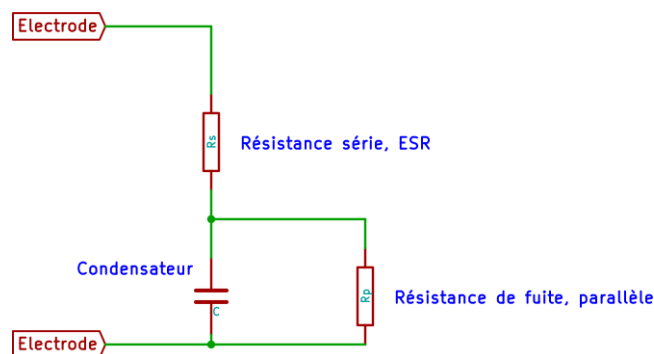


1 Le condensateur

Le condensateur est un organe électrique qui stocke et restitue de l'énergie, ce qui sert aussi à stocker/restituer rapidement l'énergie d'un circuit oscillant, ce qui est le cas des circuits d'allumage de moteurs. Il est classiquement construit à partir d'une feuille d'isolant placée entre deux feuilles conductrices. Il est constitué d'un condensateur parfait accompagné de ses défauts classiques : résistance série et parallèle.

La résistance série (ESR equivalent serial resistor) ralentit la charge ou la décharge et s'ajoute à la réactance du condensateur. C'est aussi un effet de la conduction imparfaite des feuilles conductrices et de certaines (mauvaises) réalisations qui ne relient l'électrode à la feuille qu'en un point unique. Elle peut être augmentée par une mauvaise liaison entre les feuilles métalliques et l'électrode de sortie, notamment s'il n'existe pas de fil ou d'effet ressort entre les feuilles et la sortie, c'est alors une liaison sensible à la pression ou la traction et au vieillissement (oxydations) ainsi qu'à la température, et à l'humidité. Certains condensateurs de cyclomoteurs sont livrés « à souder », mais si l'intérieur n'est pas rigoureusement fabriqué, et que l'opérateur est malhabile, la résistance série et les contacts peuvent être dégradés, et le condensateur devenir sensible à la traction/pression et à la température comme à l'humidité.. Ce n'est pas la caractéristique la plus importante en allumage.

La **résistance de fuite** tend à décharger le condensateur et forme un pont diviseur avec l'impédance de source de charge. Cette résistance est sensible, en fonction de la nature de la feuille isolante, à la température et à l'humidité ainsi qu'à la tension appliquée.



Selon la propriété à mettre en évidence, on peut trouver des modèles de simulation qui représentent la résistance de fuite reliée directement entre les électrodes, c'est sans importance, tant qu'il y a plusieurs ordres de grandeur de différence, comme dans un condensateur sain.

Il existe aussi une inductance série parasite, mais dont les effets sont hors des domaines de l'allumage moteur, sauf une légère protection de surtensions hyper-rapides transmises par la bobine, le câblage et surtout sa forme, et là, on est dans le domaine du labo, et non de l'amateur (ou du pro) des moteurs, on oublie.

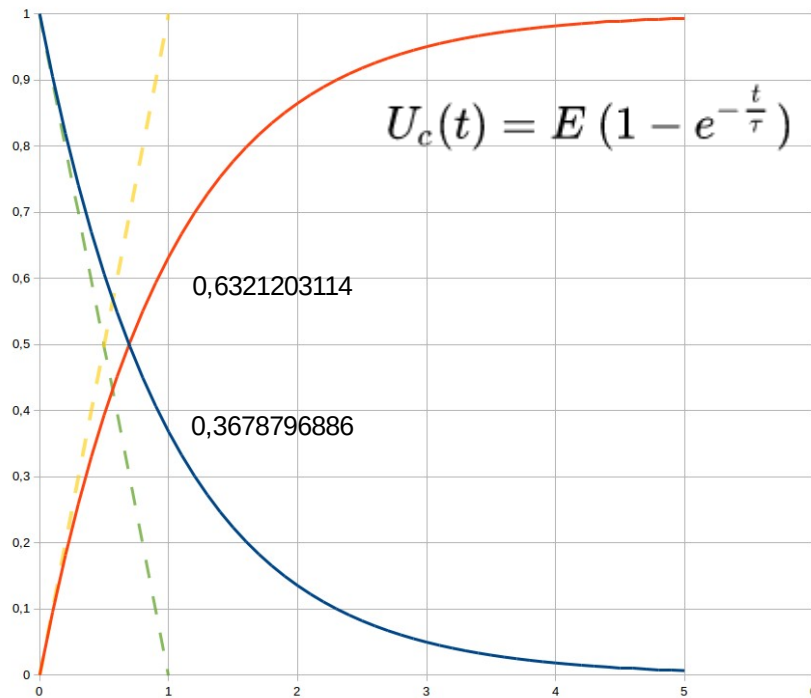
Il faut mesurer la capacité et les résistances série et parallèle en adaptant les paramètres de température et de tension pour avoir une connaissance complète du condensateur.

2 Couplage à une résistance (zappable pour les noobs¹ qui veulent le rester)

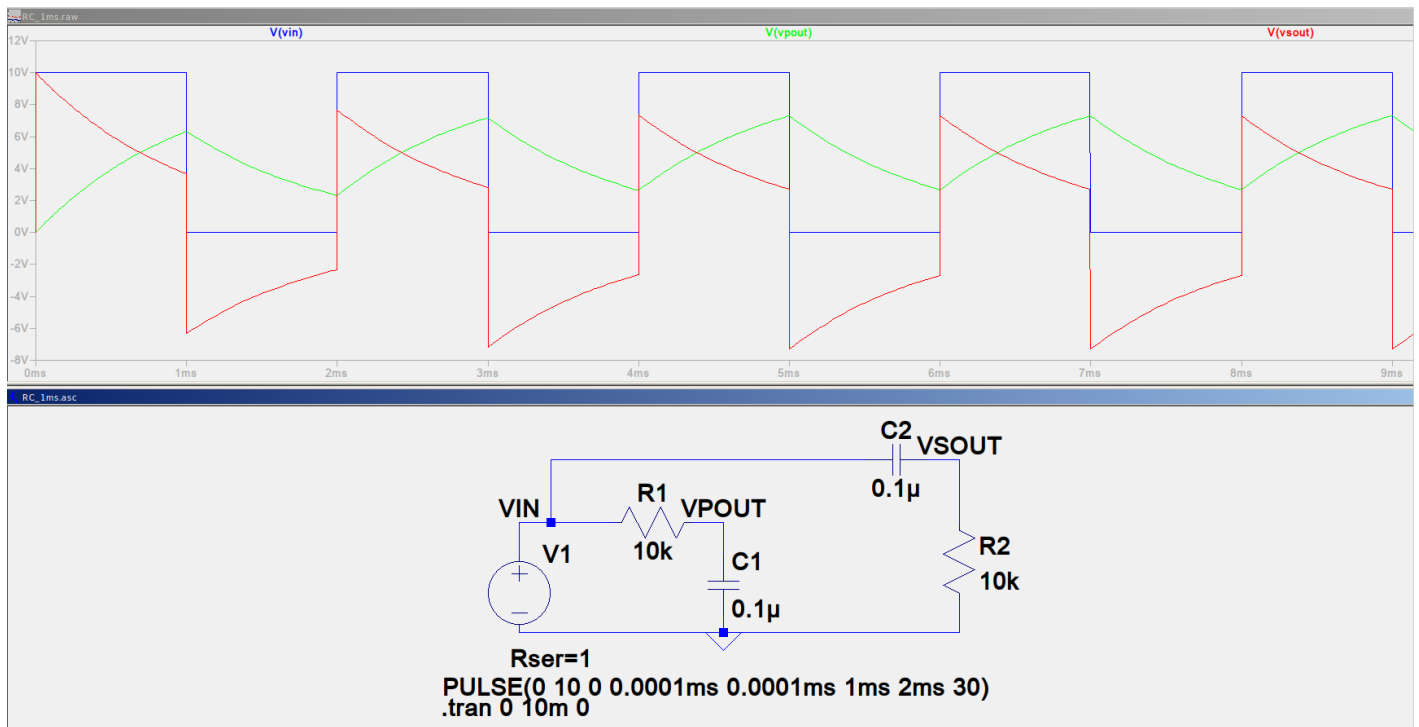
Cela constitue un quadripôle avec une masse commune entrée-sortie. En continu, cela ne présente

1 Noob = newbie = débutant !

que peu d'intérêt si ce n'est de limiter le courant ou d'augmenter le temps de charge.
Le paramètre important est le rapport entre la constante de temps (lettre grecque tau : τ et la période du signal : T) avec $\tau = R \times C$.



En développant ces propriétés, on peut arriver à des conclusions surprenantes.



série) et sur $V/2$ pour C parallèle, en fait, V_{in} x rapport cyclique.

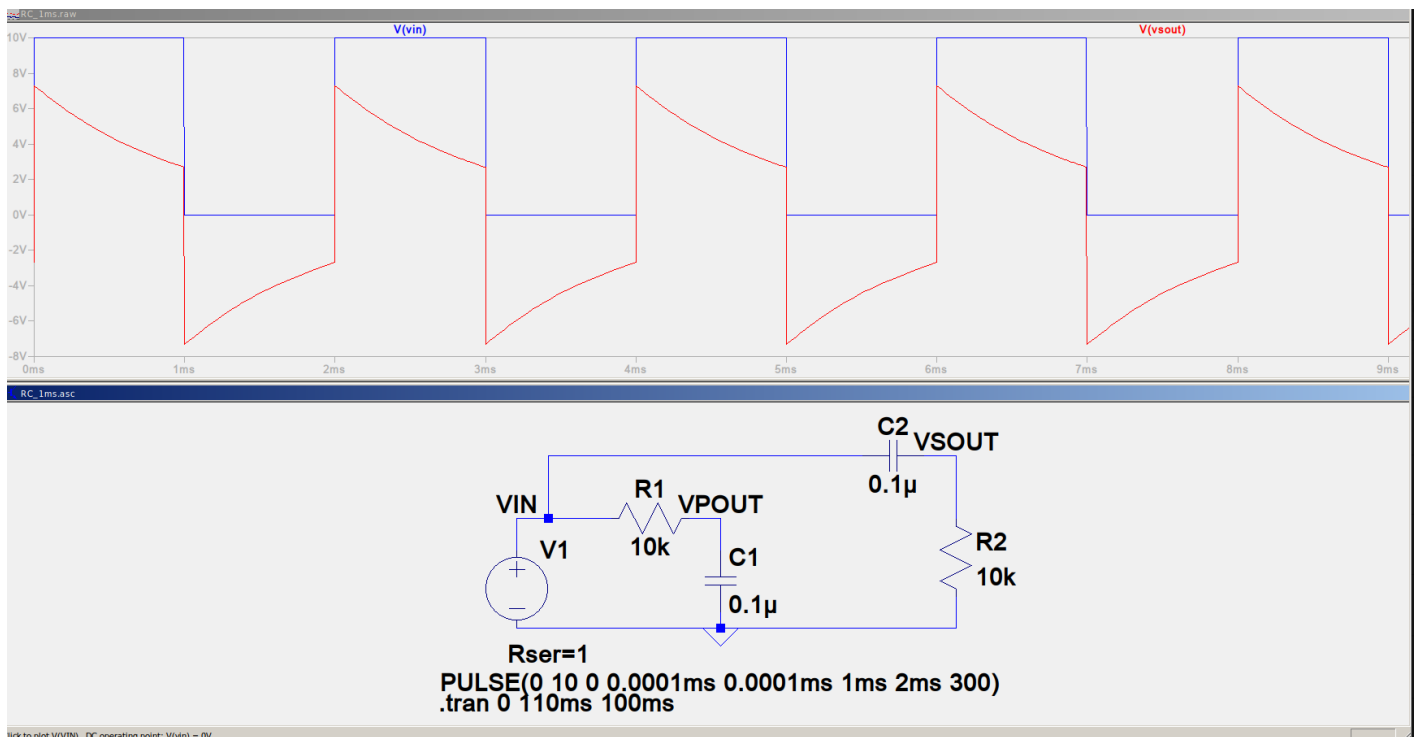
2.1 Condensateur série

Ce montage s'appelle différenciateur ou translateur ou filtre passe-haut. À noter que le front (montant ou descendant) est intégralement transmis

2.1.1 période $T = 2\tau$,

ce qui fait un changement d'état à chaque τ

Après un temps de stabilisation de $100 T$: le signal est parfaitement centré sur 0.
Le signal décroît (ou croît) bien, exponentiellement jusqu'à $0,37 * \text{la crête d'entrée}$.

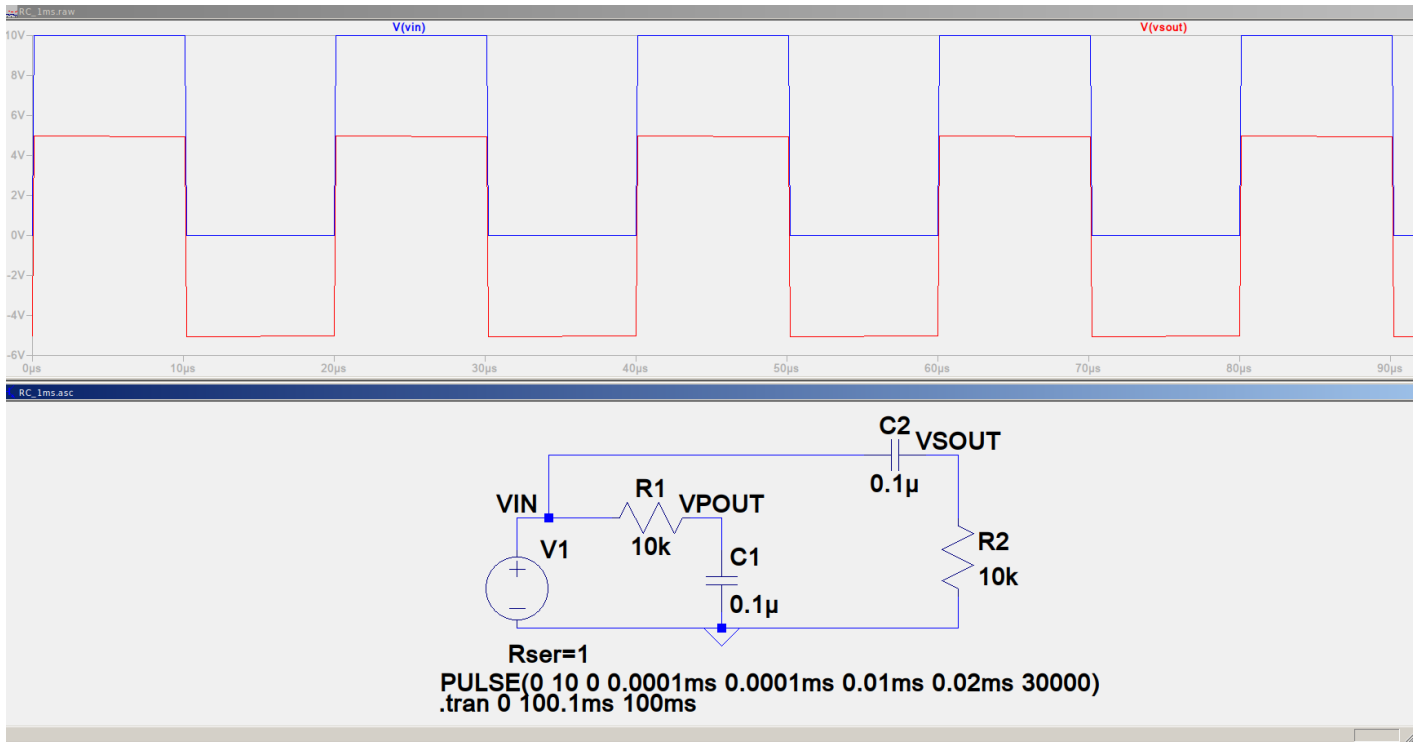


Le montage à condensateur série est constitué ici par C2 - R2

2.1.2 Période $T = 2\tau / 100$

le signal reste centré sur 0

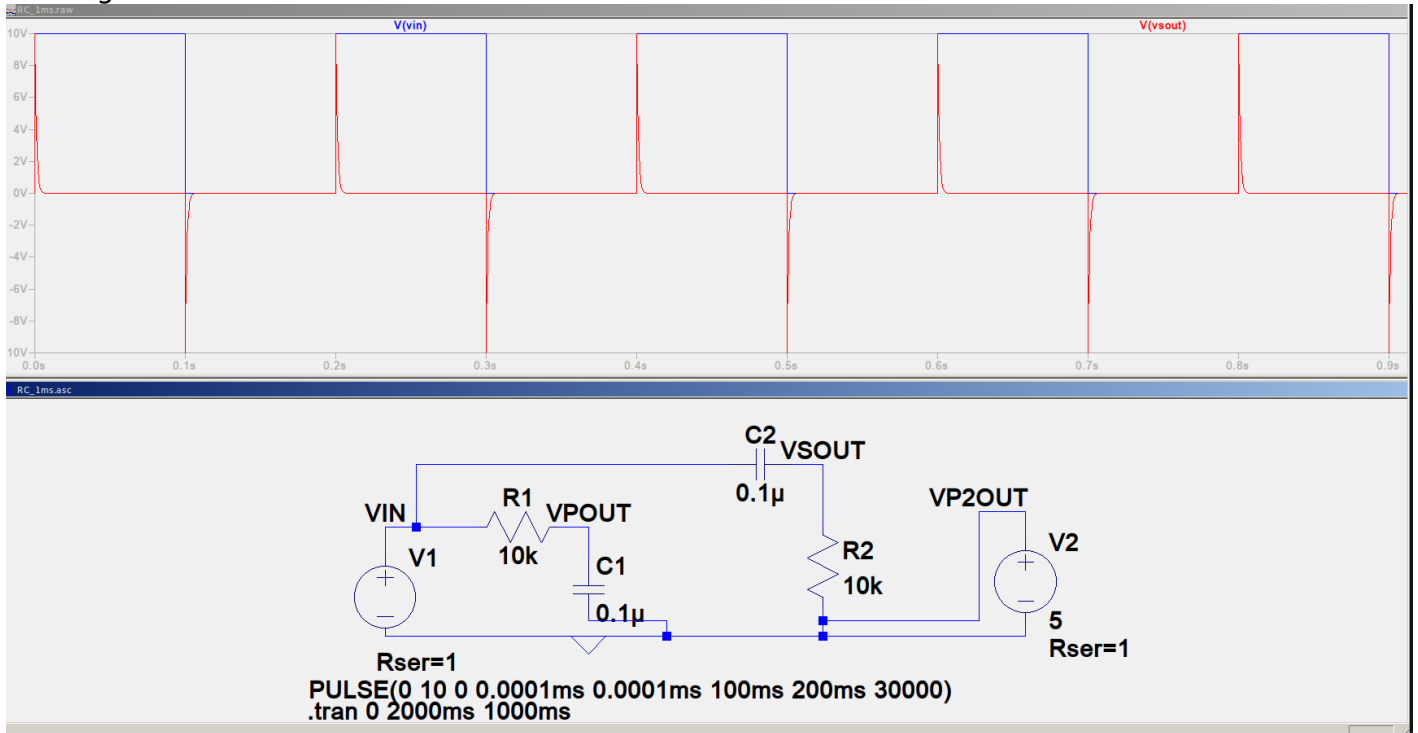
comme la période est très inférieure à τ , le signal est intégralement transmis (quasiment) on a un translateur de niveau, ici centré sur la masse.



le signal se trouve bien centré sur 5V.

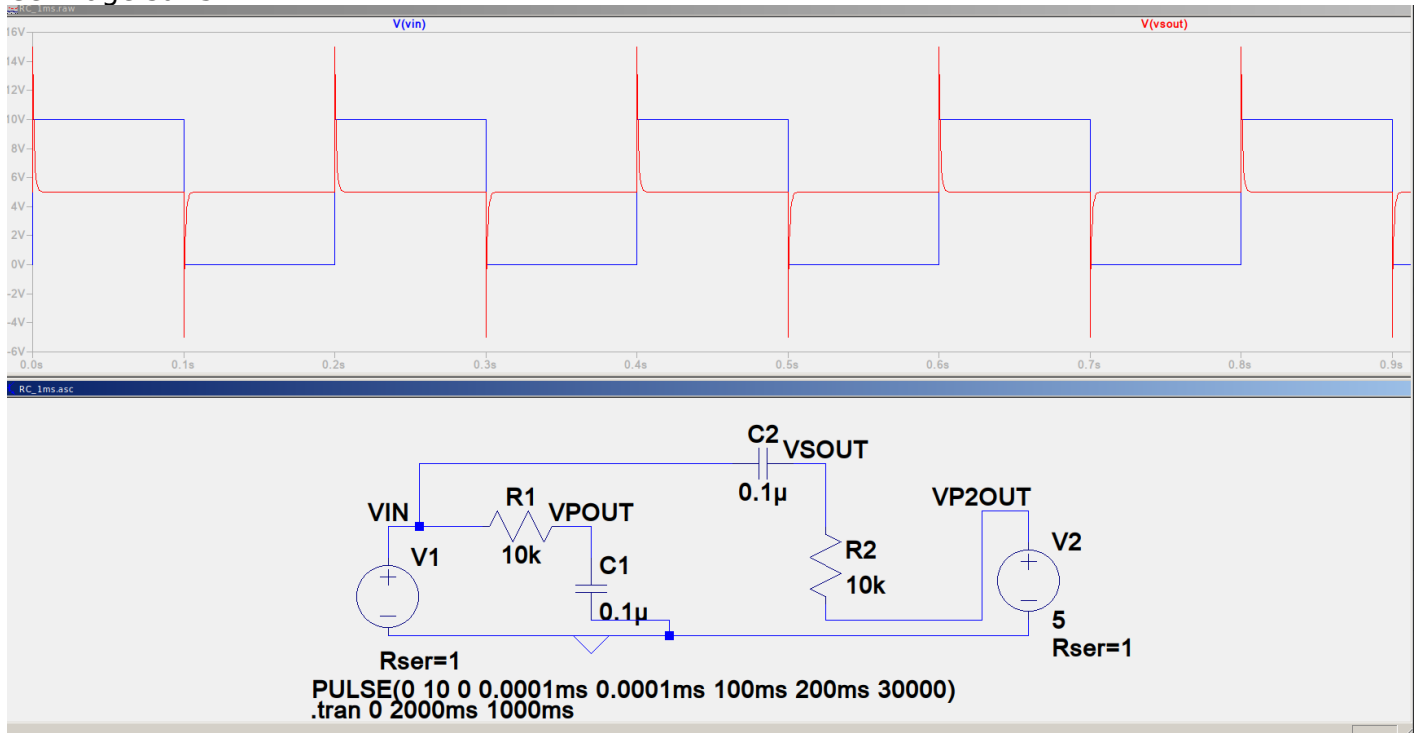
2.1.3 Période $T = 2\tau * 100$

Ici seul le front est transmis, pas de translation. l'impulsion dure toujours 1ms à 39 % de l'amplitude
centrage sur 0



faut pas se gêner, on a ici le droit, dans un simulateur, de court-circuiter une batterie virtuelle, elle n'explosera jamais, j'en profite pour ne pas tout redessiner !

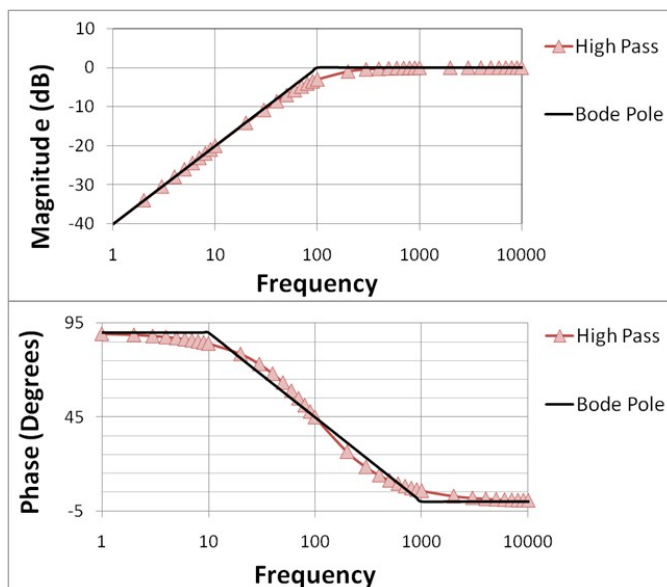
Centrage sur 5V



la tension crête atteint +15 V et - 5V !
Faut que l'utilisation encaisse.

2.1.4 Filtrage passe-haut

ce montage courant, est peu utilisé dans nos domaines allumage-charge de véhicules. On est alors amené à plus utiliser la notion de déphasage.



