courant bobine.....	11
Figure 3.3: simulation Spice.....	11
Figure 3.4: Éclateur de mesure fait par IGM.....	12
Figure 3.5: une (très) vieille bobine Ducellier des sixties.....	13
Figure 3.6: Ducellier, tension primaire.....	13
Figure 3.7: Ducellier, oscillations primaires.....	14
Figure 3.8: Bosch, tension bougie.....	15
Figure 3.9: Étincelle Ducellier.....	15
Figure 3.10: Moto BMW R1100, pression cylindre.....	16
Figure 3.11: Solex 49cc, pression cylindre (Briansolex).....	16
Figure 3.12: Ducellier, capa 0,33µF.....	17
Figure 3.13: Ducellier, sans condensateur.....	18
Figure 3.14: Ducellier, sans bougie.....	19
Figure 3.15: Ducellier, éclateur 10mm.....	19
Figure 3.16: Ducellier, éclateur 5mm.....	19
Figure 3.17: Ducellier, secondaire en court-circuit.....	20
Figure 3.18: Ducellier, mesure directe inductance secondaire.....	20
Figure 3.19: mesure du courant bougie.....	21
Figure 3.20: bougie à éclateur intégré, chez IGM.....	24
Figure 3.21: l'Éclator des foires.....	24
Figure 4.1: branchement de bobines-crayon.....	26



Figure 4.2: bobines S... et Beru.....	26
Figure 4.3: bobine S... ouverte.....	26
Figure 4.4: bobine S..., extrémité.....	27
Figure 4.5: bobine S..., chapeau de contact.....	27
Figure 4.6: bobine S..., coupe transversale.....	27
Figure 4.7: bobine S..., en polissage.....	27
Figure 4.8: bobine S..., coupe sagittale.....	28
Figure 4.9: bobine S..., détail du secondaire.....	28
Figure 4.10: bobine Beru, coupe.....	30
Figure 4.11: bobine Beru, détail de la coupe.....	30
Figure 4.12: bobine Beru, coupe sagittale.....	30
Figure 4.13: bobine Beru, foisonnement des fils.....	31
Figure 4.14: bobine Lambretta.....	31
Figure 5.1: bobine Magneti Marelli.....	33
Figure 5.2: bobine Magneti Marelli charge magnétique.....	33
Figure 5.3: bobine Magneti Marelli, tension primaire.....	33
Figure 5.4: constantes typiques de magnetos aviation 1929.....	34
Figure 5.5: bobines Lucas & compatibles.....	35
Figure 5.6: bobine SEV Solex.....	36
Figure 5.7: bobine SEV Solex, à 6000 rpm.....	37
Figure 5.8: bobine SEV sans bougie.....	37
Figure 5.9: bobine SEV capa 0,11µF.....	38
Figure 5.10: bobine SEV 6V 0,22µF.....	38
Figure 5.11: bobine SEV 12V 0,22µF écl 10mm.....	38
Figure 5.12: bobine SEV 12V 0,22µF écl 5mm.....	39
Figure 5.13: bobine SEV 6V 0,44µF.....	39
Figure 5.14: bobine SEV 12V 0,44µF écl 10mm.....	39
Figure 5.15: bobine VSX.....	40
Figure 5.16: bobine VSX et SEV, de coté.....	40
Figure 5.17: bobines VSX et SEV, de dessous.....	41
Figure 5.18: bobine VSX 0,22µF.....	41
Figure 5.19: bobine VSX 0,11µF.....	42
Figure 5.20: bobine VSX, courant de charge.....	42
Figure 5.21: bobine VSX haut régime 12000 rpm.....	42
Figure 5.22: Triumph Speed Twin.....	43
Figure 5.23: bobine PVL.....	43
Figure 5.24: bobine PVL, éclateur 8mm.....	43
Figure 5.25: bobine PVL, éclateur 10mm.....	44
Figure 5.26: bobine PVL seule, montée en température.....	44
Figure 5.27: bobines Mobylette, Novi & Wovi.....	45
Figure 5.28: bobine Wovi, éclateur 5mm.....	46
Figure 5.29: bobine Wovi, courant de charge.....	46