Le passage à -3dB (ici 100Hz) se fait, comme par hasard, à $\tau = RC$. Tout comme le déphasage de 45°
source Wikipedia

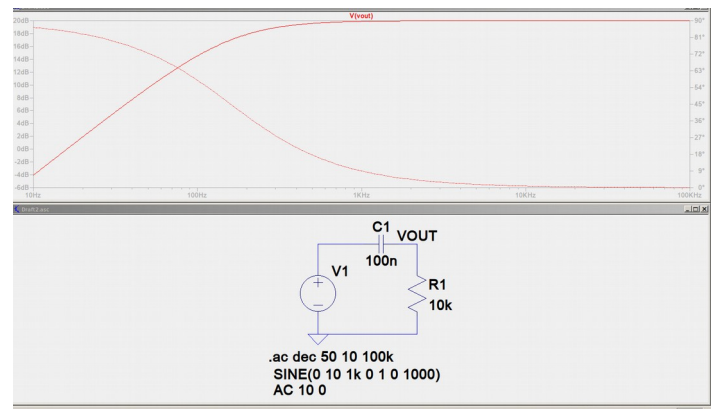
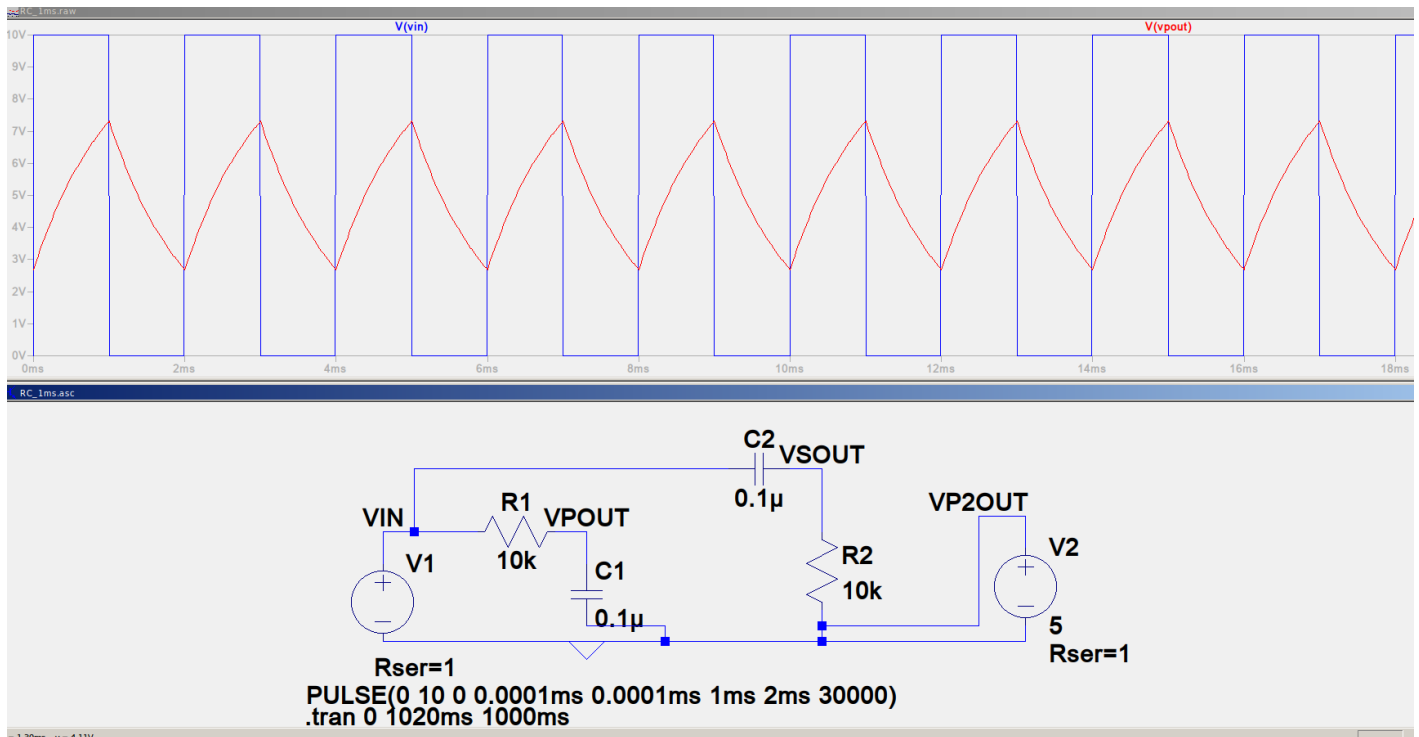


diagramme de Bode, source RMZ, Wikipedia est peu lisible

2.2 Condensateur parallèle

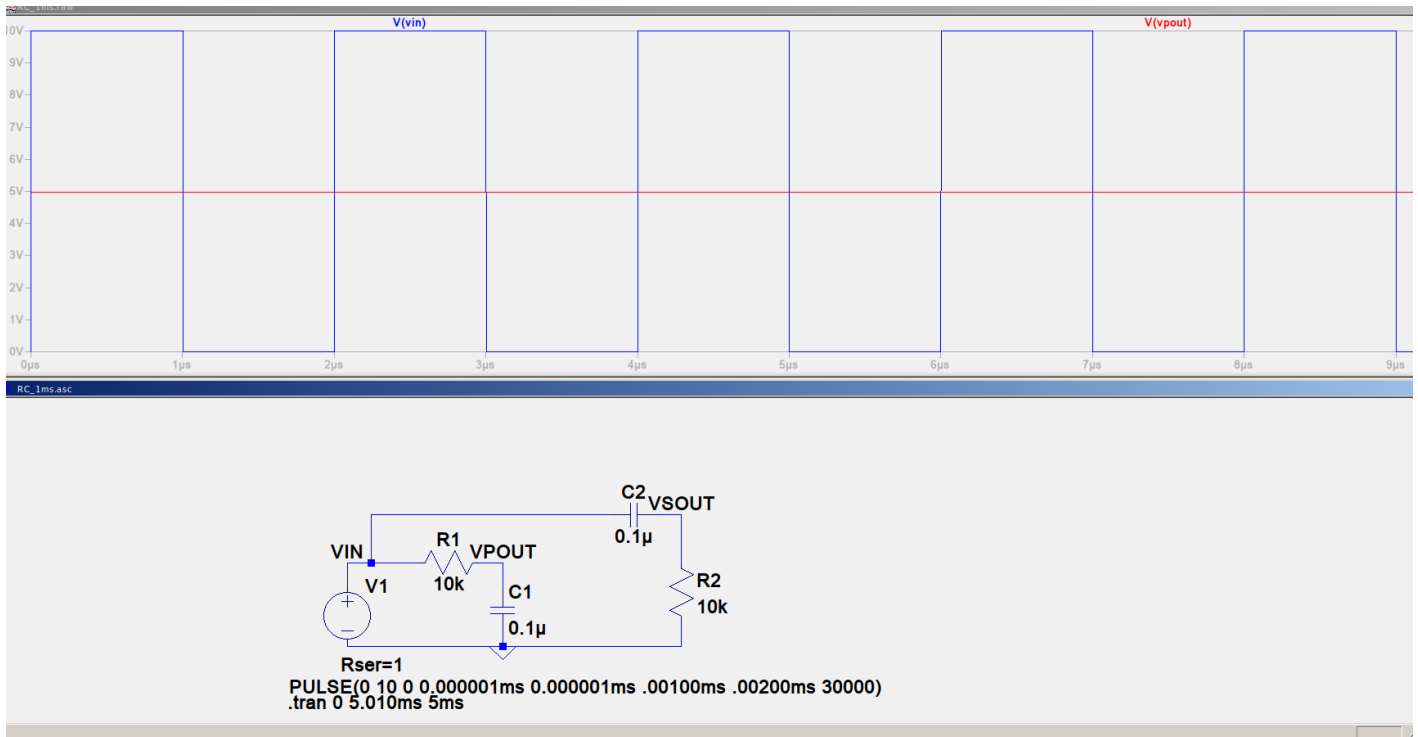
Ce montage s'appelle intégrateur ou filtre passe-bas.
Le montage est constitué par R1 - C1

2.2.1 période $T = 2\tau$



On observe des dents de scie logarithmique (ce ne sont pas des segments de droite), centrées sur 5V

2.2.2 Période $T = 2\tau / 100$



On observe ici un filtrage (une intégration) quasi-parfaite, à 5V, avec une ondulation résiduelle quasi-nulle.

C'est un filtrage parfait d'alimentation, souvent impossible à atteindre en pratique. Pour 100 Hz (redresseur double alternance à 4 diodes (donc $2T = 20ms$)). Une source comme un transformateur dit 12V/1A fait environ 1 à 10 Ω selon sa qualité, on prendra ici 1 Ω^2 et avec un courant de 1A (soit une résistance de 0,08 Ω , la résistance équivalente fait 0,988 Ω .

Sans condensateur, l'ondulation résiduelle est de 100 %. Si on admet une ondulation résiduelle de 10 %, il faut une constante de temps de $2,4 * RC = 10ms$, soit une capa de 4200 μ F ! Voir figure sur les constantes de temps en \$2.

Heureusement il existe d'autres solutions, notamment des circuits intégrés régulateurs de tension (familles 7405 et autres) qui s'accommodent fort bien de ces ondulations.

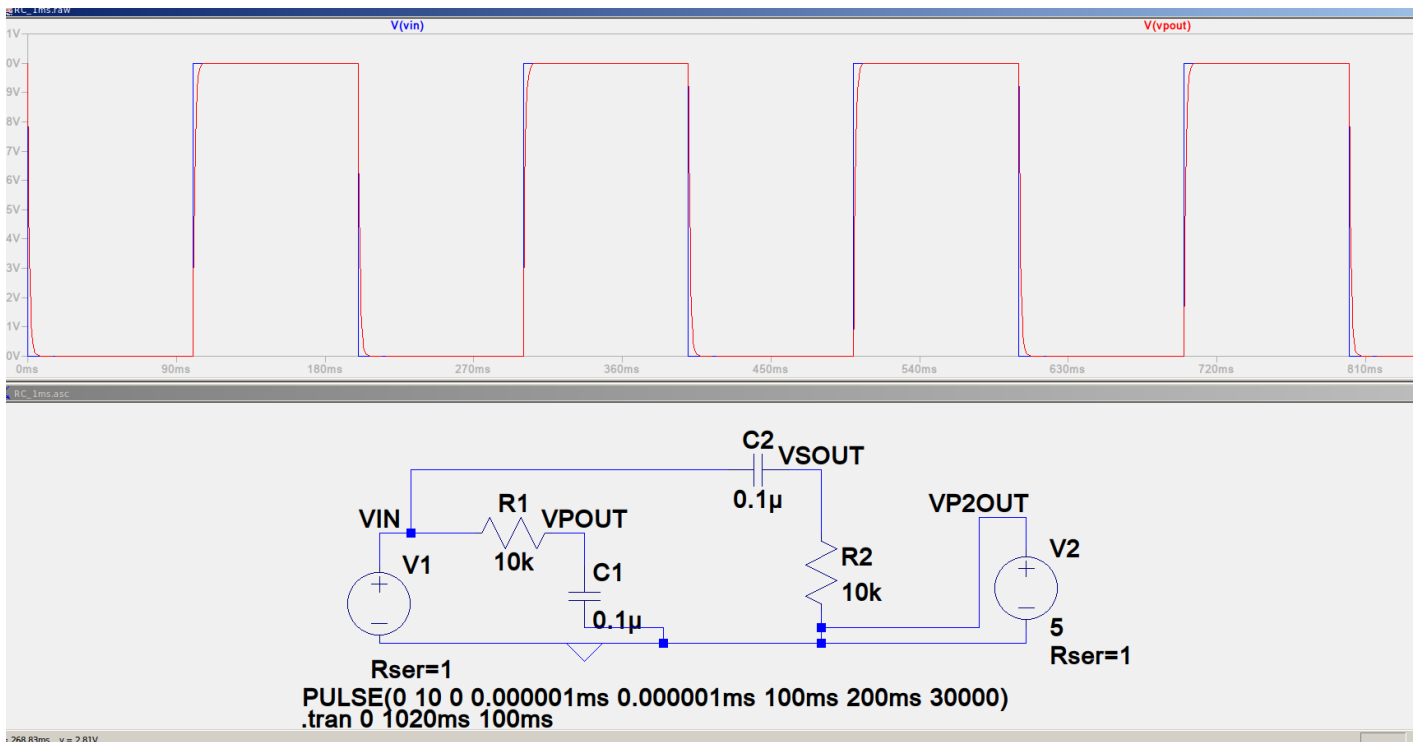
Les alternateurs triphasés à aimant permanents qui, équipent les motos post-70, ont des ondulations résiduelles max de 13 %,brut, avant filtrage, comparés aux redressement 1 ou 4 diodes qui font 100 %, et sont plus faciles à filtrer.

Voir papier sur les diodes http://www.hackerschicken.eu/www/electric/diode_moto.pdf

- 2 qu'on ne me bassine pas la tête avec l'adaptation d'impédance qui pollue les réseaux, valable pour les coax et quelques autres cas, pas ici !

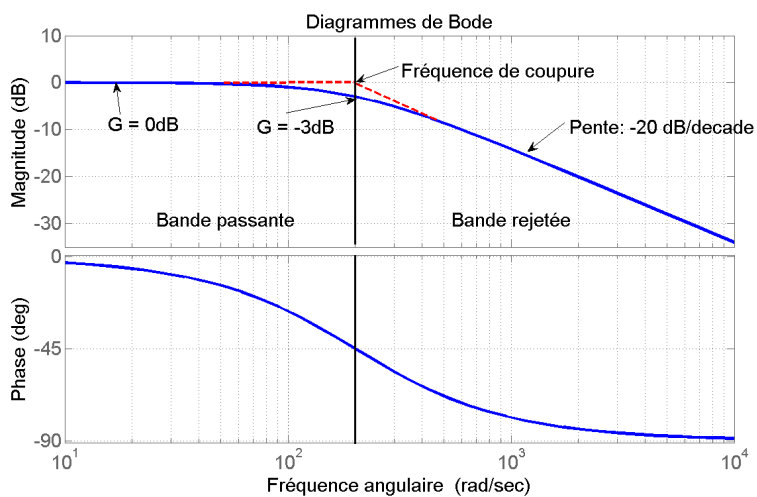


2.2.3 Période $T = 2\tau * 100$



On observe ici que le signal d'entrée est reproduit en sortie légèrement retardé et déformé.

2.2.4 Filtrage passe-bas



Le passage à -3dB (ici 32Hz environ) se fait, comme par hasard, à $\tau = RC$. Tout comme le déphasage de 45°
source Wikipedia

2.3 Application à un circuit analogique ou digital

C'est surtout le différenciateur qui devrait entraîner des précautions d'usage.

2.3.1 Analogique

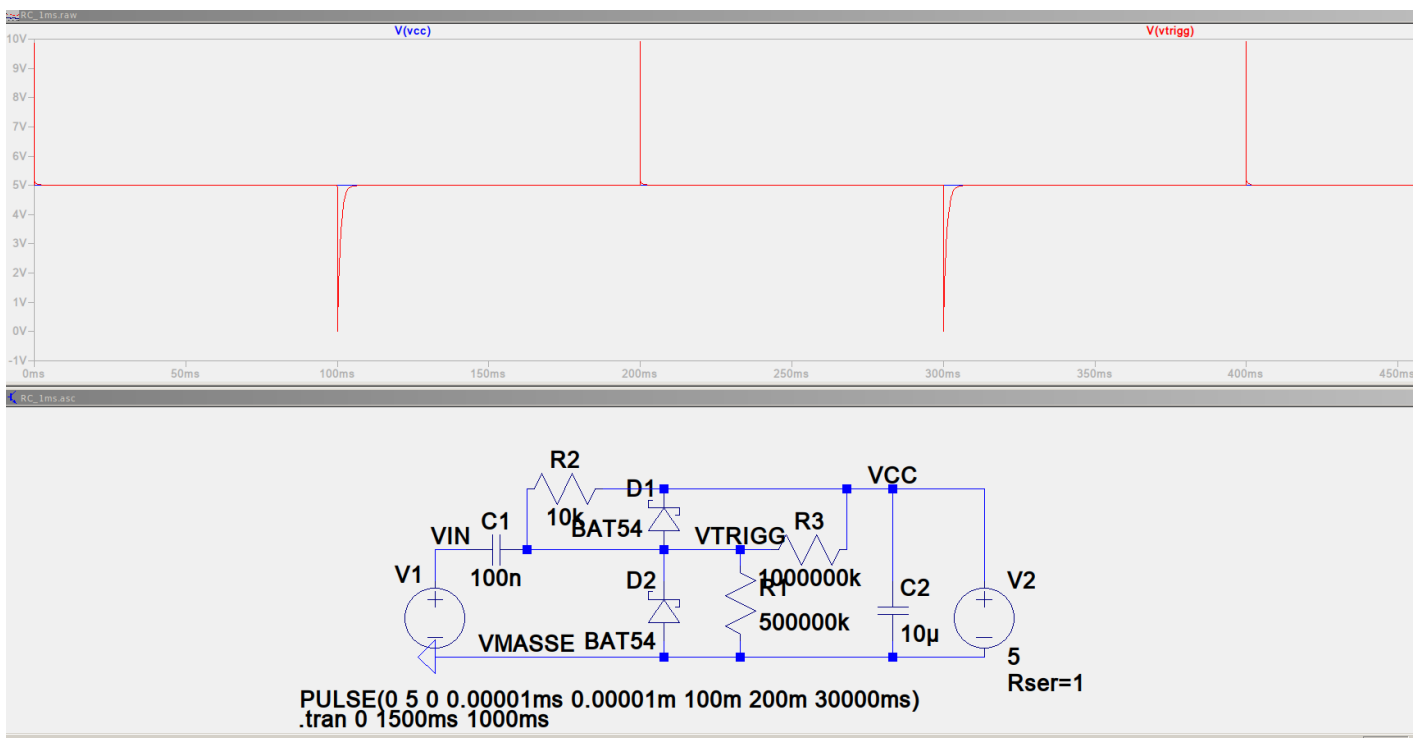
Quand on veut piloter un 555, on a affaire à un circuit d'entrée plutôt analogique (faits par des amplificateurs différentiels avec poulies à courant et générateur de courant de pied, donc purement analogiques). Les deux seuils $V_{trigger}$, $1/3$ de V_{cc} et V_{seuil} , $2/3$ de V_{cc} sont créés par un montage ratiométrique de trois résistances intégrées de valeur absolue variable et approximative, mais de valeur relative, très identique ; le rapport est insensible à une variation de tension d'alimentation. Le déclenchement du circuit se fait à $V_{trigger}$, et ne doit pas durer, sinon on ne contrôle plus le temps de bascule effective du 555. La commande se fait lorsque la tension $V_{trigger}$ descend sous $1/3$ de V_{cc} . Un circuit RC série fait l'affaire, mais la tension d'entrée va monter à +5 V additionnés de la tension du créneau de commande (15 V si on prend les valeurs du simulateur) et descendre à 0V - la tension du créneau (- 15V avec les valeurs du simulateur) soient des valeurs totalement interdites puisque le circuit admet en entrée $V_{cc} +0.3V$ to $GND -0.3V$.

Limitations classiques des tensions d'entrées :

à diode Zener

les diodes zener sont livrées en classes de précision, la classe dite 5 % de Vishay a en réalité une tolérance de 6 %, la BZX85C5V1 donne une tension de 4,8 à 5,4 V. Donc, si on est absolument sûr de la tension d'alimentation à 5 V, et que le lot est à 5,4 V, on finira par tuer le circuit d'entrée. De même, descendre sous la masse de 0,6V, comme le fait une zener en inverse, va aussi finir par abîmer la puce. On a affaire à deux tensions qui devraient matcher !

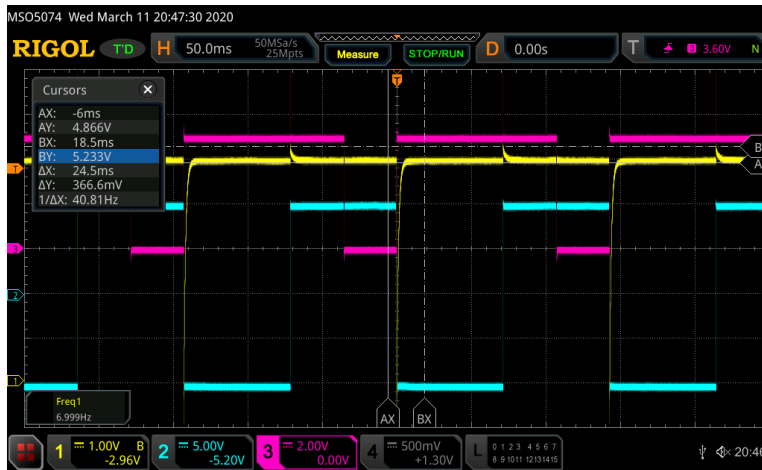
À clamping à diodes



On observe une crête positive extrêmement fine et d'amplitude 5V au-dessus du V_{cc} .

Avec un montage réel, cette crête n'existe plus !

Un simulateur est comme un GPS, cela ne dispense pas de réfléchir.



bleu = impulsion d'entrée

violet = sortie du 555

jaune = entrée trigg du 555, conforme à l'attendu par expérience³ !

2.3.2 Logique

Les entrées logiques, TTL, MOS ou μC ont un seuil d'action moins bien défini que le 555. elles se situent vers

- niveau haut $0,8 * V_{cc}$
- niveau bas $0,2 * V_{cc}$

elles sont un peu plus tolérantes côté valeurs extrêmes

- $V_{cc} + 0,5V$
- $GND - 0,5V$

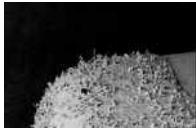
3 Un peu de technologie des condensateurs

3.1 Le condensateur au papier-étain

Dans la génération des premiers Solex, c'est une bande de papier enroulée entre deux bandes métalliques, le métal débordant sur chaque tranche, pour être relié aux électrodes. On utilise, depuis les années 30, du schoopage pour la liaison de toutes les bandes de métal équipotentielles des condensateurs de bonne qualité, pour les bas de gamme c'est un simple fil inséré entre les couches, voire pour les condos vraiment cheap, un contact sur le débordement, vaguement pressé. Le papier est un papier bible, sans liant, d'environ de 20 à 40 μ d'épaisseur, de permittivité de 4. Le tour typique fait alors environ 70 à 100 μ avec 10 μ de métallisation. Avec cette épaisseur la tenue en tension pourrait atteindre les 1000V. La surface en regards des électrodes est alors de l'ordre de 280cm², avec une bande de 2cm de haut, la bande fait 1,40m. Le tour moyen fait environ 4,5cm, on case donc une trentaine de tours dans le cylindre d'épaisseur de 4mm, compte tenu du foisonnement. Ceci correspond à une reconstitution approchée, d'autant qu'il existe un grand nombre de variations. On a longtemps utilisé de l'étain comme métal pour son prix, sa malléabilité, sa faible température de schoopage (métallisation par projection de métal fondu), et sa faible oxydabilité. On s'est récemment aperçu, à l'occasion de la destruction de satellites (à plus d'un milliard d'euros chacun, quand même) qu'avec le temps, l'étain faisait pousser des filaments minuscules « tin whiskers » dits moustaches de chat, (alors qu'on devrait dire vibrisses) dont les effets peuvent aller jusqu'à des microclaquages localisés et, si les whiskers sont nombreux, à l'augmentation de capacité. C'est pour l'instant l'explication que je peux avoir à l'augmentation

³ Je fais un pêle suivi de Pierre-Gilles de Gennes, prix Nobel et fana de la matière molle, qui disait qu'on ne doit pas se lancer dans une manip ou une théorie sans avoir auparavant une idée de l'ordre de grandeur du résultat.

importante de capacité. Il pourrait aussi y avoir comme cause la diminution d'épaisseur du papier, mais il faudrait considérer une diminution de 700 % de l'épaisseur, difficilement crédible. Si quelqu'un a une meilleure idée ...



Whiskers sur l'électrode extérieure en étain pur d'un condensateur céramique de taille comparable au 0,22 μ testé. C'était bien lisse quand c'était neuf ! Les électrodes internes heureusement ne sont plus en étain. Peu de métaux créent des whiskers mais l'étain et le cadmium le font, cliché NASA

Les condensateurs à métallisation étain sont soumis à un vieillissement spontané, même sans les utiliser, donc les stocks de « vieux condensateurs neufs » (**NOS, New Old Stock**) sont suspects ou, au mieux, pourvus d'une espérance de vie limitée !

La liaison de la feuille métallique vers les électrodes est faite par débordement de chaque côté de la feuille de métal, avec pression vers l'électrode (solution la plus cheap), est faite par un ou des fils pris dans l'enroulement, ou par schoopage (meilleure qualité)

On trouve dans le monde Idiophile des condensateurs neufs/anciens stock papier/étain anciens à vendre sur le Net (18\$ pièce + 18\$ de port)



Fender Pure Vintage Red 0.05uF 600V Waxed Kraft Paper Tin Foil Amp Capacitor
= Condensateur NOS, New Old Stock
(le cirage du papier ne le rend pas plus résistant aux whiskers)

Audio Note, autre fournisseur de capas papier : étain, justifie « scientifiquement » l'étain : « Since those days have gone and Audio Note make their own capacitors they chose tin over aluminium as it provides a slightly more fluid and detailed sound ». Argument pour idiophile, je dis.

Condensateur neuf, old technology

La valeur de la capa va jouer sur la fréquence d'oscillation, donc sur la **tension crête de la surtension** à l'ouverture du rupteur, ainsi que sur la **durée de cette impulsion au primaire**. Rappelons que cette valeur ne joue **pas** sur la durée de l'étincelle, qui, elle dépend essentiellement de l'écartement des électrodes. Voir le papier sur les bobines d'allumage

<http://www.hackerschicken.eu/www/electric/bobines.pdf>

3.2 condensateur papier-aluminium

C'est un condensateur à film aluminium enroulé entre un à deux films de papier, le papier est généralement imprégné de cire ou de paraffine.

Le sertissage du boîtier n'est quasiment jamais hermétique et, avec le temps, la vapeur d'eau pénètre très bien et dénature le papier (provoque un gonflement et des plis) et la cire qui par son changement de pH devient corrosif pour la feuille d'al. Cette corrosion provoque un accroissement de la couche nanométrique d'alumine très dure (mais qui présente de nombreuses nanofissures), qui, lorsque les amas d'alumine sont nombreux, comprime la feuille de papier et change la capacité et la tenue en tension.

Le condensateur N°2, provenant d'un Solex vieux de quelques décades, a été ouvert pour analyse avec des moyens simples. Le boîtier est isolé du condensateur par un cylindre de carton.

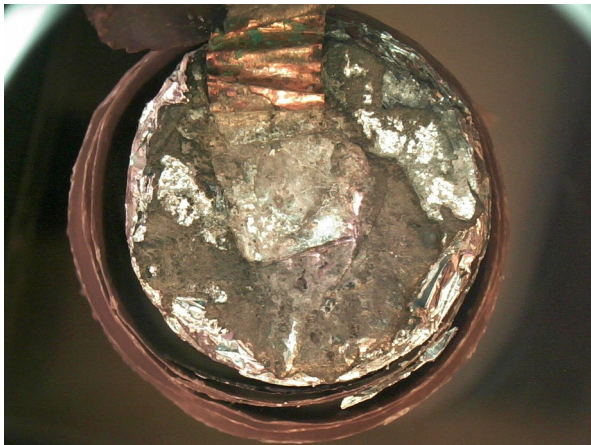


Ce condensateur (provenant du stock RIP de Bernique, fondateur du site Rapn'pneus) et de l'institut gériatrique des Solex, IGS comparaison avec les « petits-gris » est HS pour l'usage Solex : capacité trop éloignée de la valeur initiale (il mesure entre 0,45 et >1µF selon les conditions de mesure des capacimètres). Il comporte un tube de carton pour l'isolement du condensateur proprement dit et un ressort qui appuie fortement sur le corps du condensateur à travers un disque de métal.

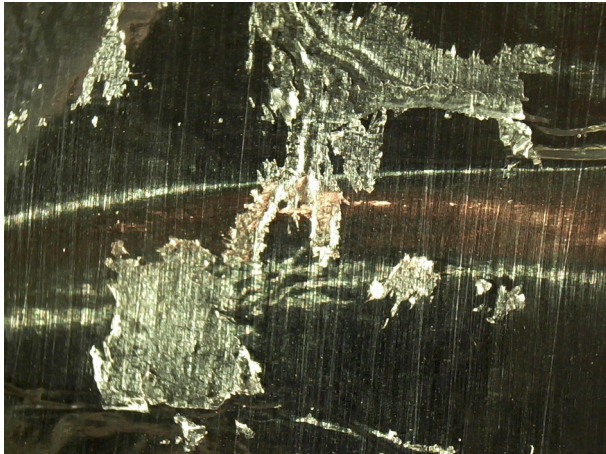


le corps du condensateur est relié à l'électrode de sortie par une bande de cuivre recuit et une brasure. Il semble relié au film d'aluminium par shoopage (difficile à voir suite à la corrosion)

la bakélite crénelée, sans aucun joint, n'offre aucune barrière à la pénétration de vapeur d'eau



le dessus du condensateur avec la bande de cuivre, reconnaissable à sa couleur et à la couleur verdâtre de sa corrosion



corrosions dendritiques de l'aluminium

on voit très bien les traces du laminage (un accélérateur de corrosion)



corrosions

on voit des traces de plissage, indiquant des déformations mécaniques du papier

Le papier, soumis au pH-mètre indique une acidification de la cire alors que la corrosion de l'aluminium intervient juste sous la neutralité (pH7)

<http://www.corrosionpro.com/blog/the-oxidation-of-aluminum/>

The result is that the oxide layer is only stable in a pH range of 7.0 to 9.0. Below 7 or above 9 the rate of corrosion increases at an increasing rate.

<https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/geologie-aluminium-metal-exception-780/page/5/>

Le comportement de l'aluminium à la corrosion

Il dépend des propriétés de surface et des couches qui sont à proximité.

Malheureusement, les surfaces d'aluminium ne sont pas parfaites.

- Défauts créés lors de la fabrication ou de la manipulation tels que : rayures, macro-rugosité (ex : traces de laminage), calamine ou lubrifiants



le papier du condensateur montre des boursouflures (traces de corrosion de l'alu avec production d'alumine) et des plissages (indicateur de changement de dimensions du papier)

Ce condensateur est relativement bien fabriqué (shoopage, ressort de compression pour la masse), mais ne prend pas en compte l'humidité à long terme (absence de joint, nature de la cire, papier hygroscopique, laminage grossier de l'aluminium).

3.3 le condensateur à huile

C'est une variante du condensateur papier, où on remplit avec de l'huile qui est un meilleur isolant que le papier (surtout plus homogène), et lorsqu'il se produit un claquage (un endroit était plus proche de l'autre électrode) une bulle se produit, vite dissipée, mais qui écarte un peu les électrodes et résidus du claquage. Ces condensateurs ont une tension de claquage (à même isolant) plus élevée, et Solex a dû graver l'inscription « huile » sur les barrettes de connexion et sur les condensateurs destinés à être utilisés avec la bobine « verte SEV » dont la tension à l'ouverture du rupteur est plus élevée que pour les bobines d'autres fabricants (monte à 600V si le fil de bougie est débranché). Ceci était vrai à l'époque de ces bobines, et un fabricant qui vend **aujourd'hui** un condensateur à huile neuf sans indiquer la tension de fonctionnement, ne garantit pas forcément la tension « Solex » puisque certaines bobines font travailler le condensateur à 100V seulement et qu'on fabrique pour la majorité (mobyettes motos, voitures).

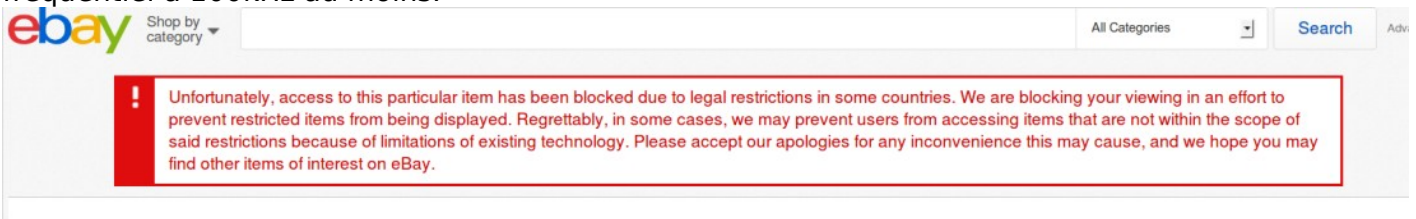


Marquage « huile » sur la lamelle de connexion et sur l'électrode de masse du condensateur.

3.4 le condensateur film

Ce sont des condensateurs modernes fait à partir d'un film plastique (le MKP est un polypropylène) de faible épaisseur, bien plus régulière que les condensateurs papier et on métallise sous vide les électrodes qui sont ainsi placées à distance régulière et constante. Le claquage crée une bulle qui écarte localement les électrodes et les résidus de claquage.

Ils existent en différentes variété, qui correspondent à une technologie de fabrication différente. Nous avons besoin ici de tenue en tension (630V pour la bobine verte SEV) et de construction tenant les impulsions. Les séries X2 sont les moins performantes pour la tenue aux impulsions (ils sont spécifiquement fabriqués pour le déparasitage des appareils sur secteur), viennent ensuite les séries 4 et 10. La série MKA - 10 est la plus performante et sert aussi à des usages militaires genre générateur de Marx ; si vous en achetez beaucoup, ne vous étonnez pas de voir débarquer la DGSI ou la CIA, et I.B. vous les refuse au-delà d'un certain nombre. La comparaison de leur ESR (qui est excellent) est parfois plus difficile, il est exprimé en tangente delta de fuites, et dans le domaine fréquentiel à 100kHz au moins.



3.5 Le condensateur céramique

C'est une technologie « récente » et en développement constant. Le condensateur monolithique céramique multicouches a une trentaine d'années. Il est remarquablement petit et remarquablement fragile (cassant). Il y a une bardée de recommandations des fabricants dans les docs accompagnant les datasheets.

Mais les valeurs utilisables sur un allumage sont en bout de gamme de fabrication, avec toutes les incidences négatives que cela entraîne sur la fiabilité ! De plus, comme ces condensateurs ne sont pas les plus facilement réussissables en fabrication, les valeurs de tension sont testées, quand elles le sont, avec des **marges bien plus faibles** que les autres capas (110 % seulement les films sont, eux, testés à 160 %, faut pas la moindre anomalie le jour du test !) avec la baisse de fiabilité inhérente à un fonctionnement près du max.

De plus ils ne doivent pas être noyés dans n'importe quel plastique. Murata demande avec une certaine hypocrisie, que, si on met le condensateur dans un plastique, le CTE du plastique soit très voisin de celui de la céramique ($XR7 = 10\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$) ce qui implique des produits à des prix sidéraux (genre $\gg 10000 \times$ le prix de l'araldite de base, prix courant dans le spatial, mais malgré tout, je n'en ai vu utiliser par personne dans le monde Ariane, trop cher, et on n'en fabrique donc pas) et il n'est même pas venu à l'idée de Murata d'enfermer capa + plastique dans un boîtier métal (de vieille capa par exemple) qui contraint le tout avec son CTE à 20ppm et l'époxy ou le polyester courants à 200ppm. Il faudrait aussi braser les électrodes en même temps, facile en montage industriel global de la carte, mais moins évident pour un amateur. La fabricant interdit aussi les gros pavé de brasure, surtout adossés à un point fixe, ce qui se trouve en bidouille. On arrive vite à des assemblages low-reliability, ça peut marcher, mais « un certain temps » seulement.

Le condensateur céramique n'est pas aussi bien autocatrisant que les condensateurs à film métallisés, son claquage est vite destructif et définitif.

Bref, je les déconseille, sauf s'ils sont montés en machine automatique, et encore par un industriel qui en produit des milliers.

3.6 La fiabilité du condensateur céramique

On trouve sur le ouèbe des condensateurs céramiques enrobés, présentés dans un boîtier métallique de capa défunte. Un des vendeurs contactés m'annonce fièrement :

Hello, j'ai lu cet excellent pdf <http://www.hackerschicken.eu/www/moto/S45/S45.pdf> ; je n'ai jamais vu de restrictions sur les datasheets des condos CMS pour le noyage sous époxy, d'où tire tu ces informations ?

J'en ai fabriqué plus de 1000 en diélectrique X7R, les rares retours (6) que j'ai eu fonctionnent parfaitement sur une autre machine ; certains condos sont toujours fonctionnels avec plus de 10 000 km au compteur.

C'est vrai que l'ESR est un peu élevé (3-4 Ω pour les plus mauvais) mais je n'ai jamais trouvé que ça perturbait le fonctionnement des allumages, les signaux à l'oscillo sont très propres jusqu'à 100°C (après on baisse un peu en capacité).

Il a par la suite déclaré 3 défaillances seulement sur 6000 produits, (sont-ce là les vraies défaillances ?) j'émetts quelques remarques :

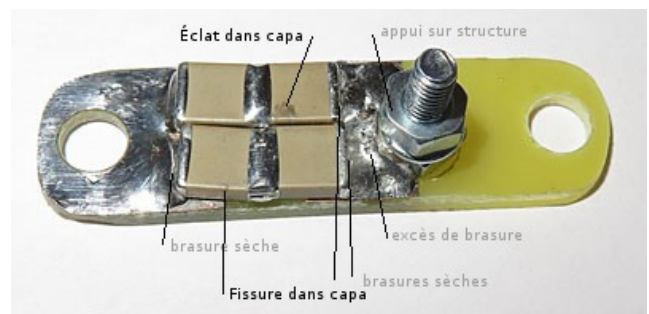
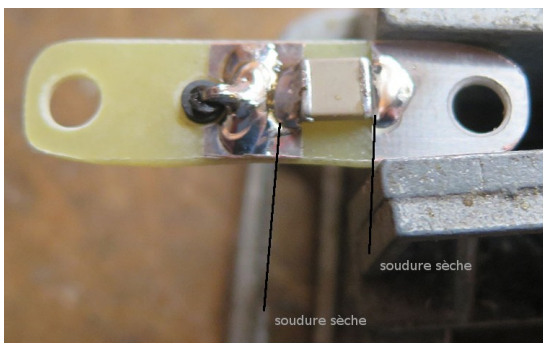
La fiabilité des MLCC est de l'ordre de 2 fits (1 panne au bout de 500 millions d'heures de fonctionnement : MIL-HDBK-217-91)

Le Silex ne devrait donc **jamais (0,000000000x % par heure)** voir la moindre défaillance de condensateur (si utilisé dans ses specs fabricant). Si défaillance il y a, c'est alors que le procédé global d'assemblage a dégradé de 500 millions de fois la fiabilité originale⁴. Pour lui 0,000x c'est la même chose. C'est surtout une dégradation non maîtrisée, qui peut être de 2x ou d'un milliard de fois.

Il a, pendant un certain temps, monté les capas Murata dans des vieux boîtiers de condensateurs, remplis de polyester ou d'époxy voir p. 12, donc sans suivre les prescriptions du fabricant de capa (c'est hypocritement pas vraiment interdit, mais on n'a le droit de les mettre que dans une résine qui a le même coefficient d'expansion thermique que la céramique, ce qui n'existe pas même dans le spatial). Il a aussi brasé ces capas avec des gros pâtes et dissymétriques en plus (interdits aussi). La brasure devrait parfaitement mouiller l'électrode (= pas de soudure sèche), ne pas dépasser le tiers ou la moitié de sa hauteur, et ne pas s'appuyer sur un élément de structure !!

Ces condensateurs fonctionnent certes, mais un certain temps seulement, imprévisible.

Exemples de réalisation qui peuvent tomber en marche, mais pas forcément longtemps !

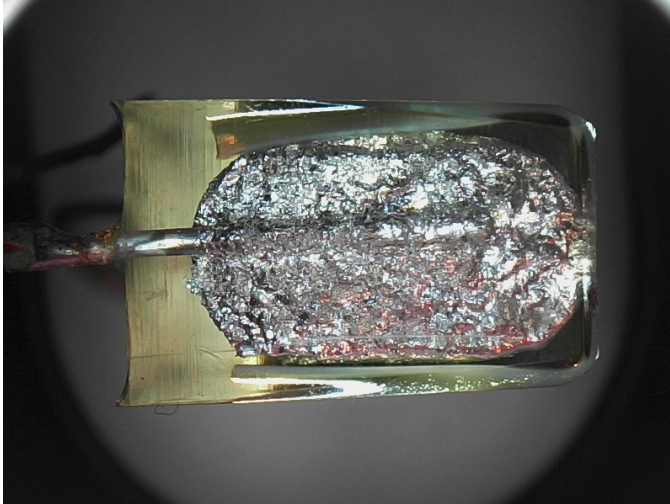


Le même auteur a sorti certains régulateurs, déjà connus sur le web, et de fonctionnement foireux, voir http://www.hackerschicken.eu/www/electric/diode_moto.pdf)

4 OK, il faut aussi tenir compte des heures de fonctionnement, mais on n'a jamais vu un soufflex rouler plus d'1 million d'heures

3.7 Le shoopage

C'est une liaison connexion - métallisation très fiable (si on ne tire pas dessus) par projection de métal liquide dans une atmosphère non-oxydante ou qui n'altère en aucun cas les métaux.



condensateur Rifa
shooping reliant le fil de sortie au métal débordant d'un côté de l'isolant sur condensateur Rifa PHE au polypropylène métallisé = condensateur de qualité, et potentiellement fiable
Rifa, à l'époque où la fabrication était suédoise, produisait des condensateurs de grande qualité.

Ci-dessous, vu de 3/4. Il m'inspire encore une confiance totale, bien que fabriqué en 1972.



Le schoopage est une des meilleures technologies de connexion de l'électrode aux film métalliques, elle fait un contact simultané de toutes les « spires » en parallèle, par opposition au fil planté entre deux spires ou au ressort d'appui (deux solutions historiquement employées mais éminemment oxydables et d'ESR supérieure). **Il faut absolument respecter les préconisations de brasure du fabricant** pour ne pas dégrader le shoopage (WIMA : 250°C max, et 5 secondes de contact brasure liquide - électrode, et distance corps-brasure).

3.8 L'ESR⁵

(équivalent série résistance) ou RES, résistance série équivalente. Elle exprime (en ohms, ou en tangente delta) la valeur de la résistance série interne du condensateur. Sa valeur en soi n'est pas trop importante en allumage, sauf à échauffer (un peu) la capa lors des impulsions. Un condensateur moderne ne pose plus de problème d'ESR. La mesure de l'ESR permet surtout de détecter les anciens condensateurs défectueux en température, ou en défauts de contacts internes et mouvements de l'électrode centrale, phénomènes invisibles sur la valeur de la capacité seule, surtout si cette mesure est effectuée hors de la fréquence de fonctionnement, cas typique des « mesures » avec un 555, pendant quelques secondes. Avec la méthode de mesure, l'ESR influe très peu sur la mesure.

L'ESR est un paramètre très secondaire du condensateur (dans un allumage) par exemple un ESR de 5Ω donne une surtension théorique de 920V, un ESR de 2Ω donne 937V et un condensateur papier parfait (ou un MKA à 0,05Ω) donne 940V. Soit 2 % d'écart pour 250 % de variation !

5 Certains gourous du Net s'en gargarisent pourtant



3.9 La tension crête

La tension **théorique** à l'ouverture du rupteur est (wikipedia)

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

Cette valeur crête n'est atteinte que s'il n'y a pas d'amorçage de bougie, et que si les pertes sont nulles, 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 pourtant 500V (Solex avait gravé sur la languette de liaison et sur le condensateur la mention « huile » qui décrivait les « meilleurs » condensateurs de l'époque.

Le marquage du condensateur donne une ou deux tensions :

AC est la tension efficace du courant alternatif (définie comme la tension continue produisant le même effet thermique)

DC est la tension continue appliquée (ou la tension crête). Dans le cas d'un courant sinusoïdal pur, $V_{crête} = V_{eff} \times \sqrt{2}$

par exemple, un condensateur prévu pour 305V AC tient 431V crête ou 431V DC. On arrondit à 430V

3.10 Choix de la tension

Les condensateurs d'allumage au papier ont un point commun : la tension de service n'est pas indiquée !

Cela ne pose pas de problème quand le véhicule est en cours de production en même temps que le condensateur, il suffirait d'un coup de fil et d'un gueuleton (espérons après la réunion technique) et on sait ce qu'on fait. Mais qui sait maintenant ce qui a été discuté entre Solex et SEV il y a 70 ans, lors du choix d'une bobine d'allumage à faible rapport de transformation (bobine verte SEV) ? Solex a donc des condensateur papier imprégnés d'huile (et le marquage consécutif « huile » sur la patte de masse du condensateur et sur la patte de liaison). Et les quelques rares condensateurs neufs fabriqués à cette époque ont vieilli et sont tous devenus hors spec !

Quelle limite alors adopter pour la tension ? En fait, comme le but est de vérifier les condensateurs utilisés dans les allumages de moteurs thermiques, la surtension d'allumage atteint très rarement 600V. Les condensateurs actuels ont des gammes allant de 250V AC (350V DC) ou 400V AC (565V DC). On trouve aussi des tensions de 630V. C'est donc cette valeur que j'ai choisie.

Comment est déterminée la tension de service d'un condensateur ? C'est en fait un choix mené par des résultats statistiques (et par l'expérience du constructeur). Le condensateur, utilisé à sa tension « constructeur » doit atteindre la fiabilité exigée de celui-ci. Cela demande des essais sur des milliers de pièces, et sur des milliers d'heures, moyens dont je ne dispose évidemment pas.

Quelles sont les marges ? Il est évident que si on utilise un condensateur 630V à une tension de 631V, sa fiabilité, même si elle est théoriquement diminuée de quelques milliardièmes de ppm, reste la même, au niveau de l'utilisateur.

Certaines normes modernes exigent des essais à des tensions différentes de la tension faciale de la capa.

Norme de sécurité X, elles concernent la protection incendie et s'applique donc aux condensateurs susceptibles d'être placés directement entre les fils secteur, il ne doit pas y avoir de destruction menant à une flamme. Le test impulsionnel interdit la présence d'un fusible interne.



X1 = test impulsionnel à 4000V

X2 = test impulsionnel à 2500V

Normes de sécurité Y, elles concerne la protection de l'individu contre le choc électrique, et donc la fuite à la terre

Y1 = test impulsionnel à 8000V

Y2 = test impulsionnel à 5000V

Les normes X et Y sont plus étendues (X3, Y3 et Y4) existent, mais pour un marché bien plus réduit (fuites à la terre de matériel médical par exemple) et leur prix ne nous concerne plus.

Ces normes imposent une vérification régulière des produits par un organisme certifié.

Les essais de sortie de chaîne se font souvent en tension continue de 150 à 200 % de la tension de service, sauf pour les capas céramiques multicouches (MLCC) où on se trouve en limite technologique (et de fiabilité), et on ne peut tester au-delà de 110 % de la tension de service, y'a pas de marge pour ces capas !

Le dépassement de la tension de service ne peut pas se constater par un changement mesurable des paramètres du condensateur, ce n'est que la fiabilité à long terme qui est affectée.

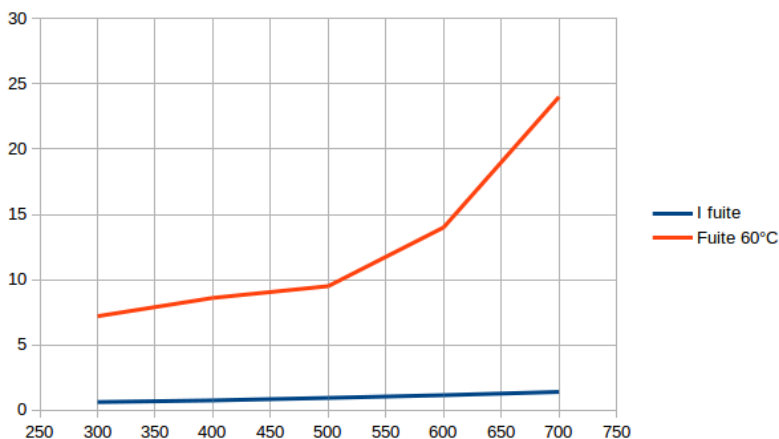
Le courant de fuite est un paramètre qui évolue avec le vieillissement mais de manière progressive (analogique), où donc placer la limite ? Internet est évidemment totalement silencieux sur le sujet.

On arrive à trouver des extraits de la norme **RMA** (radio manufacturers association) **TR113 de 1949** (date des premiers Solex) dans un vieux grimoire comme le **RCA designer's handbook de 1957** (quelques pages parmi les 1500 du bouquin) : la fuite admissible est :

4000MΩ pour une 0,22μF donc un courant de 0,15μA @600V @25°C. La fuite à haute température y est aussi précisée et augmente d'un rapport 100 entre 25 et 85°C

pour le même condensateur de 0,22μF : 15 μA @600V @85°C, soit 40MΩ. Ce qui se lit sur un galva 1mA, choisi pour lire la majorité des capas proposées, même « neuves ».

la norme spécifie une durée d'un an de fonctionnement et un derating de tension de 35 %⁶.



Fuites relatives autorisées par la **RMA Tr113** dans les fifties, on fait pas mieux aujourd'hui, sauf à passer aux films plastique MKP, p ex

J'ai fait un outil (clacmètre, intégré au Spithascope, voir site www.hackerschicken.eu), qui n'est pas trop destiné à l'utilisateur de base, mais permet aussi de mesurer la résistance de fuite du condensateur. Un condensateur à film plastique présente une fuite inférieure à 0,006μA (Wima MKP4 0,22μF) à 25°C, même au-delà de la tension de service, alors qu'un condensateur papier 0,22μF neuf consomme déjà 0,5μA (résistance de fuite = 1260MΩ). On peut admettre comme limite admissible 1 à 5μA. Quand le condensateur vieillit, il atteint cette limite au bout de quelques années et devrait être alors changé systématiquement.

Le courant de fuite et la stabilité des condensateurs à film plastique (MKP) sont sans comparaison avec ceux des condensateurs papier, tout comme la durée de vie en stockage et utilisation ! A

⁶ Hilarant, quand on ne connaît ni la valeur, ni la tension officielle !

préférer, de très loin !

Les condensateurs céramique sont quand même plus fragiles (en limite technologique, et testés quasiment sans appliquer de marge), ils sont très sensibles aux vibrations et mauvais montages (par exemple par des bidouilleurs qui ne lisent pas les specs drastiques données par les fabricants)

La résistance de fuite et les micro-claquage ne sont que des précurseurs de la défaillance finale et indiquent le taux de confiance qu'on peut encore accorder à la capa.

Bien entendu, quand on monte la tension du clacmètre, on note le passage transitoire d'un courant. Normal, c'est la mesure classique de la charge du condensateur et non un pic de courant de claquage.

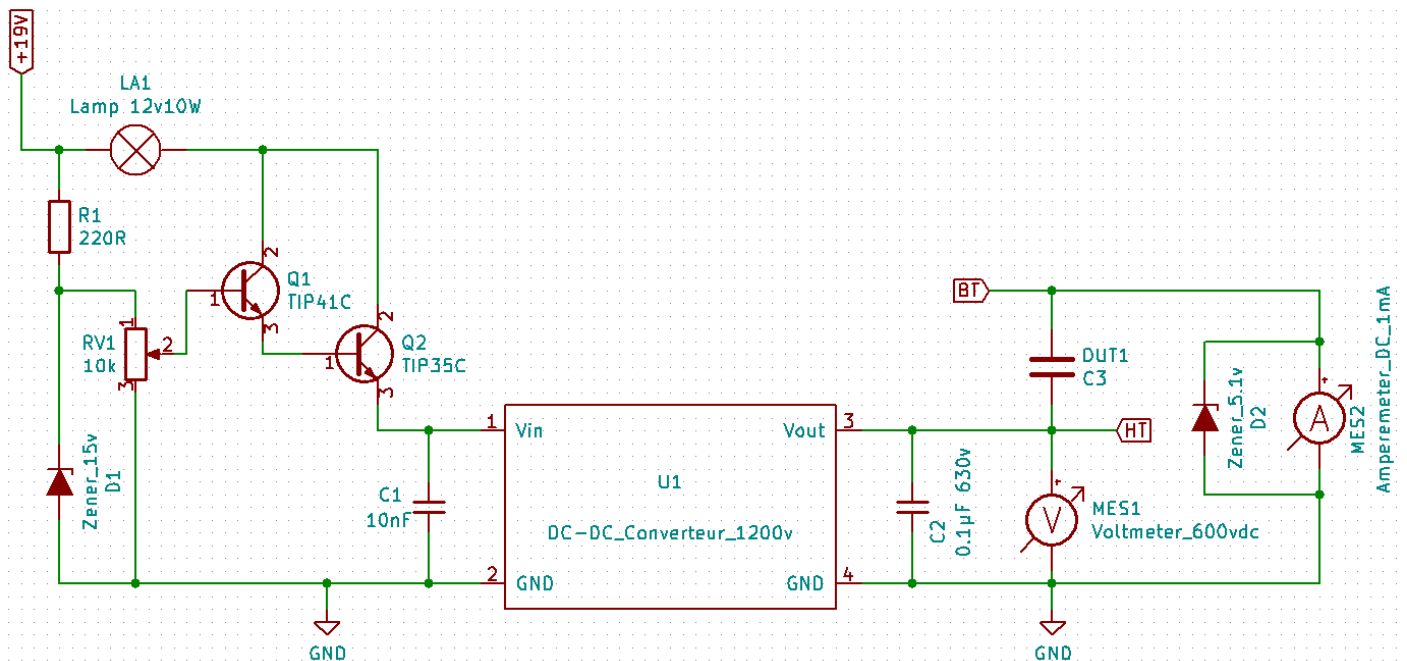
Pour comparer les fuites d'un groupe de condensateurs en tests, j'utilise plutôt la limite de résistances, de nombreuses capas écroulant l'alim HT, volontairement limitée par sécurité.

Certains montent des capas en série, sans aucune résistance d'équilibrage.

3.11 Générateur de tension

J'utilise un convertisseur DC/DC de structure simple de chez I.B. qui est limité en courant (pas question de jouer avec des bobines de Tesla) et qui permet de choisir la tension de sortie, et surtout d'avoir une tension de sortie proportionnelle, dans une large dynamique, à la tension d'entrée, c'est celle-ci qu'il suffit alors de faire varier.

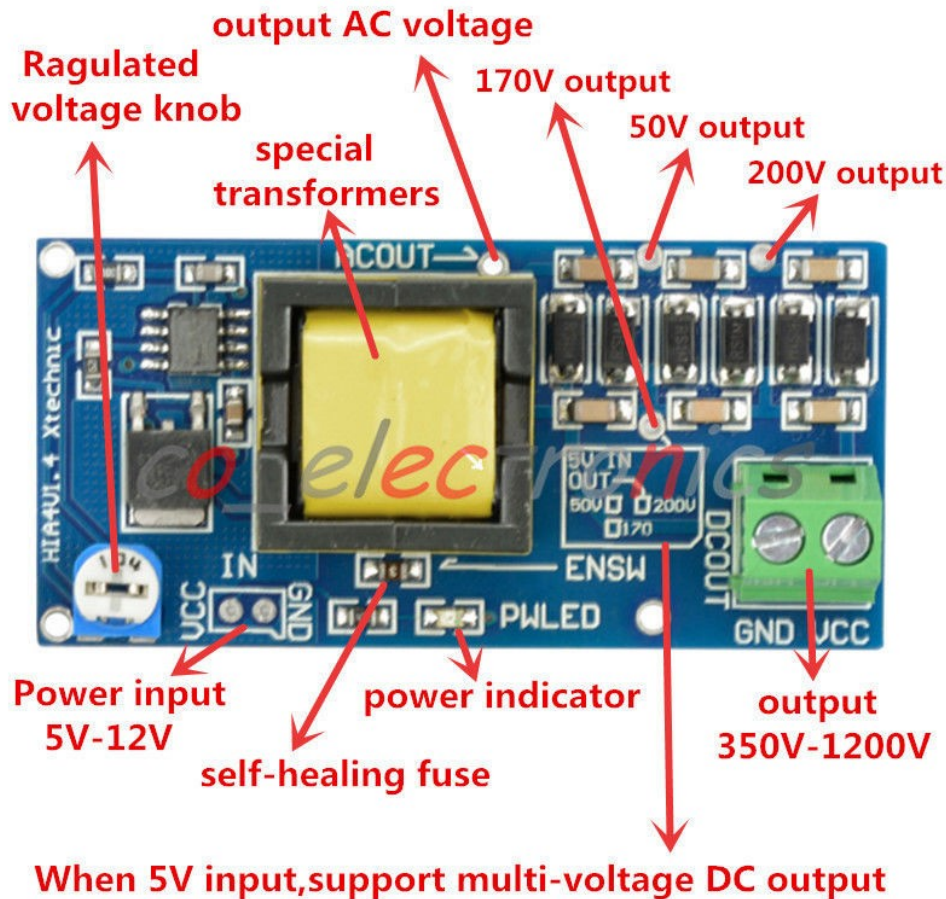
L'alimentation se fait par l'alim générale du spithascope de 19V. Un étage réglable avec Darlington permet un réglage de 0 à 14V. Comme les bonnes pratiques électroniques interdisent de sortir la puissance sur un émetteur de transistor sans protection adaptée, j'ai mis ici une lampe à filament voiture 12V 10W, qui ne brille normalement pas, je me sers de sa résistance à froid, une quinzaine de fois inférieure pour ne pas trop limiter l'alim, et passer en protection (filament allumé en cas de problème) et ainsi assurer une (relative) protection des transistors, de toutes façons bon marché. Avec ce montage, et le réglage approprié du potar incorporé du convertisseur DC/DC, la sortie varie de 0 à 600V. Le galva mesure jusqu'à 600V, le supplément peut servir pour certains cas particuliers.



Je pense à terme remplacer le montage de réglage de tension par un LM317 (pour sa régulation thermique) associé à des transistors de puissance.

La tension max en entrée du DC/DC atteint 12V et la chute de tension de la lampe est de 1,12V : elle rougeoie à peine sauf en cas charge trop forte sur la sortie ou de rapport cyclique extrême du PWM.

Avec ce montage, le condensateur se décharge en quelques secondes après l'arrêt de la HT.



Le montage est un 555 avec PWM de rapport cyclique variable par le potentiomètre (« ragulated » voltage knob) dont la sortie commande un MOS IR LR2905 (55V 42A). la sortie du transfo est un multiplicateur à diodes-capas, dont on peut prélever sur les sorties intermédiaires. La sortie est isolée de l'entrée (GND in isolé de GND out).

le galva chinois utilisé (1mA) demande une résistance série rajoutée en interne de 575k Ω pour lire jusqu'à 600V



3.12 Banc BEM

Chez IGM (l'Institut Gériatrique des Motos) le banc BEM Müller possède une sortie « condensateur » qui est un redressement double alternance d'une sortie commutée d'un transfo secteur. Un filtrage avec un condensateur de 4,7 μ F au moins permet de disposer d'une tension de 370V pour des essais de capas à tension fixe, c'est mieux que rien, mais ça n'a pas la souplesse ni la dynamique d'un générateur HT.



Le banc BEM Müller avec platine adaptée par IGM au volant Tobec type Z, et avec le pot de paraffine liquide, régulé à 75°C pour essais à chaud, au trempé, des capas; plus efficace et maîtrisé que le clip chauffant, visible sous le volant (en quelques secondes, la capa est à 75°C). Détails sur le chauffe-capac :



http://www.hackerschicken.eu/www/electric/Spithascope/chauffe_capa.pdf

Attention Haute Tension, on secoue les nouilles⁷ !

3.13 Mesure du courant de fuite sous haute tension

La mesure peut se faire par un galva à aiguille (gamme 1mA qui correspond au max observé @75°C) placé en série avec la capa à tester ou par un milliampèremètre log, en développement. Voir schéma plus haut

Une zener 5,1V protège le galva

De nombreuses capas ne permettent pas à l'alim HT d'atteindre sa tension de consigne (limitation de sécurité) et je mesure alors la résistance de fuite.

3.13.1 Mesures d'un lot de capas

(données comme problématiques par Bernique ou IGM)

L'ESR à 25°C s'il ne change pas les performances d'allumage, corrèle plus ou moins bien avec la fuite et donne une idée de l'acceptabilité doit être inférieur à 0,8Ω. Les capas dont la valeur s'est trop éloignée des 0,22μF originaux sont mauvaises (dépend de la méthode de mesure).

⁷ Contrepèterie classique



	spithascope	rigol	TC1	ESR	PKT	R PKT 10	25°C (MΩ)	75°C (MΩ)	
1	0,350	0,221	0,219	2,400	0,307	0,710	OK	OK	faux contact
2	0,450	1,220	0,990	7,700			0,07		NOK
3	0,270	0,418	0,474	2,400	0,244	1,650	150k 1m 150V		NOK instable
4	>0,5	0,677	0,688	1,100	0,437	0,670	0,25M 150μ 300V	250k 1m 250V	NOK
5	0,220	0,255	0,232	37,000	0,230	5,000	0μ 550V	75μ 550V	faux contact
6	>0,5	0,596	0,583	1,300	0,342	0,910	2,6M 150μ 400V	0,15M 1m 150V	NOK
7	0,350	0,378	0,350	0,930	0,327	0,850	4M 100μ 400V	0,38M 800μ 300V	NOK
8	0,350	0,392	0,361	7,500	0,335	7,050	6 50μ 300V	1M 0,7m 300V	NOK
9	0,295	0,455	0,510	9,100	0,183	7,810	300k 1m 300V		NOK
10	0,280	0,295	0,291	0,950	0,280	0,880	4,16	1,6M 1m/150V	NOK
11	0,240	0,421	0,489	2,100	0,317	1,780	30,00	0,05	NOK instable
12	>0,5	0,975	1,172	5,900	0,233	4,010	0,15M 20μ 600V	50k 1m 50V	NOK instable
13	0,260	0,250	0,265	0,580	0,245	7,500	450V 150μ 3M	250V 0,9m 250k	NOK
14	0,240	0,241	0,238	0,800	0,236	0,720	5,10	1,8 (0,25m/450V)	NOK
15	0,340	0,493	0,469	0,920	0,308	1,390	0,15M 450μ 400V	150k 1m 150V	NOK
16	0,230	0,233	0,232	1,100	0,226	0,960	24M 20μ 600V	24M 20μ 550V	OK
17	0,280	0,283	0,278	1,100	0,274	1,050	10M 50μ 500V	1M 400μ 400V	NOK
18	0,280	0,273	0,269	0,910	0,272	0,770	>>220	>>220	OK
19	0,250	0,296	0,277	15,000			>>220	2,00	NOK
20	0,380	0,657	0,605	1,800	0,297	1,550	1,50	0,30	NOK
21	0,270	0,321	0,301	1,000	0,276	0,910	1,3M 300μ 400V	0,5M 600μ 300V	NOK
22	0,270	0,268	0,264	0,580	0,264	0,570	40	40	OK
	ESR <1,1Ω	ite 25°C>3000MΩ							
	tg d <2 %	uite 75°C>30MΩ							

4 Test d'endurance de capas

Cet essai est destiné à placer les condensateurs en essai d'endurance, en température représentative de l'intérieur d'un volant magnifique.

4.1 réalisation

Le montage va fonctionner à la cave, pour sa température "stable" et pour éloigner le bruit acoustique et CEM du labo électronique.

Ces essais se font avec un module d'allumage RMZ légèrement modifié :

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

module alimenté sous 7,5V DC, ce qui permet de compenser la perte de tension par Vsat et pour limiter la dissipation excessive de R2 sous 12V. Il y a une batterie NiMh en tampon, à une tension de servant de buffer et de "condensateur" de forte valeur.

La bobine Solex/SEV verte fonctionne à la température de la cave avec un temps de magnétisation et une saturation contrôlée, ce qui diminue considérablement son échauffement interne.

Le condensateur en essai baignera, lui, dans un bain de paraffine fondue.

4.2 Montage

Montage KISS, sans régulation de température, on asymptotera à une température de l'ordre de 85°C, représentative de l'intérieur du volant.

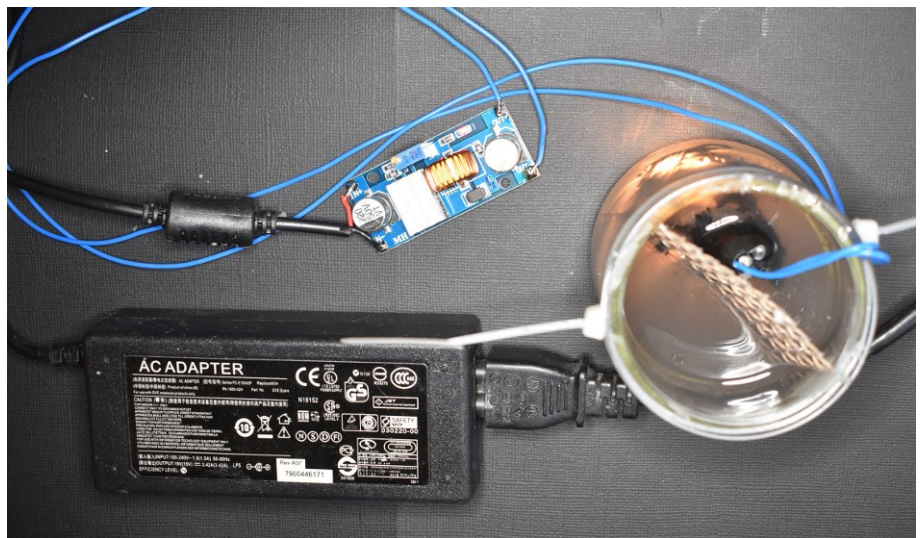
L'absence de régulation rend le bain sensible :

- à la température ambiante, stable, à évolution lente, un contrôle régulier suffira
- à l'évaporation des composés plus volatils de la paraffine, et de son approvisionnement

le montage est constitué d' :

- une lampe auto 12V 21W avec le verre peint en noir, une couche au pinceau suffit, les interstices de peintures permettent de s'assurer de son fonctionnement. La lampe est sous-alimentée, permettant de largement dépasser sa durée de vie nominale de 1000h@12,00V⁸
- une alimentation secteur de portable 19V fixes (standard) pour 3,4A possibles (5\$ sur le Net)
- une alimentation chinoise⁹ buck à découpage variable de 5A, réglée vers 8V, où la lampe consomme 1,5A soit 12V, sa durée de vie atteindra sans problème 3000h, au prix d'une réduction de la puissance, aisément corrigée par la mesure de température et un ajustement de la tension.

L'usage commandera éventuellement une thermostatisation, si les essais doivent se prolonger : http://www.hackerschicken.eu/www/electric/Spithascope/chauffe_capa.pdf



pot de yaourt dia 70 h 80 mm

L'isolation entre la lampe et la capa est assurée par un morceau de grille de barbecue, un Duck tape destiné à isoler le culot de la lampe de la capa en test, n'a résisté que quelques dizaines de minutes.

4.3 Utilisation du bain

le bain consomme quand même de la bougie, mais c'est moins odorant que de l'huile de friture chaude ! Prévoir les bougies d'avance.

Conserver le niveau suffisant pour le noyage intégral de la lampe y compris le culot, pour récupérer un max de la puissance dissipée pour le bain.

Il faut prévoir 1h30 heure de préchauffage sans touiller, pour que le contenu du pot soit entièrement fondu.

Le bloc alim atteint 45°C et le buck DC/DC atteint 45°C, sa self atteint 60°C (labo à 25°C).

Le module d'allumage monte à moins de 40°, transistors et résistances.

⁸ Comme la lampe des pompiers de Livermore, prétendu cas d'obsolescence programmée, selon les journaux

⁹ En dépit des Cassandres professionnels qui polluent le Net, l'alimentation **chinoise** a résisté aux 2000 heures de fonctionnement, et continue d'être utilisée. En fait ces alimentations utilisent strictement le schéma d'application du fabricant de puce. Le point faible est constitué par les condensateurs chimiques, donnée pour la plupart pour une durée de vie de 2000 h @ 125°. la durée de vie augmente considérablement en baissant la température.

4.4 Pulse generator

Reprise du papier déjà écrit, en anglais, puisque j'habitais en Bavière, dans les monts de la Rhön lors de sa rédaction, et pensais m'y fixer, j'y ai trouvé de drôles de bagnoles.



Y'a pas que les chinois qui copient, voici une copie locale de la twingo, faite par **Rhönault** ! Dans les monts de la Rhön en Bavière

This KISS device (keep it simple, stupid) generates the pulses for motor ignition tester in a particularly nasty environment. The output frequency covers the range 5 to 200Hz, this means :

- 150 to 6000 rpm for a 4cyl / 4 stroke engine
- 300 to 12000 rpm for a 2cyl / 4 stroke, or for a 1 cyl / 2 stroke

It is made using a small Digispark module Tiny85.

The power supply comes from the very same 12V battery used for ignition.

An analog display of the frequency is made by a needle galvanometer.

The « **dwel** » (historic mechanical way of insuring the magnetization time of the coil, the real need) is permanently **set to 10ms**, it automatically restricts itself to **4ms** @ 200Hz, and guarantees a **spark time of 1ms** minimum.

A new version, based on an arduino nano USB board, gives more accurate results, if really needed.

4.5 Environment

The lab environment is even worse than the engine compartment

- the generator is located less than 30cm from the spark
- the generator box can work with opened box
- the spark wire is not resistive nor shielded
- the spark plug has no resistance (according to today's standard, the internal resistor is around 5kΩ)
- the spark plug is a pair of electrodes in air (using Paschen's law, 8mm air gap represents 0,8mm in typical 4 stroke engine, or 1,25mm in 2 stroke engine)
- the spark plug has no shielding at all, in a real engine, there is an absolute minimum of shielding (cylinder + cylinder head)

Because of that environment, I blew up 4 microcontroller boards during development ! that's why I became paranoid in protecting the generator.

It could now be considered as bulletproof, as well as the ignition module, used since years for various developments. The ignition module is described on the french part of my site

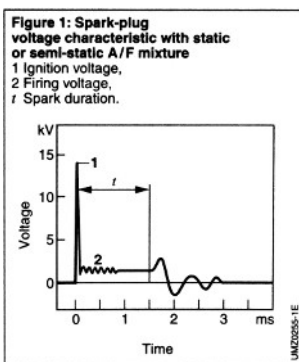
(http://www.hackerschicken.eu/www/electric/commande_allumage.pdf) It uses bipolar transistors only, more reliable as the « specifically developped » MOS or IGBT, and it seems the car manufacturers use now a current controlled coils scheme, and the MOS are particularly unable to work in linear (and harsh) world. Stopping the real development and maturing of those « specifically developped » MOS or IGBT. The ignition modules restrict the coil current to 3,9A and can control almost any coil, from 0,4 Ω to 5 Ω .

The destructions came obviously through the conducted perturbation path, more than through the radiated perturbation path, as it is possible to run it reliably with box opened (not advised, though).

4.6 The spark

The aim of this device is to generate a spark by the mean of a driver, which manages the current and voltage of the coil, while the dwell time and the spark duration are managed by this generator. The spark, once ignited, has a minimum duration, around 1,5ms for a car engine, sometimes shorter for a small 2-stroke engine.

The spark duration is fixed at 1ms in the tiny85 version. The arduino nano version has adjustable duration and dwell time.



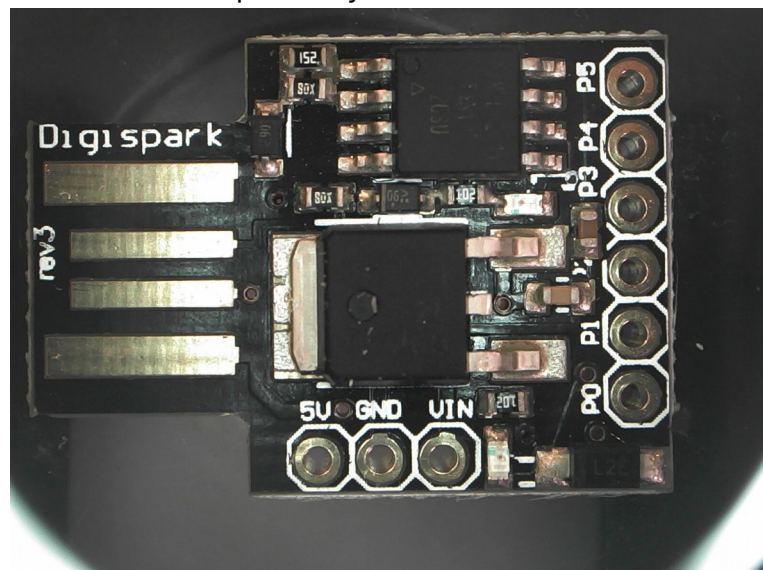
typical spark

source : Bosch Automotive Handbook

4.7 The microcontroller board (μ C)

It is an « arduino » board. I just use it as a cheap atmel microcontroller (\$1.5), no use of arduino environment, nor of the USB connection. Program written in plain vanilla C (avr-gcc in Linux environment) loaded through ICSP port.

The processor used here is an atmel Tiny85 in 8-pin package, there are 5 pins left to interface to the world. The PB5 pin is reserved for reset (if you absolutely need it, you can no longer use the standard programming scheme. Not a big choice is possible for distributing the pins because all the possible functions are preset to certain pins only. You better read the datasheet (RTFM) to use that chip !



The digispark board

well-named for this use !

27 x 19 mm

The timer1 (8-bit, on PB0 pin) is used for a PWM 0 to 5V for the analog display. The frequency is not very important, as it will be integrated by the moving coil and the needle of the galvanometer (actually around 250Hz). The ratio representing the rpm, is generated from the corresponding internal variable.

The timer2 (8-bit) is used as the time base, by generating the ticks, adjusted at 10kHz for an easier development. The processor uses its internal RC oscillator, with its poor accuracy, barely enough here. The internal system clock is set to 8MHz by fuse setting (Ifuse = 0xFF). We can now use the ticks as a x-bit timer for the rpm creation (actually around 14-bit).

The « waveform » function of the PWM is created for the « dwell » (remember, it's only a time, for energizing the coil inductance) and available on PB1 pin

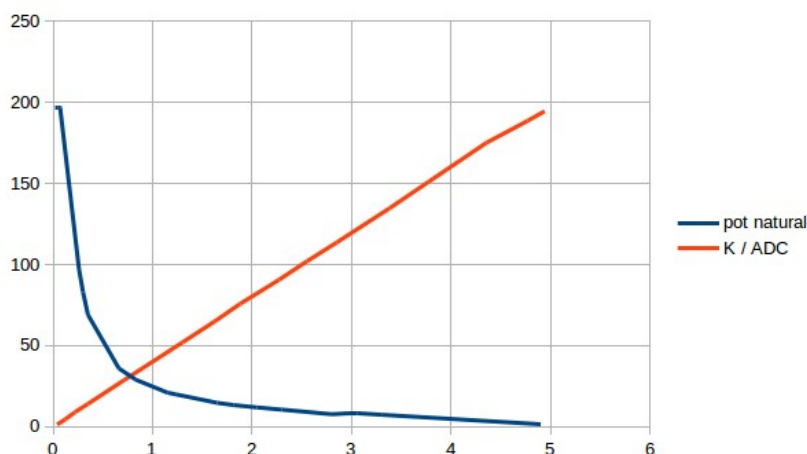
This waveform can also provide a spark time of 1ms minimum, giving enough time to inflame the gas.

An analog input to the internal A/D converter reads the potentiometer value for the frequency control. The potentiometer is in ratio-metric mode : voltage divider of the Vcc voltage, it is thus not affected by the potentiometer tolerance, nor by Vcc variation, it just needs to be a linear pot.

The old fashion of frequency generators used a monostable multivibrator (555 or HC123). They are not really linear in nature (presence of a constant ON time, in addition to the cyclic ratio), but the frequency follows more or less a function of the resistance giving an apparent linearity in behaviour $\text{freq} = f(\text{rotation angle})$

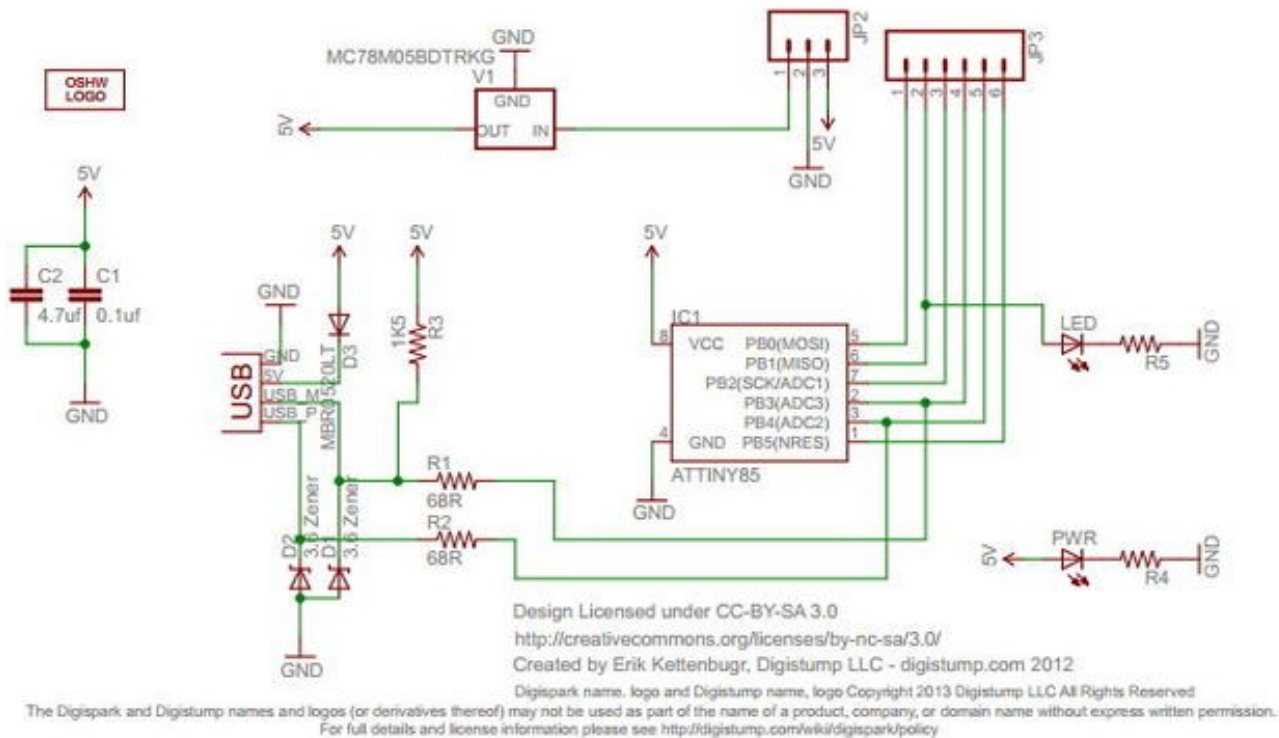
The μC fashion controls the **period** of the frequency. The feeling is not nice : the major change in frequency is located in a few angle of rotation of the knob ! (blue trace)

A small change in software makes the behaviour becoming now : $\text{freq} = k * 1/\text{period}$. No need for a LUT (Look-Up Table). You only have to invert the GND and Vcc pins on the pot to have min to the left and max to the right.



The internal re-inversion of the ADC reading regenerates a linear behaviour (red trace), nice feeling now. It acts as a linear VCO (voltage controlled oscillator).

4.8 Schematics of the Digispark



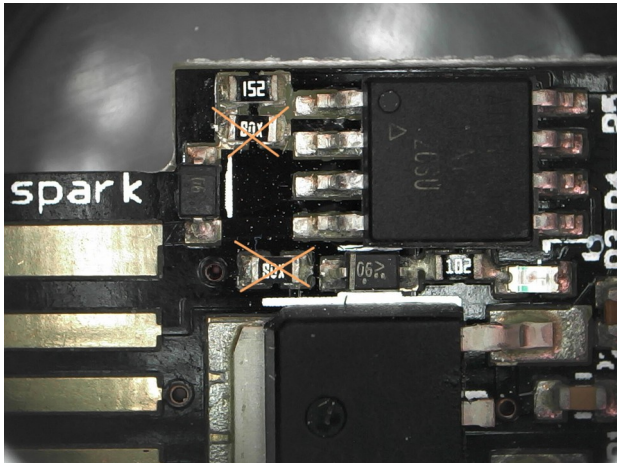
Another feature of the ADC use : I wanted first to stay compatible with the pinout of a previous version of the generator made for a friend (two pots, one for rpm, the other for dwell, now useless). I used the ADC2 & ADC3 inputs. But they are already used in the Digispark for the USB link.

Those ADC used for USB in the Digispark have a very specific connection : series resistor of 68Ω connected to a 3,6V Zener diode. Even with a linear pot, the response is completely screwed !

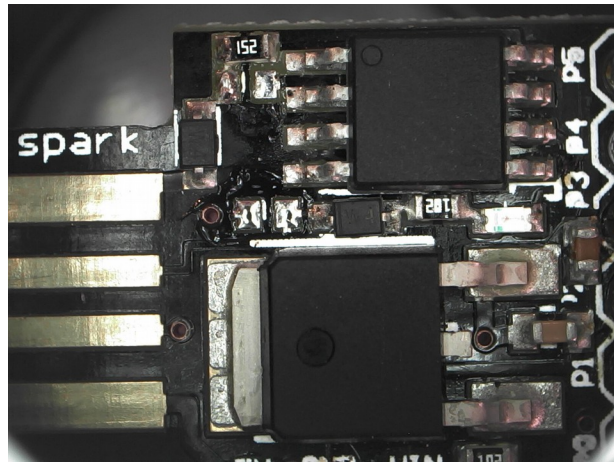
The ADC conversion speed is a SAR A/D converter (Successive Approximation Register). It begins to evaluate the MSB (Most Significant Bit). The max allowed clock speed is 200kHz, if you go over this limit, you begin to lose the LSB (Less Significant Bit), as the LSB correct reading is not mandatory. Clock of ADC is 62kHz.

I then modified the analog input (I only need one now, ADC1, as the dwell is computed by the software). **I use now ADC1 / PB2 for the pot.**

Board modification, just in case you need a free use of PB3 - PB4



With 68Ω resistors



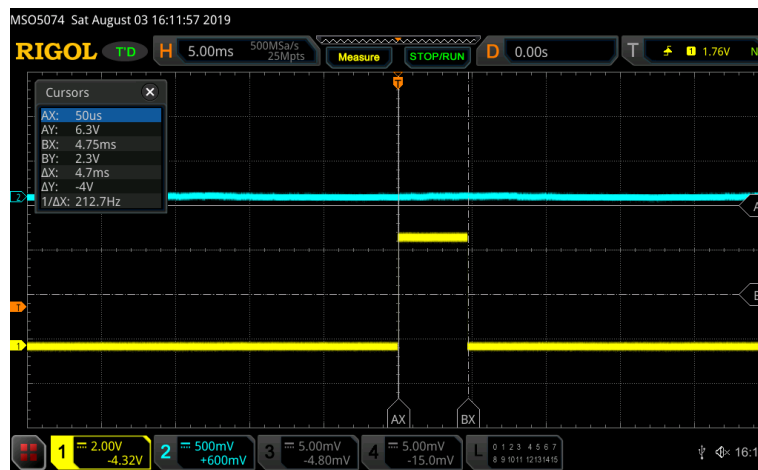
Without 68Ω resistors

With a standard soldering iron, flat round end 3mm, I got rid of the 68Ω resistors (stamped 50X ! and measuring 68Ω) This eliminates the USB connection, programmation is still possible through the ICSP 6-pin port. The USB track could even be dremeled out ! It works OK.
This modification is only needed if you intend to use one or both of the ADC2 - ADC3 port. The actual tester uses only one potentiometer, so it has to be ADC1 (PB2), and no modification on USB ports. The suppression is still needed if you program the board via the P0 to P5 pins and not via USB.

4.9 results

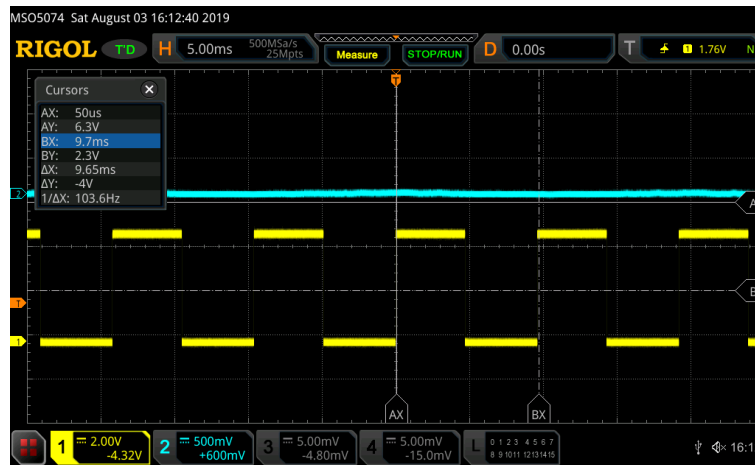
dwell @ low frequency:

magnetization time
= output at 5V
is 4,7ms





dwell @ 100Hz :

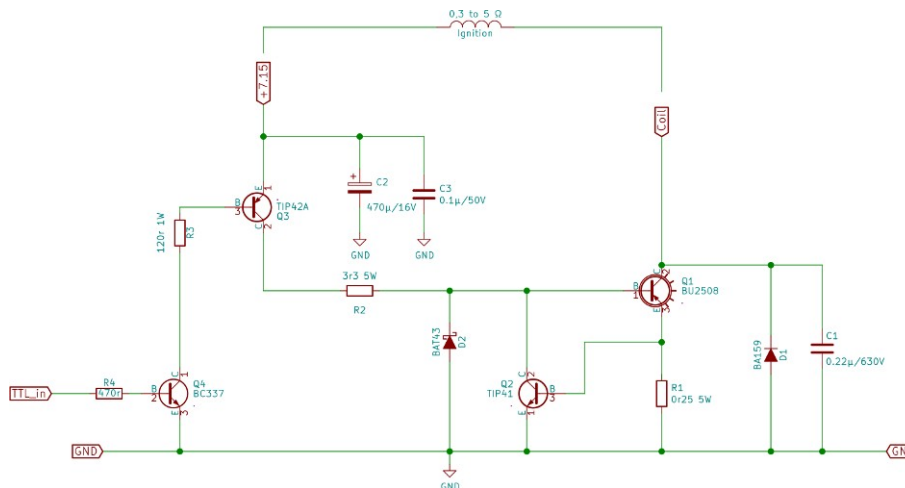


The output is positive logic and needs a transistor to invert the logic to negative and emulating the points. It's a logic signal, not a power logic : does not support the current from a coil and needs an electronic ignition module.

4.10 Le module d'allumage électronique dans le banc d'endurance:

Il est dérivé du module RMZ et PCB dessiné par Bernique

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

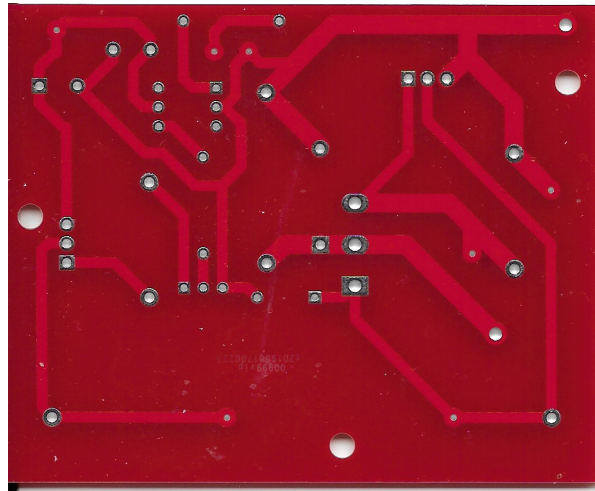
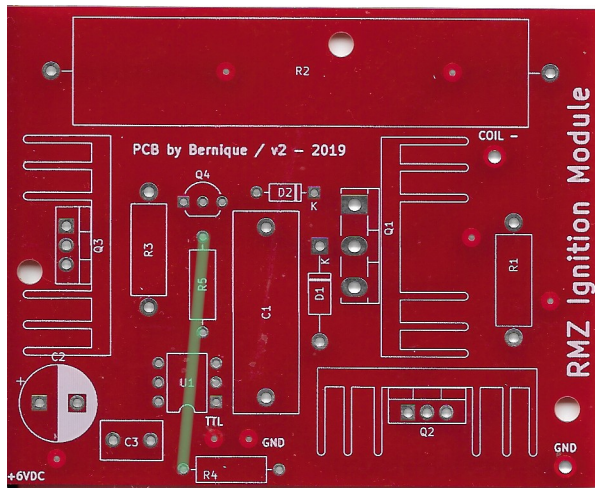


10

La différence avec le module d'origine est que la tension d'alimentation du transistor driver n'est pas alimentée sous la tension 12V de la bobine mais à une tension réduite de 7,15V (accus NiMH en tension de floating¹¹)

10

11 Les Cassandres (souvent les mêmes) déclarent péremptoirement qu'on ne peut pas le faire, j'ai préféré creuser plus loin, dans plusieurs datasheets.



Avec le PCB v2, on ne monte pas U1 ni R5, il faut placer un fil selon le trait vert. l'éclateur est un IGM VAL2 (pour voir ce que les bougies VAL) fourni par IGM, l'institut gériatrique des motos et précurseur des Instituts gériatriques autour des 2-roues. Réglé à 5 mm (=0,78 mm en compression).

4.11 Solex / SEV green coil

For Solex / SEV green coil, and with a RMZ ignition module, I build a capacitor long time fatigue tester: the cap is dipped in paraffin bath (maintained hot by a bulb 12V / 21W powered at 7,5V, and covered by black paint. The temperature goes >80°C.

The protection of the coil is now made by a magnetization time of 5 ms , before the saturation occurs, **for this coil only** (statement `uint8_t dwell = 100;` becomes `80`)

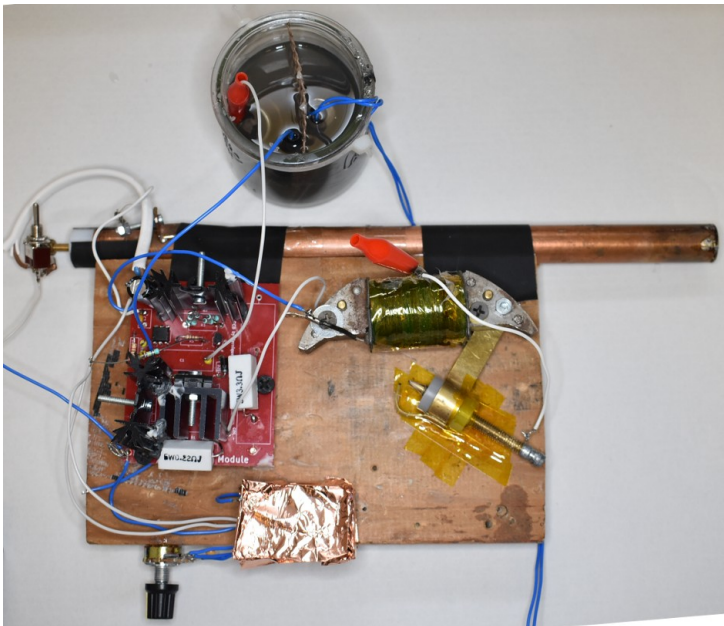
« ground » connected to the collector of BU2508, loose wire to +7,15V, because this coil is not inverted contrary to the immense majority of coils.

4.12 Conclusions of the Digispark based generator

This device is easy to build and simple.

Frequency 5 to 100Hz, dwell 10ms (or 5ms), reduces automatically to have a spark time of 1ms, in all conditions.

4.13 Le banc d'endurance



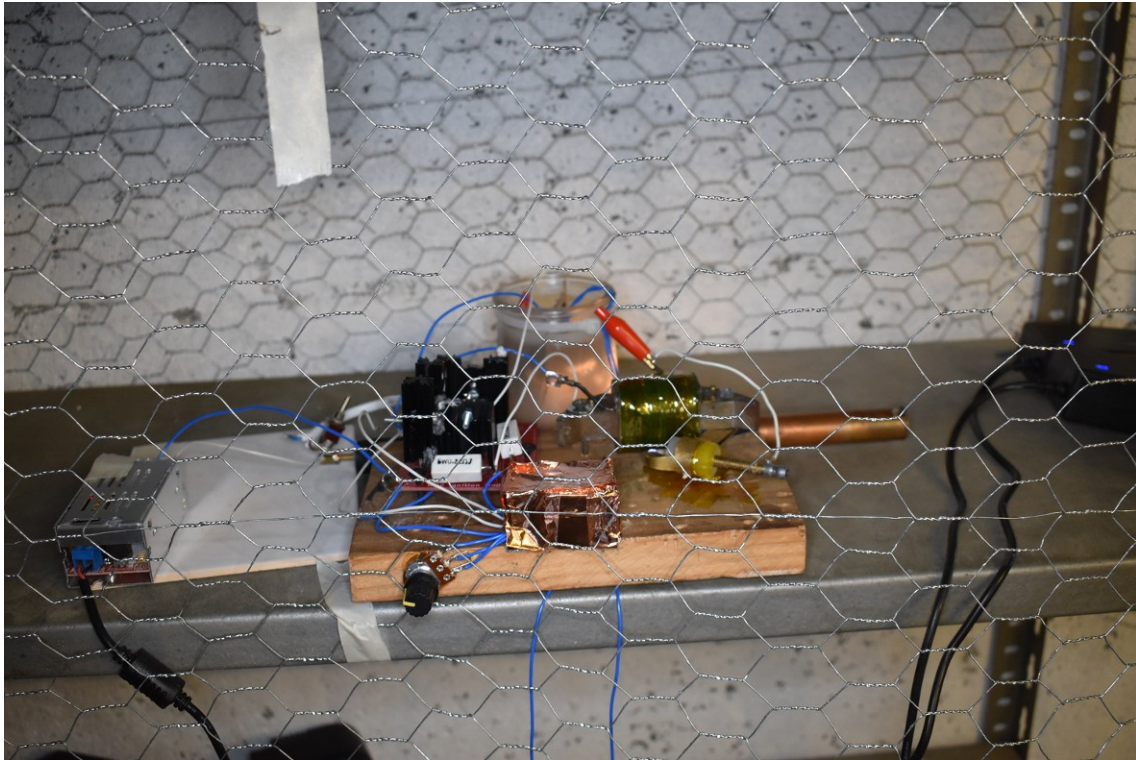
5 accus NiMH dans le tube cuivre
avec un simple blindage à la feuille de cuivre, le μC n'est pas perturbé par les énergies et fortes impulsions de l'allumage

Le banc



l'éclateur, fourni par IGM, l'institut gériatrique des motos

modèle VAL2 « pour voir ce que les bougies valent » selon IGM, destiné à être placé entre les ailettes du cylindre



Le montage en cage (de farfadet) Étincelle visible, la grosse alim buck sert au + 7,15 V

4.14 Essais d'endurance

L'essai est mené dans une cave et dans icelle, dedans une cage de farfadet, pour avoir une température à évolution lente, et limiter les perturbations.

Si galet	circonférence	Glissement 5 %	fréquence	Distance / s	Distance heure (km/h)	Distance / jour	Distance / mois	Distance / an
42 mm	131,8 mm	125,21 mm	100Hz	12,52 m	45 km	1081 km	32 400 km	400 000 km
						24 h	732 h	8760 h

4.15 Les capas en test

4.15.1 Papier

Choisie pour son aspect neuf : pas de trace de vissage (seul un écartement de l'œillet à la pince a été fait), pas de brasure encore faite= capa non forcée au montage, rondelle isolante supposée non tournée

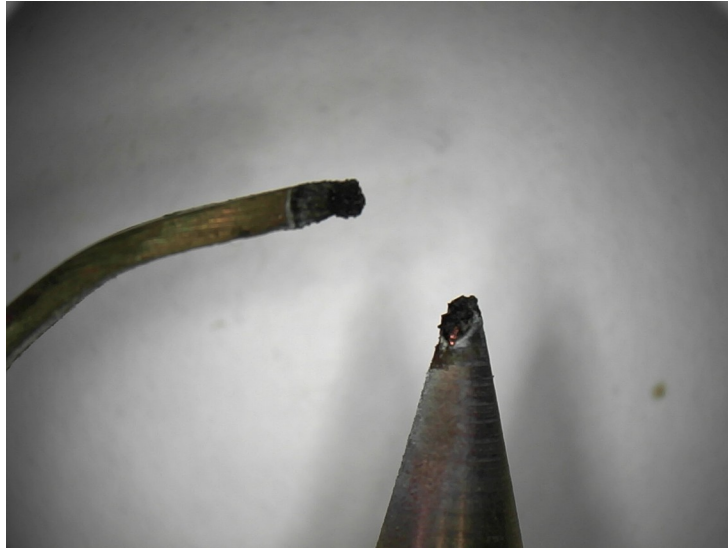


la capa a atteint 60 000 km, 1400 h

but atteint, on dépasse sensiblement la vie normale du brave moteur

4.16 Résultat, état des électrodes après 60000 km / 1400 h

Le condensateur au papier a ici été utilisé sans appliquer **aucun stress mécanique** et **sans laisser pénétrer de la vapeur d'eau** (à travers la paraffine fondue), les deux agents les plus meurtriers pour la durée de vie !



4.17 Alims chinoises

Les alims chinoises tant décrites, surtout par des gourous omniscients¹², sont pourtant souvent l'utilisation stricte de la datasheet du composant d'alim à découpage, et le point faible seraient les capas électrochimiques dont la durée de vie est annoncée à 2000h à 105°C, je montre donc leur fiabilité sur 1400h, et je n'ai pas essayé jusqu'à leur destruction !

4.18 Program

The program :

```
/* tiny85 digispark ignition pulse generator
*
* Zibuth27
*
* status: OK
* keywords: potentiometer ratiometric, PWM: frequency linearized
* automatic dwell = 10ms except if spark time (lms) mandates to reduce it
*
* pin assignment
* PB0 pin5 0C0A 0C1A/ = rpm analog galvanometer
* PB1 pin6 0C0B 0C1A = ignition pulse
* PB2 pin7 PINB2 ADC1 = potentiometer rpm control
* PB3 pin2 ADC3
* PB4 pin3 ADC2
* PB5 pin1 RST = do not use
*
* RMZ#241
* fuses lf = F1, hf = DD, ef = Fe
*
* 2017/08/30
*/

#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
```

¹² On n'a que les gourous qu'on se mérite, et qui n'en savent souvent pas plus que soi (zibuth27)



```
volatile uint32_t ticks;

void main (void)
{
    // ports
    DDRB = 0x03;

    // timer0
    TCCR0A = 0x83;
    TCCR0B = 0x04; // mode 3 fast PWM
    OCR0A = 50;    // mean value of OCR0A will be displayed on galva

    // timer1 preset values, frequency & ratio will be changed on run
    TCCR1 = 0x44;
    OCR1C = 199;   // recycle value = frequency,
                  // 199 = 10kHz, to be adjusted to internal RC
    TIMSK |= (1 << TOIE1);

    // ADC converter
    ADCSRA = 0x89; // enable conversions clock = 8M/8 = 250kHz,
                  // we may lose some LSBs, so what?

    sei();
    while (1)
    {
        ADMUX = 0x01;           // select rpm control capture ADC1
        ADCSRA = 0xC7;           // start conversion
        while (ADCSRA & (1<<ADSC)); // wait for conversion complete

        uint32_t rpm = (49000/(ADC+1)); // read + convert potentiometer value
                                      // = 1024*(value for fmax = 48)
                                      // ADC+1 to avoid divide by zero

        if (rpm <= 48) rpm = 48;
        else if (rpm >= 2000) rpm = 2000;

        uint16_t disp = (2080/rpm)*6; // analog display on galvanometer PB0
        if (disp < 256) OCR0A = disp; // display limit because disp is 16 bits
        else OCR0A = 255;
        uint8_t dwell = 100;           // magnetization time
                                      // (real goal of dwell)
        uint8_t sparkdur = 7;          // spark duration 1ms

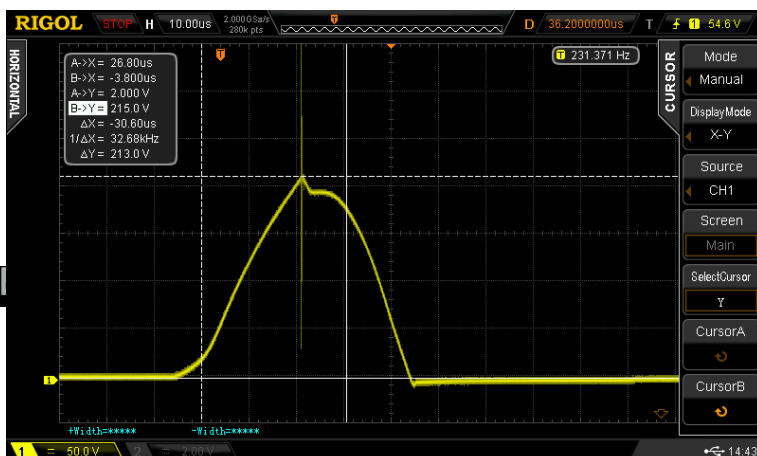
        // normal 100ms, min 4ms and guard for spark time 1ms
        if (dwell > (rpm - sparkdur)) dwell = rpm - sparkdur;
        if (dwell >= 100) dwell = 100; // max 10ms
                                      // 40 ==> dwell = 4ms
        if (ticks < dwell) PORTB |= (1 << PB1);
        else PORTB &= ~(1 << PB1);

        if (ticks > rpm) ticks = 0;    // 1000 ==> 10Hz, 50 ==> 200Hz
    } // while
} // main

ISR (TIMER1_OVF_vect)
{
    ticks++;
}
```

5 Le choix du type de condensateur

Le condensateur subit des surtensions importantes en fonctionnement normal



capa Wima MKP4 0,22μF sur volant magnifique (ou volant mirifique) :

Solex bobine verte SEV éclateur 5mm (= bougie 0,75mm) la tension atteint 215V au moment de l'amorçage de la bougie

L'instabilité naturelle d'un allumage fait qu'on voit



Le condensateur dans les véhicules vintage

v7.1

la tension monter couramment à 250V ou plus

fil de bougie débranché on dépasse 500V, c'est
bougie HS détruite en plus la capa !

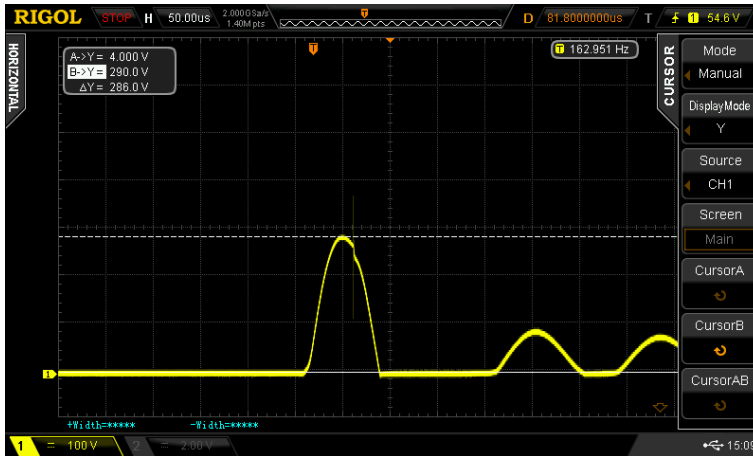
donc la tension mini à tenir, faudrait pas qu'un fil

ébranché ou une

Vitesse du pulse = 10V/μs, mais beaucoup plus
peuvent arriver à la capa

forte à l'instant d'amorçage, des parasites de forte

amplitude



bobine Ducellier, éclateur 10mm (= bougie 1mm) sur
moteur 4-temps

la tension monte à 290V et l'amorçage se produit
apparemment à 270V (effets cumulés des capas,
rapports différents du solex et temps de transfert)

le retard à l'allumage est ici de 50μs, depuis l'ouverture du rupteur, soit 2°de retard @ 6000rpm.
On pointe donc une difficulté de mesure selon que le strobo déclenche sur basse tension ou sur
l'amorçage (trigger à 1000V ou fil de bougie). Les « strobos » à LED doivent, pour avoir une
visibilité minimale, avoir une durée d'éclairage importante, perdant la précision. Seul le strobo à
tube à éclat (xénon) permet une observation précise.

Le condensateur doit donc supporter ces valeurs, sans diminution de la fiabilité (le condo blessé ne
va pas exploser tout de suite (au premier carrefour), mais au bout d'un « **certain nombre** »
d'agressions, difficile à quantifier, je m'en tiens donc aux specs fabricant.

Le condensateur devrait être un composant installé et oublié, sa durée de vie devrait très
largement dépasser celle de l'engin¹³

13 Surtout si cet engin à roulettes est décapotable, contrepoids ferreux, j'ai pas pu m'empêcher



Quelques valeurs de l'impulsion d'allumage **relevées** au voltmètre de crête

bobine	Éclateur 5 mm (= 0,6mm à la bougie Solex)	Éclateur 10 mm	Fil de bougie débranché
Solex verte SEV	250V @6V	450V	500V
Solex rouge	130V @6V	220V	270V
Ducellier	280V @ 12V	290V	400V
PVL	300V @12V	400V	500V
Bobine Crayon Beru	100V @6V	150	220V
Wovi Mobylette	110V @6V	200V	250V

Le module d'allumage RMZ passe tout seul en générateur de courant quand nécessaire, pour les résistances faibles et lors de la saturation.

6 Analyse de construction et préférences de condensateurs

6.1 Intro à l'analyse techno

On remarque sur les sites spécialisés de nombreuses plaintes d'utilisateurs au sujet des condensateurs d'allumage. Chacun y va de sa trouvaille pour le remplacement, pas toujours estimé avec rigueur. Les condensateurs au papier ont quasiment disparu et leurs remplaçants sont soit des NOS (new-old stock) dont le vieillissement est calamiteux, et **surtout fournis sans aucune sorte de spécifications**, soit des capas à film plastique. L'immense majorité des condensateurs de remplacement sont actuellement des capas à film plastique, dont j'analyse ici la construction de quelques-uns des modèles les plus courants. Certains osent proposer des condensateurs céramiques en ne respectant pas les petits caractères, où il n'est pas interdit expressément de les noyer dans de l'époxy, mais en ne l'autorisant qu'avec un époxy de coefficient d'expansion thermique identique à celui de la céramique ce qui n'existe pas, même à des prix de l'industrie spatiale !, on détruit donc sa fiabilité et la durée de vie devient **aléatoire**. De plus leur brasure n'est quasiment autorisée qu'en machine spécialisée.

Je rappelle que les défaillances de l'électronique industrielle sont quasi-totalement dues à la périphérie (montage, brasage, températures, collages, câblages, stockage, humidité). Un composant actuel courant sort d'usine à 1 fit = failure in time = 1 défaut par 10 puissance 9 heures, mille millions d'heures, un rêve, quoi, mais le nombre de composants diminue d'autant la fiabilité de l'équipement. Un composant, même de qualité, perd souvent de sa fiabilité par méconnaissance par l'amateur des recommandations normatives actuelles (IPC 610, même la classe jouet actuel n'est pas atteinte) ou du constructeur. Certains montages d'amateur, faisant pourtant l'objet d'un commerce, dégradent la fiabilité d'un condensateur de 1 fit à quelques millions de fits notamment par l'usage inapproprié d'époxy : époxy souvent mal polymérisé (le mélange amateur peut mettre des mois/années à achever sa polymérisation), ou brasures non conformes. On entre dans le domaine du « tombé en marche » avec durée de fonctionnement **très** variable.

Le noyage dans l'époxy, outre l'exothermicité initiale de mélange, présente un CTE (coefficient de dilatation) important, non limité comme dans un PCB, et sa raideur¹⁴ importante force sur le condensateur. La polymérisation finale est mesurable seulement au DSC (calorimétrie différentielle) ou l'osmométrie, donc pas vraiment à la portée de l'amateur. La fin de polymérisation survient parfois après quelques mois/années, selon la façon de mélanger. Dans le cas de la mise dans le tube d'ancien condensateur papier pour des raisons esthétiques, on se trouve avec une retenue latérale forte (le CTE métal est très inférieur au CTE époxy massif, et la

14 Un peu de laideur dans cette belle rubrique (*)



force de dilatation est voisine de la force pour déformer l'époxy de la même dimension), ce qui, outre l'écrasement de la capa, provoque un ancrage important et les efforts dans l'axe de l'ancienne capa deviennent importants vers le fond, et importants aussi vers l'ancienne sortie, si on re-sertit cette sortie.

6.2 Analyses

Ces capas existent pour une tension de service nominale exprimée en DC (tension crête continue ou impulsionnelle) soit en AC (tension alternative, dont, **si le signal est sinusoïdal**, la tension crête est de $V_{ac} \times 1,414$).

Les capas sont testées par lots, en usine à des tensions largement supérieures à leur valeur faciale, et elles sont spécifiées pour leur auto-cicatrisation, plutôt une passivation de la zone détruite. La fréquence des pannes signalées fait soupçonner d'autres causes, ou un cumul de causes, notamment leur construction et la brutalisation (fortuite, bien sûr) sur des constructions fragiles.

Beaucoup utilisent des capas marquées **X2**, car elles semblent couvrir les gammes nécessaires. **NON**, la spécification X2, n'implique pas l'adaptation à un usage d'allumage. Toute la bardée de diplômes et de certifications (la multitude des symboles : CENEC, CQC, UL [le UR à l'envers américain] IEC, VDE, EN, ...) n'indique **QUE** l'aptitude à être montées sur le secteur **pour un usage antiparasite sur secteur !!**

Il est préférable de regarder la tenue en impulsions au fond des datasheets, non publiée évidemment par ceux dont la tenue est marginale.

On en trouve de deux valeurs de tensions 230 Vac (il n'y a plus en Europe, de 220 V depuis 1996 !) soit 325 Vdc minimum, avec son pendant triphasé de 400 Vac soit 565 Vdc minimum.

Cette bardée de qualifications, et tous les sigles imprimés légalement sur la capa n'excluent absolument pas qu'il y ait de bonnes, voire de **meilleures capas sans tous ces marquages**.

J'ai analysé ici la construction de plusieurs capas courantes dans le monde auto-moto-mobylette-solex.

Je mène en parallèle des essais d'endurance de capas :

un condensateur papier, type Solex/Mob, thermostaté à 85°C (donc courant de fuite 100 x celui à l'ambiante), dans un bain de paraffine (pénétration très faible d'humidité), sans cyclages thermiques, et monté en vérifiant l'**absence de toute contrainte mécanique**, en est à 60 000 km de fonctionnement continu à 60 km/h, en conditions électriques Solex, bobine Solex verte SEV et éclateur 5 mm (équivalent bougie 0,8 mm), donc avec une des surtensions de rupture parmi les plus fortes. Résultat : RAS ! Allumage parfait jusqu'à l'arrêt volontaire pour libérer le banc, avec un « mauvais type » de condensateur.

6.3 Tenue en tension

La capa, dans un allumage classique volant ou batterie, sert à limiter la surtension créée dans la bobine d'allumage par l'ouverture du rupteur, après que la bobine se soit chargée en énergie magnétisante. Elle sert aussi à limiter les étincelles au rupteur lors de son ouverture.

Au moment de l'ouverture du rupteur, le courant qui circulait alors dans la bobine continue, avec la même valeur d'intensité, pour un temps très faible. La tension à l'ouverture (surtension ou extra-courant de rupture), qui deviendrait infinie en l'absence de condensateur, est limitée et déphasée par la capa et prend l'allure approximative d'un demi-sinusoïde en fonction des inductances et capacitances résultantes

$$V_{max} = I_o \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{Valeur de tension max théorique}$$

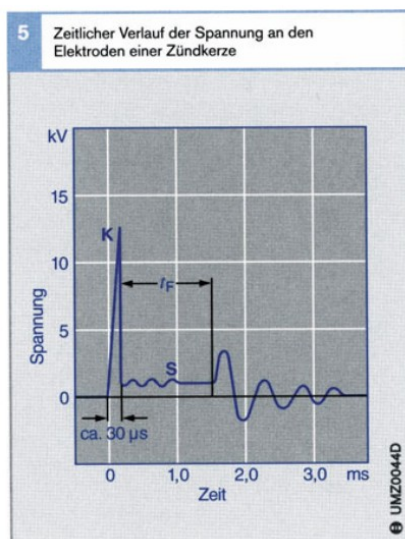
Cette tension est limitée par les fuites dans les isolants, et surtout par la tension du secondaire de la bobine. Elle atteint 100 à 400V.

La bobine est un transformateur qui transforme cette tension en très haute tension qui monte au

secondaire jusqu'à atteindre la tension d'amorçage de l'arc à la bougie (quelques dizaines de milliers de volts), elle s'écroule aussitôt à la valeur de la tension de conduction de l'étincelle, 800 à 1000V, jusqu'au désamorçage de l'étincelle.

Le transformateur marche dans les deux sens, avec une mutuelle (couplage plus ou moins fort du primaire sur le secondaire, et lycée de Versailles). Le secondaire doit être capable de résister et de s'adapter à ce court-circuit très brutal (quelques milliardièmes de seconde) que constitue le passage de la tension d'amorçage à la tension d'arc, c'est pourquoi le circuit magnétique n'est jamais refermé, et il existe toujours un entrefer même s'il est caché (à la différence des bobines pour CDI, allumages à décharge capacitive, nom dont on affuble, par abus de langage, tout allumage qui possède un tant soit peu d'électronique).

On a choisi depuis les années 20, une polarité négative à l'électrode centrale (avec une tension de batterie positive de batterie, qui permet une sensibilité supérieure de 15 % de la bougie, la bobine inverse classiquement la phase. Au milieu du XXème siècle, on a pu disposer d'allumages plus puissants, et commencer à adopter (cas typique de la 2 CV) l'allumage jumeaustatique sans distributeur. Le Solex et quelques cyclos ont un allumage par volant de puissance limite, et ne dérogent pas à cette règle, avec le cas particulier de la bobine verte SEV de Solex 3800 qui fonctionne sans inversion de phase, avec l'ouverture du rupteur lors d'une phase négative et décroissante du volant. Les volants permettaient aussi une limitation douce du régime moteur (de la vitesse), imposée par les Autorités, en étant calés pour perdre notablement de l'énergie d'allumage à haut régime.



(Bosch, Ottomotor management = contrôle des moteurs à essence, 2^{ème} ed)
étincelle typique de 1,5 mm

Bild 5
K Funkenkopf
S Funkenschwanz
I_F Funkendauer

Tensions **relevées** sur quelques bobines avec la même capa 0,22µF/630V

bobine	Éclateur 5 mm (= 0,6mm à la bougie Solex)	Éclateur 10 mm	Fil de bougie débranché	Surtension max	secondaire
Solex verte SEV	250V @6V	450V	500V	19 kV	
Solex rouge	130V @6V	220V	270V	17 kV	
Ducellier	280V @ 12V	290V	400V	26 kV	
PVL	300V @12V	400V	500V	23 kV	
Bobine Crayon Beru	100V @6V	150	220V	19 kV	
Wovi Mobylette	110V @6V	200V	250V	17 kV	

Voir les rapports de transformation dans le document : <http://www.hackerschicken.eu/www/electric/bobines.pdf>

Il vaut mieux inclure le cas fil de bougie débranché, résistance antiparasite coupée, , bougie

coupée, car la plus forte tension peut endommager la capa, voire la bobine (le transfo marche dans les deux sens).

On peut présumer que les capas de même tension utilisent le même polypropylène, en tous cas la même épaisseur.

Les défaillances en surtension des capas est un processus aléatoire progressif sur le long terme, fera éventuellement l'objet d'un essai longue durée. Il est quasiment impossible de mesurer la fuite ou le claquage des condensateurs film.

6.3.1 Capa TC-Tenta MKP : « le petit jaune »

« **1/5 - 4/5** », selon les goûts, la version « momie » est pure avec un glaçon (source : collègues du Bernique)

C'est un tasse-pisse et son double est un 102.

Isolant polypropylène (MKP)

Origine **Popcorn** (du forum râpeurs de pneus, sur les Solex) pour qui il semblait **NOK**
condensateur MKP = isolant polypropylène, MEX ne signifie pas ici "made in Mexico".



on voit bien les pieds d'écartement au PCB, pour une brasure normale

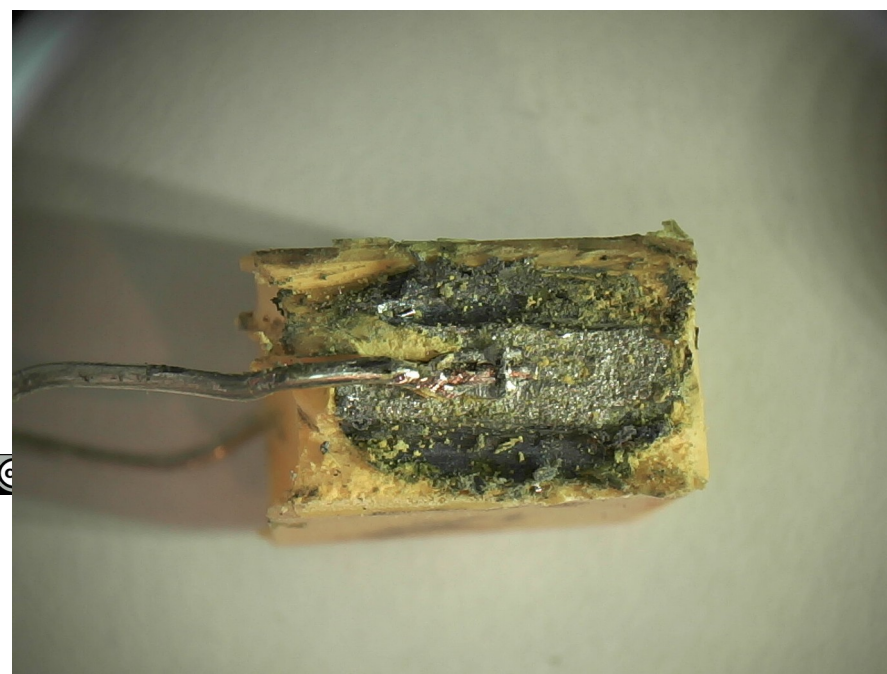
X2 signifie qu'il est apte, avec toutes les qualifications nécessaires, à un usage de **déparasitage secteur**, cela ne signifie absolument pas son aptitude à d'autres usages

275 Vac indique qu'il tient 390 Vdc

me demandez pas pourquoi il tient aussi 250 Vac ! Peut-être pour les UL classe C ?

Underwriters Laboratories (= le TÜV américain) devenu organisme certificateur principal aux USA, s'écrit UR à l'envers !!!

Pour vérifier la qualité de jonction fils-capac, il a fallu procéder à une analyse de construction, fatalement destructive.



Trace en prolongation du fil peut-être l'opérateur de fabrication Tenta a-t-il fait une première tentative ?

On voit la présence d'un

schoopage sur la surface des électrodes de la capa : la première spire est bien reliée par du métal jusqu'à la dernière spire.

Le fil de cuivre étamé est relié par une brasure métallique au schoopage, sur une longueur de 2mm environ, la brasure, dans son état actuel, est donc **sensible à la traction** éventuelle, surtout à chaud et si la capa a été soumise à une température / durée excessives et à l'humidité.

Tentative de détermination de la température de fusion de cette brasure par un fer à souder à température réglable, à partir de 150° : l'alliage de la brasure standard (au plomb) fond à 185°C, il ne s'agit donc certainement pas d'un alliage étain-plomb fondant à 183°C, **CE** schoopage ne fond pas à cette température, mais il faut opérer rapidement.

Le polypropylène est une résine thermoplastique de température de fusion de 145 à 175 °C.

le schoopage, compte tenu de la rapidité du procédé peut être fait à une cette température max voire légèrement supérieure, je doute qu'il s'agisse d'un schoopage à froid où les gouttes de métal projeté à grande vitesse fondent au contact de la cible, plutôt molle ici, c'est plutôt réservé à des grosses masses métalliques qu'on ne peut chauffer suffisamment : ponts, bateaux, fusées.

La brasure du fil, compte tenu de la masse du fil et de la brasure, ne doit pas dépasser 175°C au contact du polypropylène, tout comme la température atteinte pendant la brasure de l'assemblage sur le PCB. C'est pourquoi la distance brasure PCB – brasure schoopage est **critique**, on place souvent des pieds (extensions d'écartement du boîtier), et surtout on limite la durée de brasage de 3 à 10 secondes, si c'est 10 s, c'est signe possible d'une construction interne plus solide. Pendant la brasure, externe, il faut considérer la déformation du boîtier qui se déforme de manière permanente, car l'époxy du boîtier est un thermodurcissable à température de transition vitreuse Tg (ramollissement relatif, rien à voir avec la fusion d'un thermoplastique) de l'ordre de 175°C, au-delà de laquelle la résine se sublime (= se volatilise), créant une fissure le long du fil.

6.3.2 Effets de l'eau

Cette fissure, même très fine, se remplit et se vide d'air au gré des variations thermiques.

De plus, pour un volume d'air considéré, et donc la **même** masse d'eau, l'humidité relative varie considérablement : un volume fixe d'air saturé en eau à 20°C n'a plus que 30 % d'humidité à 30°C, et à 15°C, l'air reste saturé et 4 g/m³ se retrouvent en eau liquide.

Quantité maximale de vapeur d'eau contenue dans une particule d'air en fonction de la température								
Température de l'air (en °C)	- 10	- 5	0	5	10	15	20	30
Quantité maximale de vapeur d'eau possible (en g/m ³)	2	3	4,5	6,5	9,5	13	17	30

(météo-France)

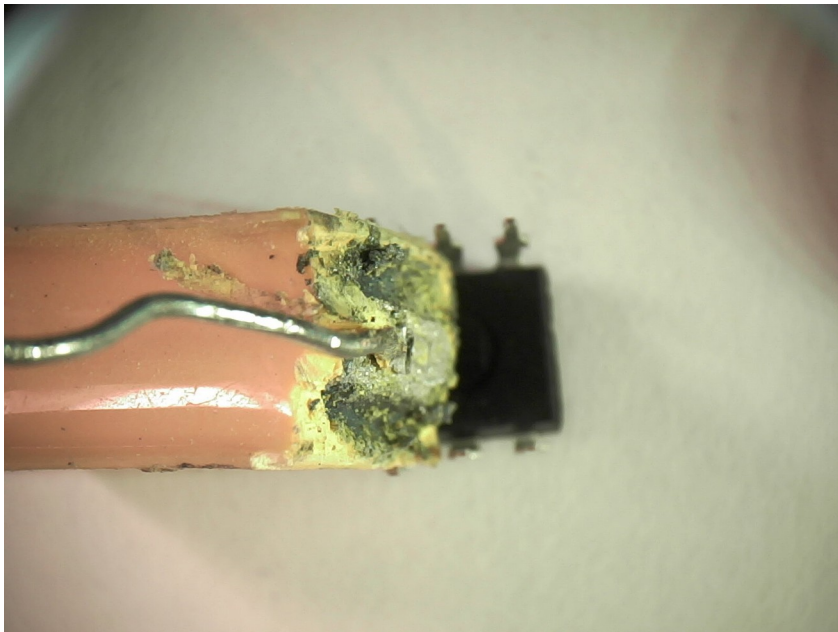
Dès qu'il y a fissure, il y aura présence d'eau vapeur ou liquide dans la fissure, avec ses conséquences de **corrosion**.

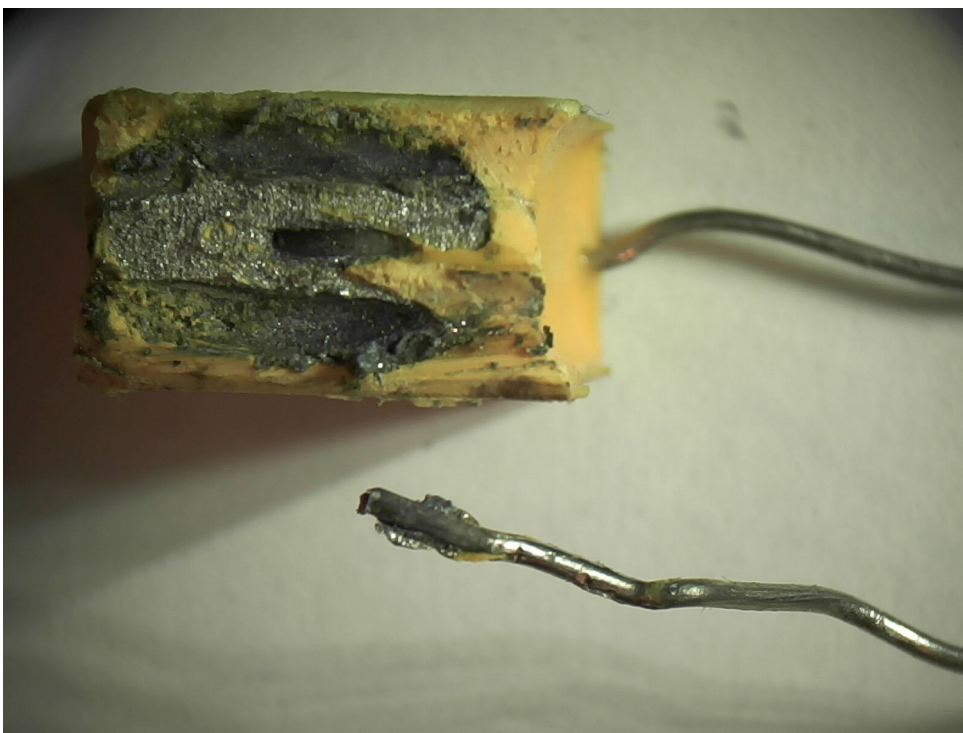


On voit la fissure de séparation partielle due à la panne de Popcorn ou à mon démontage ?
On voit aussi la différence de nature du schoopage et de la brasure fil -schoopage

longueur de brasure 2 mm

il existe des capas où le fil court sur une grande longueur de la capa et le schoopage est fait sur toute la longueur de la capa, sans brasure fil - schoopage, voir capa Rifa § 3.7 et §6.3.3





En séparant le fil, **trop facilement**, on constate:

côté fil

- le fil est **très** oxydé !
- Les "ailettes" de brasure sans plomb viennent bien avec le fil, mais n'ont jamais mouillé le schoopage = mauvaise qualité de brasure

côté capa

- le fil a été enfoncé "à la bourrin" dans le condensateur
- le trou est **très** oxydé
- il n'y a absolument pas de trace d'arrachement des ailettes, donc pas d'évidence de tenue
- aucune trace de mouillage de la brasure sur le schoopage! Ça tenait essentiellement par la pression du boîtier (= sensible à la température et aux vibrations)
- pas de dos-d'âne dans l'époxy pour la tenue à la traction, seul un angle aide ici
- épaisseur d'époxy à la base = 1,1 mm



l'autre électrode n'a pas le même aspect on voit que le formage du fil cuivre a été fait avec le résidu de coupure placé différemment (le fil s'écarte du schoopage alors que de l'autre côté, il pénètre dedans)

la longueur de brasure sur le schoopage est de l'ordre de 2mm

C'est encore plus criant au vrai microscope binoculaire (on dirait μ scoope stéréo de nos jours).

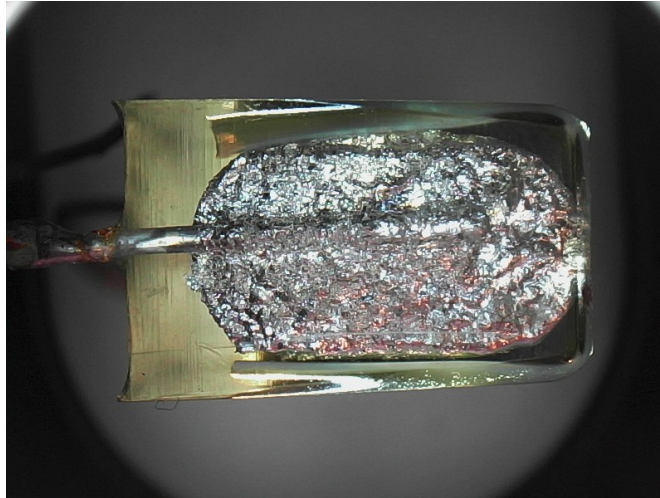
Il n'y a pas de dos-d'âne, seulement un angle double à l'intérieur de l'époxy. S'il y a traction et que l'adhérence fil-époxy n'est plus parfaite (il suffit d'un échauffement fort ou prolongé pour faire sublimer l'époxy, propriété de base des thermodurcissables), la force résultante de la traction va tendre à écarter le fil du schoopage tout comme la dilatation de l'époxy entre le schoopage et la broche de sortie en présence d'une faible longueur de brasure sur le schoopage.

dernier essai : schoopage du condensateur rebrassé à la main à la SnPb 185°C, fer à 300°C
Là, ça marche encore !

Pour conclure en toute rigueur, il me faudra ouvrir une capa neuve.

6.3.3 Comparaison Rifa

Comparaison avec une capa ancienne des années 70, d'un fabricant réputé, Rifa : le fil préformé en U (pour mieux résister à l'arrachement) est ancré dans la capa et le schoopage recouvre le tout, pas de brasure complémentaire. L'époxy d'enrobage transparent recouvre le tout, Rifa n'avait rien à cacher.



6.3.4 Conclusions sur le Tenta :

Il semblait NOK à Popcorn, maintenant il l'est !

CE condensateur Tenta est mal fabriqué !

Bien que le schoopage tienne assez bien

Je rappelle à cette occasion que la vapeur d'eau est un gaz **très** pénétrant (le volume moléculaire est inférieur au volume de l'oxygène (du di-oxygène en fait, à l'état naturel = O_2 , la molécule est quasiment deux fois plus grosse que celle de la vapeur d'eau). Rappelons aussi que l'époxy n'est absolument pas une protection à long terme contre la pénétration d'humidité en raison des fissures de retrait et de variation thermique, et de sa « porosité » naturelle, qui laisse passer la vapeur jusqu'à « une certaine » concentration.

Tel qu'il est construit, ce condensateur est très sensible à la traction radiale sur les broches, surtout à chaud, et aussi aux vibrations.

Dès que le fil a été brutalisé, la jonction epoxy de remplissage - fil n'est plus assurée, c'est la voie d'entrée assurée de l'humidité.

Il s'agit peut-être d'un « cas d'espèce » terme affectueux chez Ariane quand on ne sait pas l'origine de la panne (la « root cause ») ou qu'on choisit délibérément de la boucler !, syndrome des trois singes

Je vais en analyser d'autres, mais Popcorn ne roulera probablement plus avec cette capa.

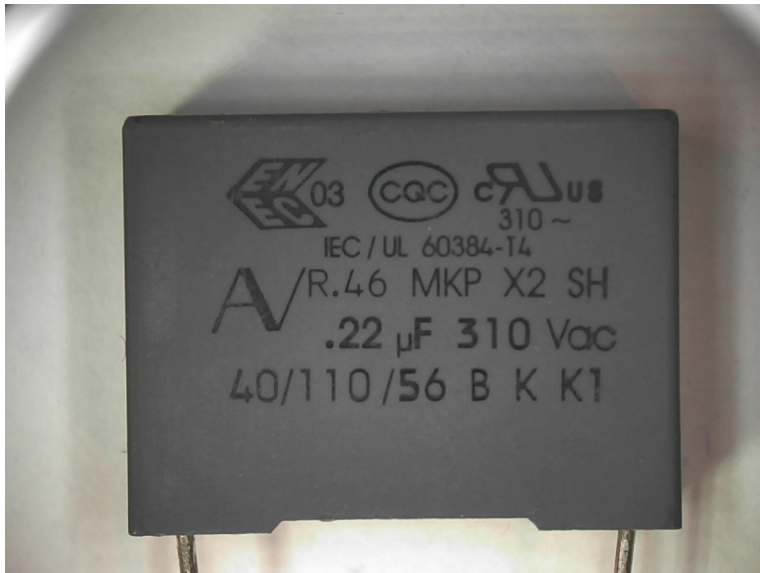
6.3.5 Défauts génériques du Tenta

- Brasure du fil sur une longueur faible : 2 mm
- mauvais outil de coupe du fil, côté internes
- mauvaise tenue de la brasure sur le schoopage
- pas de dos-d'âne pour la tenue à l'arrachement mais présence d'époxy entre le fil et le schoopage

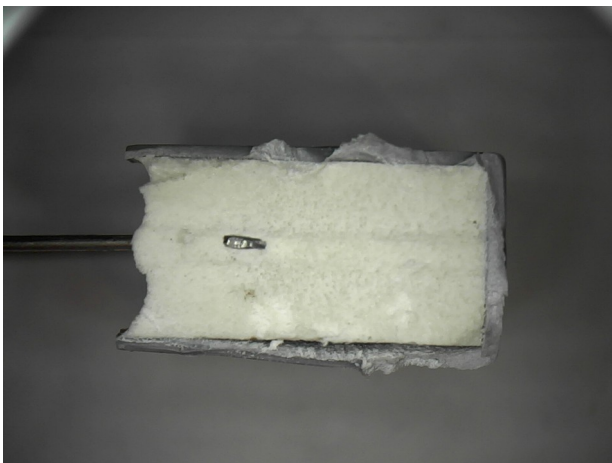
6.3.6 Capa Kemet R46, « le petit gris »

Petit gris de Bourgogne (fabrication chinoise)
capa neuve d'origine Bernique

18 x 7,5 x 14 mm



Électrodes de sortie diamètre 0,56 mm
longueur de la brasure interne 3 mm



on voit le passage à la presse pour calibrer la largeur de la capa
et assurer une pénétration contrôlée. Mais sensible à la pression extérieure (noyage époxy)





diamètre fil 0,56 mm (meilleur pour la tenue aux agressions mécaniques),

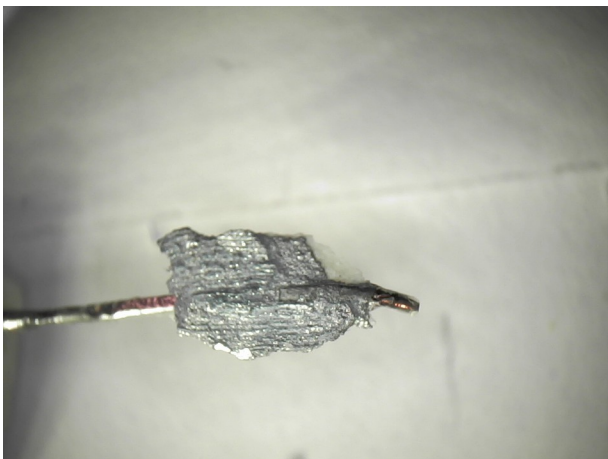
6.3.7 caractéristiques du petit gris

- longueur de brasure sur le schoopage 4 mm.
- Il est spécifié pour un stockage de moyenne annuelle à 70° d'humidité et à 35°C max.
- temps de brasure manuelle 3 s
- pas de specs impulsions
- endurance 1000 h à 1,25 Vac plus 1 surtension/heure 1000Vac pendant 0,1s à 85 % d'humidité
- présence d'un dos-d'âne du fil, dans l'époxy (pas un défaut mais un avantage)
- Longueur de retenue par l'époxy 7,5 mm

avec le dos d'âne et la longueur de tenue dans l'époxy, il devrait y avoir une bonne tenue à l'arrachage

6.3.8 essais de traction

La capa tient 15kg en traction sur le fil jusqu'à séparation du schoopage.
Cette capa a une brasure de 6,5mm sur le schoopage,
grosse différence avec la précédente



La tenue du fil est très bonne !

Mais l'épaisseur du schoopage est faible : tenue au pliage des broches trop près de la capa = limite

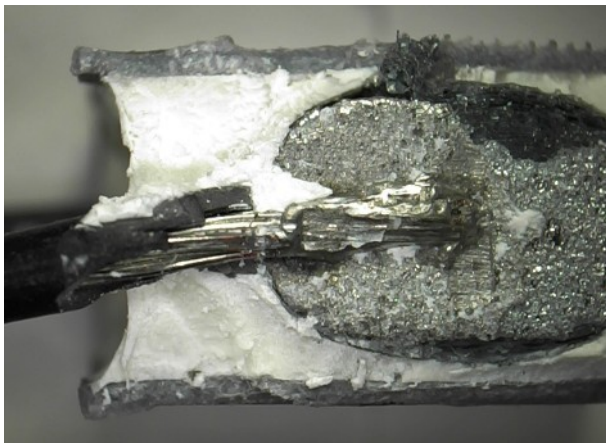
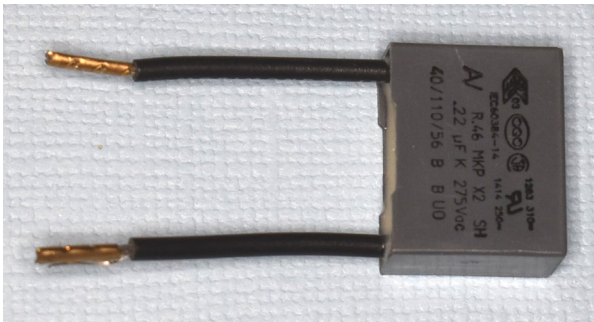
6.4 Kemet R46 à fils souples

Obtenus chez a-mazon, je vous en donne les coordonnées car il n'est pas forcément facile à approvisionner chez votre épiciers habituel.

https://www.amazon.fr/MKP-Condensateur-rad-22%C2%B5F-R46K13220YCM1K-220nF/dp/B00MWQYU92/ref=sr_1_fkmr0_1?_mk_fr_FR=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=MKP+condensateur+rad+0.22%C2%B5F+R46k13220&qid=1566394049&s=gateway&sr=8-1-fkmr0

dimensions 18 x 15 x 8,5, un poil plus épais que le petit gris

il est vendu, à 0,47 piastres / pièce, comme «Entsörkondensator» = condensateur d'antiparasitage, ce qui est bien le but principal d'un X2.



c'est le frère du petit gris, avec une construction interne différente et une douille sertie pour bornier.

longueur de brasure sur le schoopage 5 mm (contre 6,5 mm pour le petit gris ordinaire), c'est le fil multibrins qui est directement brasé sur le schoopage.

absence de dos-d'âne, qui donc résisterait moins bien à la traction (à brasure identique), mais beaucoup mieux à la flexion que le petit gris. Le fil de sortie est maintenu sur 3,5 mm par de l'époxy avant de sortir.

les autres caractéristiques son identiques .

Il tient 390 V soit suffisamment pour un usage Solex/cyclo. C'est le compromis que je recommande pour un usage normal par le quidam simple, si on ne tire pas sur ses fils au montage.

6.4.1 ERO F1774 le gros gris à longs fils

le gros gris clair, à longs fils (10cm)



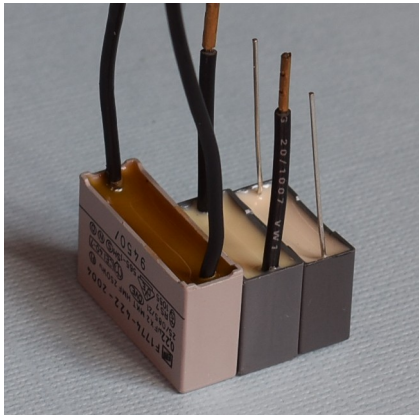
Le condensateur dans les véhicules vintage

v7.1

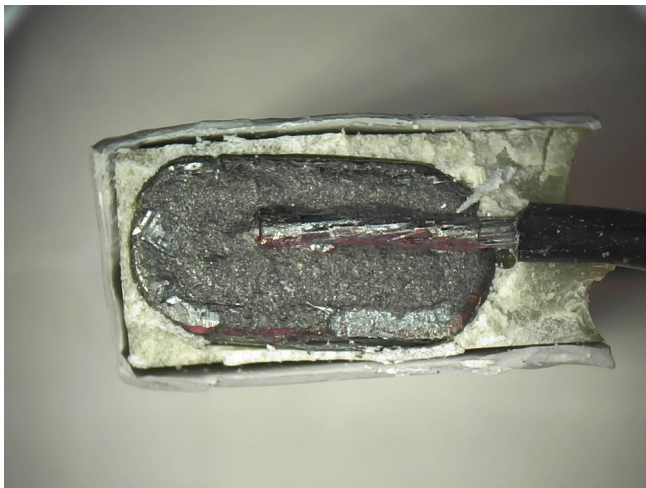
26,5 x 16,5 x 8 mm 250 Vac

ne se trouve pas facilement à l'épicerie locale, j'ai trouvé les miens chez Roederstein/Vishay à 0,9 piastres :

<https://www.ebay.de/itm/Ero-Entstoer-Kondensator-MKT-X2-0-22-uF-F-250V-VDE-mit-Litze-Netzfilter-220nF-/223010748086>



il répond à de nombreuses normes, uniquement européennes plus difficiles, cocorico, que les UL et affidés, d'où sa taille : VDE, ÖVE, S, N, D tout en étant X2 et 0,22 μ F 250 Vac

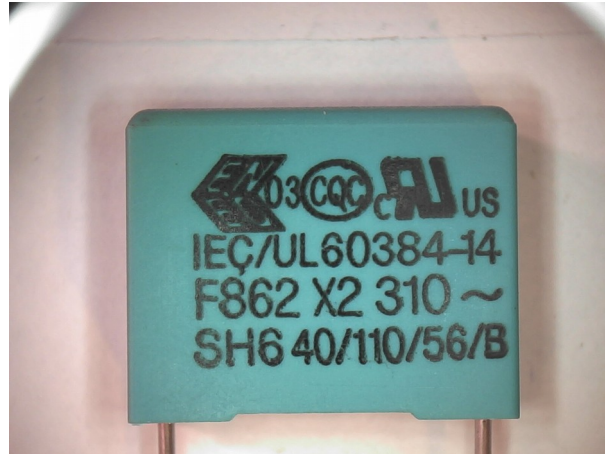


brasure sur le schoopage = 8 mm
tenue dans l'époxy 1,9 mm
Ça, c'est de la bonne mécanique allemande !

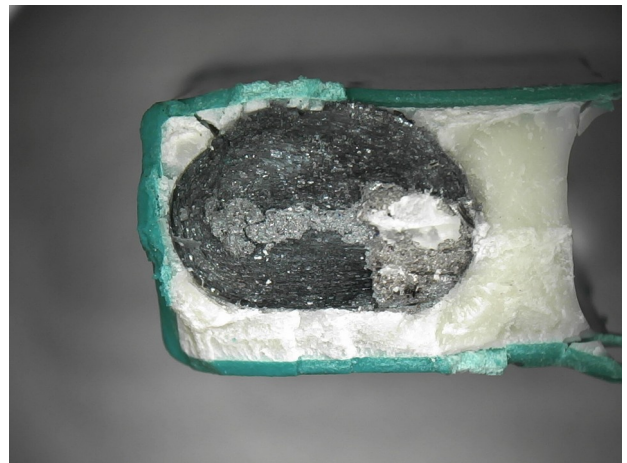


6.4.2 Kemet F862, « le petit vert »

dit l'absinthe, d'origine Bernique



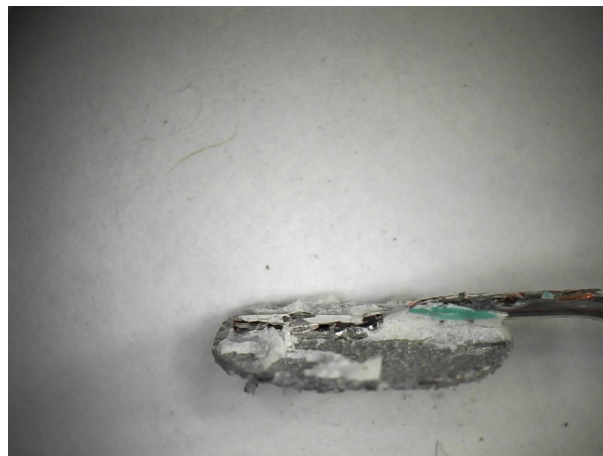
Fil diamètre 0,81 mm, longueur brasure interne 4,5 mm
dimensions 18 x 14,5 x 8,5 mm pas des broches 15 mm



le schoopage, épais, 0,7 mm, ne tient pas sur l'extrémité des spires d'aluminium (cas d'espèce ou erreur du process?) maintenu par la mince couche d'époxy et le boîtier thermoplastique.

la brasure du fil sur le schoopage fait 4,5 mm de longueur
 tenue du fil dans l'époxy de la base = 6mm, mais le dos d'âne ne fait pas l'amplitude du diamètre
 de fil = tenue uniquement par le collage, sensible à la durée de brasage
 brasure manuelle autorisée : 3 s

le film polypropylène est one-sided

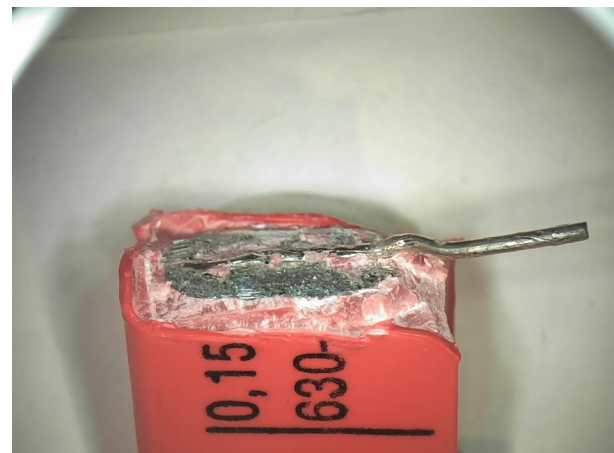
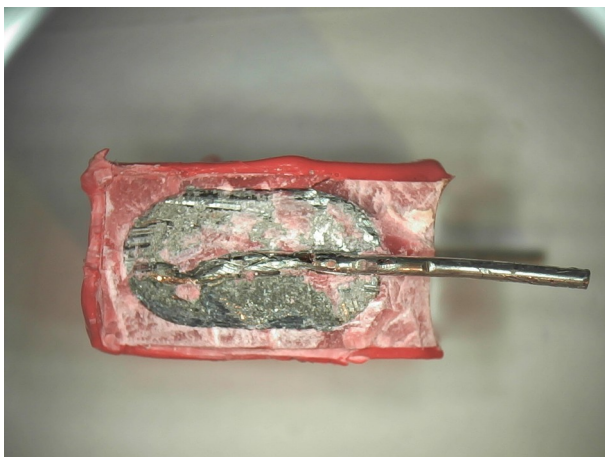


6.4.3 caractéristiques génériques du petit vert

- La brasure tient bien sur le schoopage, le schoopage ne tient pas à l'électrode, il est épais et se sépare trop facilement du condensateur, par exemple lors des cycles thermiques de l'époxy d'enrobage
- longueur de brasure 4 mm
- pas de specs en impulsions
- temps de brasure manuelle 3 s
- endurance 1000 h 40°C 93 % RH à 1,00 Vac
- endurance 500h 85°C 85 % RH
- pas de dos-d'âne pour la traction
- tenue du fil dans l'époxy de la base = 6mm

6.4.4 capa Wima MKP4, le petit rouge

Capa neuve, collection Zibuth, commence la série des capas de luxe, mais de performances élevées





Diamètre de fil 0,81 mm longueur de brasure 8 mm, boucle en dos-d'âne en sortie fil
durée de vie 300 000 h, 2fits, impulsions 250V/ μ s
longueur tenue base 6,5 mm

6.4.5 essai de traction

La rupture s'est faite au niveau du fil de sortie à 9kg de traction, rupture du fil, la brasure au schoopage (8mm) a donc bien tenu.

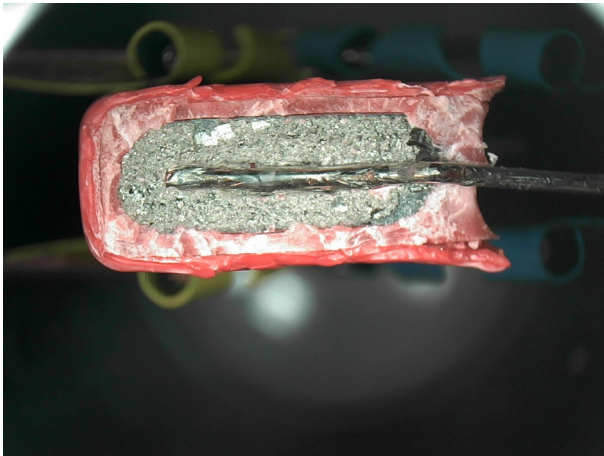
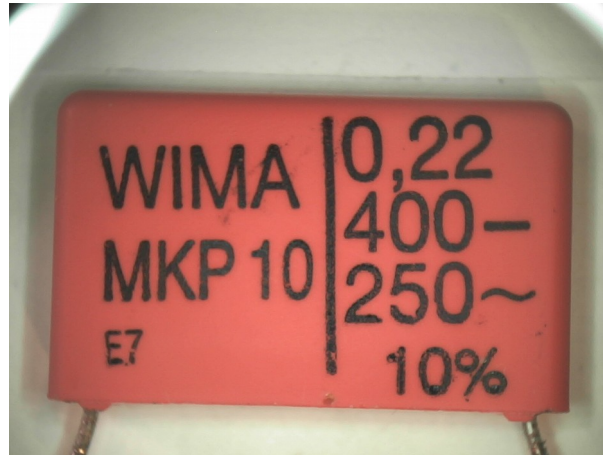


6.4.6 Capa Wima MKP10,

le gros rouge qui tache

Capa neuve, collection Zibuth

c'est la seule des capas essayées à disposer de film métallisé en double face, avec un film neutre entre deux spires, construction réputée très plus solide.



Capa neuve, jamais montée
j'ai forcé pour enlever l'époxy qui tient achtement fort ! d'où la fissure, de ma responsabilité
Mais la brasure tient, comme le schoopage

Sa fiabilité annoncée est de 300 000 heures, environ 25 ans

tenue aux impulsions (pour capa 630V) 1150V/ μ s

Diamètre fil 0,81 mm longueur de brasure 10 mm, boucle anti-arrachement en dos-d'âne à la sortie du fil dans 4,5 mm jusqu'à la base.

La différence de construction est la longueur de brasure sur le schoopage (MKP 8mm, MKP10 10 mm), qui associée au dos-d'âne en sortie de capa permet au MKP10 d'oser publier une spec de traction longitudinale : 0,98 kg, mais ça tient bien plus.

un dos-d'âne qui présente DEUX angles s'opposant à la traction

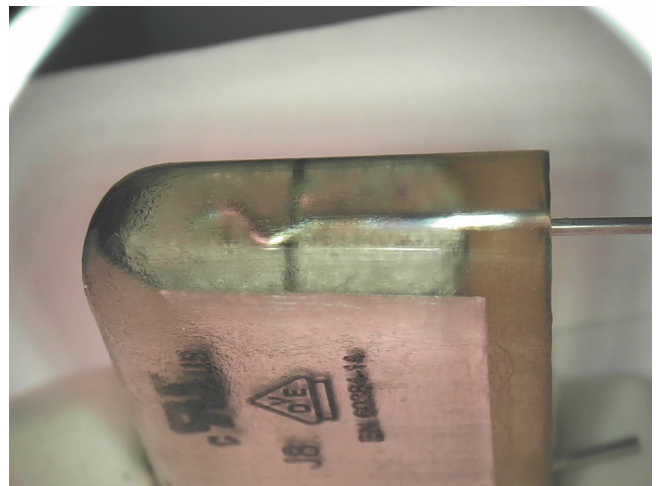
Ce n'est pas le nombre de sigles imprimés sur une capa qui en fait la qualité et l'adéquation à un allumage !

6.4.7 Capa WIMA MP3-X2

Capa papier ! **gros** module 10 x 22 x 27, poids lourd : 8g

longueur de brasure du schoopage = 12mm, ça devrait tenir !

Longueur de tenue dans l'époxy de pied = 6 mm



c'est une capa X2, VDE et EN60384-14

tenue impulsionnelle 750V/ μ s

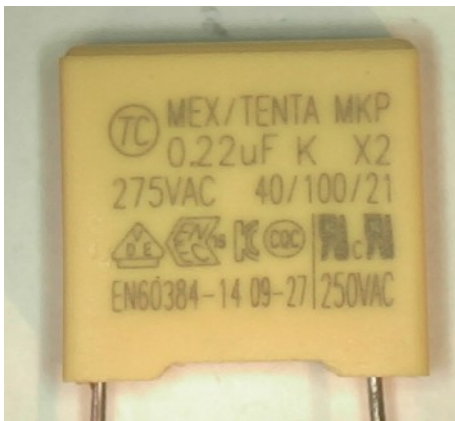
si elle est bien montée, sans stress thermique ni mécanique, on peut la considérer comme « étanche » et donc durable

6.4.8 TC tenta MKP, le tout petit jaune

13 x 12 x 6 mm plus petit que le précédent, marquage grisé sans contraste, seul le marquage du dessus est bien gravé

longueur brasage 4,5 mm, largeur à peine la largeur du fil, ne tient donc aucun effort latéral, PCB impératif !

Il est monté avec le même isolant (polypropylène MKP), fatalement moins épais mais avec le même marquage de tension : il devrait moins bien tenir les surtensions. Respecter encore mieux les tensions max.



longueur brasure à la base 2,5 mm seulement, sans aucun angle pour accrocher à l'époxy !



côté droit



côté gauche

tenue à la traction longitudinale 10 kg, essai « condensateur vierge, première traction à froid »
tenue à la traction latérale époxy (tenue de la brasure du schoopage) quelque dizaines de grammes
pas de dos d'âne, donc même si l'époxy de pied est long, il n'y a pas d'accroche dès qu'il a été chauffé.

6.4.9 Wima MKS4, un petit canon de rouge



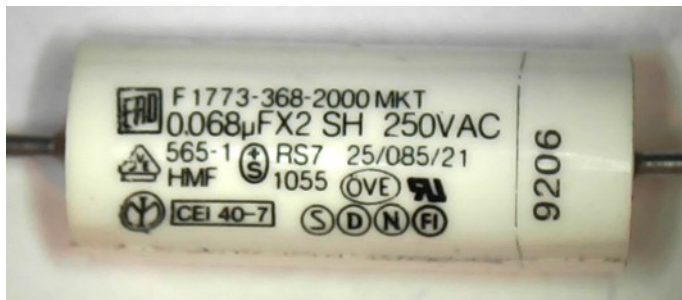
18 x 11 x 5 mm

attention, il ne tient que 250Vdc, voir tableau des surtensions bobines

6.4.10 capa axiale ERO X2

Capa neuve, collection Zibuth

isolant polyester



Le fil de sortie est tenu par une fine couche d'époxy accrochée à l'enrobage bobiné.

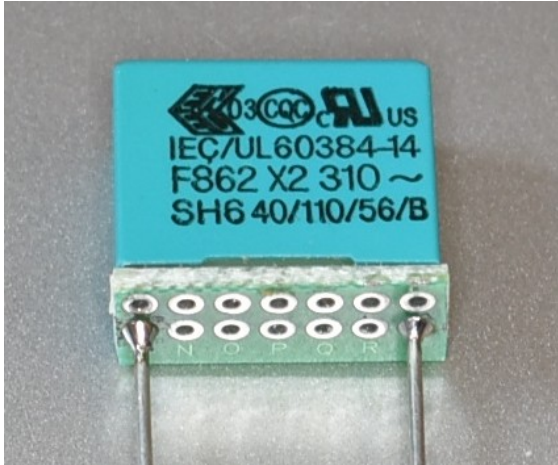
Il me semble plus fragile que les condensateurs radiaux vus plus haut, notamment pour la pénétration d'humidité et le peu d'époxy de retenue mécanique.

ERO était une division de Roederstein, absorbé par Vishay.

(Cette capa est de valeur trop faible pour un allumage)

6.4.11 Montage recommandé des capas

Synthèse des fournisseurs et prise en compte des erreurs vues, hors capa à fils multibrins si vous voulez à tout prix monter une autre capa.



Montage recommandé pour toute capa film, on place le nouveau fil autour de la broche déjà brasée, qu'on coupe ensuite

toute torture devient autorisée sur le fil en « sortie » du PCB

Le condensateur est brasé à l'étain-plomb (interdit pour les industriels-commerçants, autorisé pour les particuliers et en réparation) sur une plaquette époxy. Pas de plaquette en bakélite, mais de la bonne plaquette en époxy, avec trous métallisés et pastille sur les deux faces par exemple <https://www.ebay.com/itm/5PCS-Double-Side-Prototype-PCB-Tinned-Universal-Breadboard-5x7-cm-50mmx70mm-FR4/200932697658?hash=item2ec885a63a:g:e2wAAOSw4apbRrru> à 1,99\$ USD le lot, suffit pour de nombreuses capas.

Les broches sont coupées au ras des brasures et on y brase un fil isolé flexible pour les liaisons électriques. La distance d'isolement est largement suffisante à sec, mais vu les conditions de stockage de certains, je recommande de passer, avant montage, sur les deux faces et les côtés, le doigt trempé dans du **silicone transparent de salle de bains**, surtout pas d'araldite (cassante après la fin de polymérisation totale, qui de plus n'est pas totalement imperméable à la vapeur d'eau, et qui peut se fissurer).

Les condensateurs axiaux demandent encore plus de précautions et DOIVENT être cambrés en les tenant par une petite pince ronde ou demi-ronde placée entre le corps de la capa et le point de cambrure, la capa ne touchant rien d'autre. L'idéal est de couper le fil à 5 mm du boîtier, et d'y braser (brasure au plomb) un fil flexible.

Attention à ne pas avoir la fausse bonne idée de coller la capa à la plaquette par de l'époxy : en cyclages thermiques l'époxy qui se dilate bien plus que le cuivre et en volume plus important que celui-ci, va exercer une force de traction importante sur le fil de cuivre avec ses conséquences funestes. La capa MPK typique est seulement prévue pour être brasée sur un PCB avec ses pieds d'écartement, excroissances calibrées de thermoplastique « mou ».

6.5 Conclusions générales sur la construction des capas film

La construction de plusieurs condensateurs populaires laisse planer des doutes sur leur tenue à long terme **et sur les dommages occasionnés par des manipulations peu recommandables**. C'est sans doute la cause majeure des défaillances de condensateurs de qualité pourtant fiables en sortie d'usine, loin devant les défaillances électriques, autocicatrisables dans de nombreux cas, et les essais de tenue aux surtensions en fabrication vont dans ce sens, la fiabilité en sortie d'usine est de moins de 5 fits.

Pour moi, un condensateur de qualité et bien monté doit se faire totalement oublier pour toute la vie de l'engin

On fait fonctionner **ici** les capas en impulsions, toutes ne sont pas spécifiées pour cela (quand c'est X2, c'est pas plus que de l'antiparasitage).

La tenue en traction longitudinale est assurée (relativement) par la présence d'angles dans

l'époxy, surtout si la longueur dans l'époxy de pied est grande, mais la tenue en traction angulaire n'est jamais assurée. Le montage sur un petit PCB permet de minimiser fortement la transmission des tortures externes au cœur de la capa.

La longueur dans l'époxy jusqu'à la base de la capa participe grandement à la tenue à l'humidité. il est important de sensibiliser les utilisateurs au fait, qu'en cas de changement de bobine, il faut bien vérifier l'adaptation du condensateur (en particulier, le rapport de transformation doit rester voisin).

6.6 Classement des capas, dans l'ordre décroissant de qualité de construction :

capa	L brasure schoopage coeff 3	Dos d'âne/ angles coeff 2	Epoxy jusqu'à base coeff 3	Résultat global	Ordre qualité
Wima MKP4	8 mm +4	2 +2	6,5 mm +4	28	1
Wima MKP10	10 mm +5	2 +2	4,5 mm +3	28	1
Kemet R46	4 mm +2	2 +3	7,5 mm +4	18	2 si montage plaquette
Kemet R46 fils	6,5 mm +3	0 0	3,5 mm +2	15	3 recommandé
Kemet F863 vert	4,5 mm +2	1 0	6 mm +3	15	3
Kemet R46 longs fils	8 mm +4	0 0	1,9 mm +1	15	3
TC Tenta new	4,5 mm +2	0 -1	4 mm +3	13	4
Tenta Popcorn	2 mm -2	1 0	0 -1	-6	5

La pondération utilisée insiste sur la longueur de brasure sur le schoopage, sur la présence d'un déport > 1 diamètre de broche, plus pour l'ancrage dans l'époxy que pour le découplage fil-schoopage.

6.7 Quelques montages mécaniques intéressants



Source Bernique

Ce montage permet un découplage radial intéressant (raideur mini), **à condition que** la brasure soit faite après vissage de la base, ou, si elle préexiste, de ne surtout pas forcer angulairement sur la barre de liaison : raideur très forte, plutôt oblonguier le trou.



Source Bernique : une capa film montée avec de la mousse, sans epoxy

Cette barrette est intéressante pour son bon découplage radial, si présente d'origine sur une capa papier, il faut toutefois ne pas forcer angulairement, plutôt oblonguier le trou. Ici la mousse (intéressante) et la brasure latérale indiquent un bon upgrade de la techno (papier $\Rightarrow$ film) mais la brasure cachée au fond du boîtier est à soigner pour éviter le stress à la fermeture (présence d'une boucle de relaxation de contraintes et d'augmentation de longueur de distance capa-brasure).

6.8 Appel au peuple

Je peux me procurer sans problème des capas neuves, mais moins facilement des capas ayant défailli.

Si vous disposez de capas film, HS ou mises en doute, merci de me les faire parvenir via Bernique du forum rap'n pneus, pour analyse en cohérence avec les capas ici testées.

Si vous les avez déjà ouvertes, merci de me faire parvenir les photos et conclusions (auteur bien entendu cité, selon mes habitudes).

7 Valeurs classiques des capas

Sur le site du motobécane club de france, l'zr a donné des valeurs de condensateurs sur différentes machines :

Honda 125 K2 à K5 → 0,3

Yamaha 125 1E7 → 0,15

Alfasud → 0,2

Franco Morini → 0,22

Fiat Panda 34-45 → 0,25

Fiat 130-131-132 → 0,2-0,25

Citroën GS → 0,25-0,3

Briggs & Stratton → 0,18-0,24

briansolex 0,18 à 0,25, nominal 0,2µF 500V DC (bobine FAGY)

Solex 1947-49 → 0,19 (Bernique & al)

<http://jean.peugeotp55c.perso.sfr.fr/allumage.htm> donne :

Condensateur pour volant magnétique de 0.20 µF à 0.30 µF

Condensateur pour batterie / bobine de 0.20 µF à 0.25 µF

Condensateur pour magnéto de 0.25 µF à 0.40 µF

L'Amicale Salmson donne :

- 0,20 à 0,30 microfarad pour un allumage par batterie.

- 0,15 à 0,25 microfarad pour un allumage par magnéto.

<http://electronics-diy.com/esr-meter.php> donne des valeurs attendues de capas chimiques, la variation est hénorme entre les bons et les mauvais et de plus, dépendante de la tension de service alors que Bermascope dit que la capa doit avoir moins d'1 Ω et qu'il peut le lire !

Capacitance	Capacitor Quality				
uF	Very high	High	Normal	Low	Very low
1.0	2.000	5.000	12.500	31.250	78.125
2.2	1.125	2.812	7.030	17.574	43.936

Pour <http://www.capacitorlab.com/esr-meter/index.htm> l'ESR d'un 1µF / 250V est de 20Ω

7.1 Valeurs normalisées

Il y a quelques décades, un fabricant de matériel électrique pouvait demander la valeur de capacité qu'il souhaitait, aujourd'hui ça reste toujours possible, à prix fort, mais seulement s'il paye quelques centaines de millions de pièces. On s'en tient donc (souvent) aux valeurs standard industrielles. Ces valeurs sont en relation avec la précision attendue des condensateurs : on va

couvrir une décade (passage d'une valeur de base à dix fois cette valeur) avec quelques valeurs seulement qui se « raboutent ». Si on admet une erreur max de 20 %, la valeur initiale de la décade est par exemple de 100 nF, sa tolérance peut l'amener à 120 nF (100 + 20%), la valeur suivante est de 150 nF dont la tolérance inférieure arrive à 120 nF et la tolérance supérieure arrive à 180 nF. La valeur suivante est 220 nF car $220 - 20\% = 176\text{nF}$, allez, 180 quoi. La série proposée est alors la série E6 à 20 %. C'est une série de valeurs de raison $\sqrt[n]{10}$ dite **série de Renard** où 10 est la base (valeur initiale multipliée par 10 pour une décade, multipliée par 2 pour une octave) et n le nombre de valeurs. Il suffit de multiplier une valeur par la raison pour obtenir la valeur suivante. La **série E6** donne une raison de 1,47 et ses valeurs sont :

- 100 nF,
- 147 nF (appelée 150 nF),
- 216 nF (appelée 220 nF),
- 317 nF (appelée 330 nF),
- 466 nF (appelée 470 nF),
- 686 nF (appelée 680 nF)
- et 1009 nF, et on recommence la décade suivante, en se réalignant sur une valeur ronde : 1µF.

La série E96 propose 96 valeurs d'éléments à 1 % de tolérance, pour couvrir une octave.

A remarquer qu'il existe une série très connue, qui décrit une octave en douze éléments (de raison : $\sqrt[12]{2}$, racine douzième de deux), la gamme de musique tempérée, proposée par le français Marin Mersenne et popularisée par Bach.

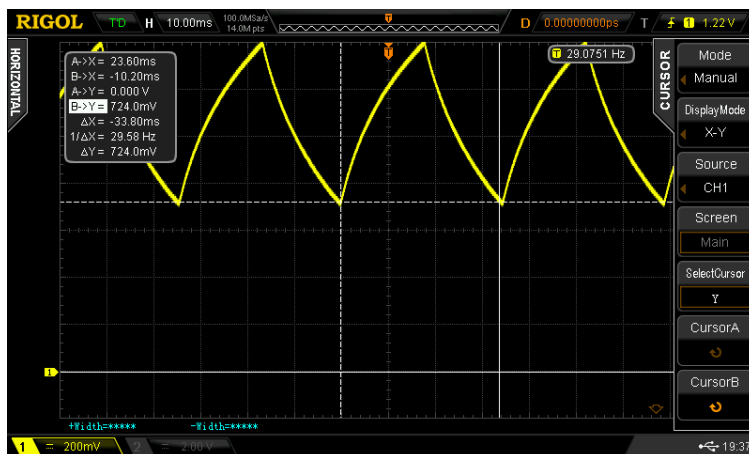
8 Capacimètre

Il mesure la capacité du condensateur, fouchtra !

Pour mesurer la capacité du condensateur, il existe de nombreux montages et techniques.

8.1 le Voltcraft VC850

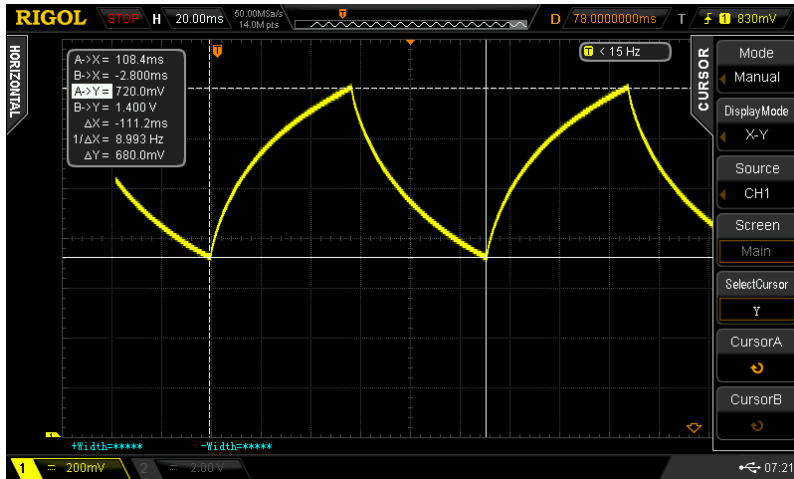
mesure la fréquence donnée par la charge/décharge entre deux seuils (comme le célèbre 555) la charge et la décharge sont exponentielles, générées par une résistance.



capa 200nF 1 %

lecture 207 nF

Il ne change pas de comportement avec une capa pourrie (0,22 μ F devenue 1,4 μ F, après vieillissement de 70 ans)

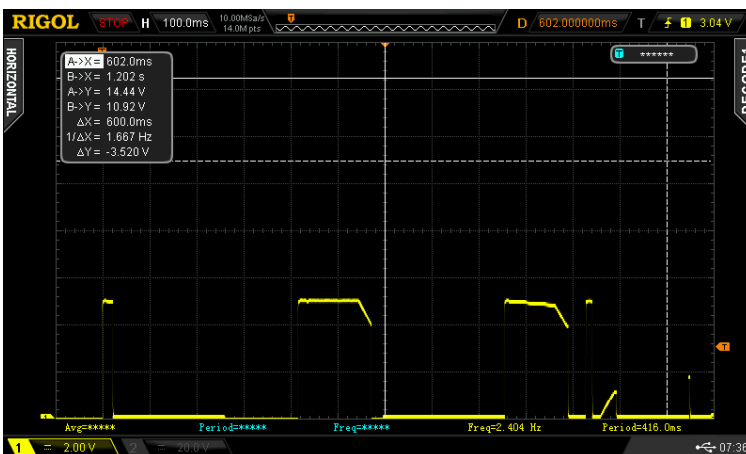


capa 2 : 1,4 μ F

lecture 1,488 μ F

8.2 Multimètre TC1

c'est un petit multimètre chinois (mais conçu par un Allemand), qui commence à se répandre et qui mesure V, L, C, ESR, et autres



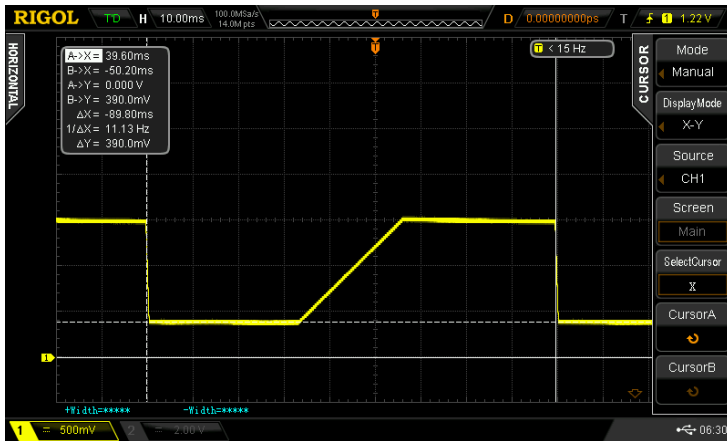
La mesure effective de la capacité est le petit triangle (mesure à courant constant).

On peut comprendre son fonctionnement comme suit :

- les quatre premières impulsions serviraient à identifier le composant
- le triangle correspond à la mesure de la capacité (change nettement de pente pour un autre condensateur). Le condensateur est chargé à courant constant jusqu'à 0,5V.
- La petite impulsion suivante pourrait servir à la mesure de l'ESR, on va vérifier

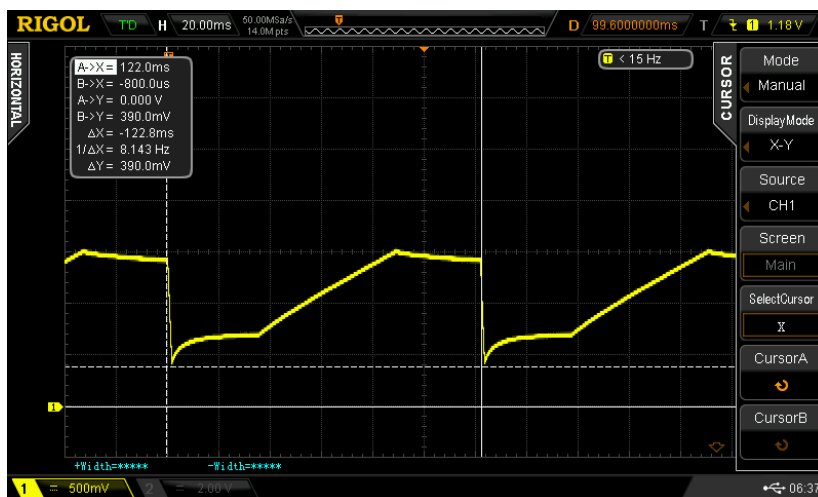
8.3 Rigol DM3058

le multimètre de table **Rigol DM3058** (200000points) procède par montée de la tension via une résistance à un niveau de départ, puis charge à courant constant et temps mesuré, puis maintien à la tension finale via une résistance



capa 200nF 1 %

lecture 214,7 nF



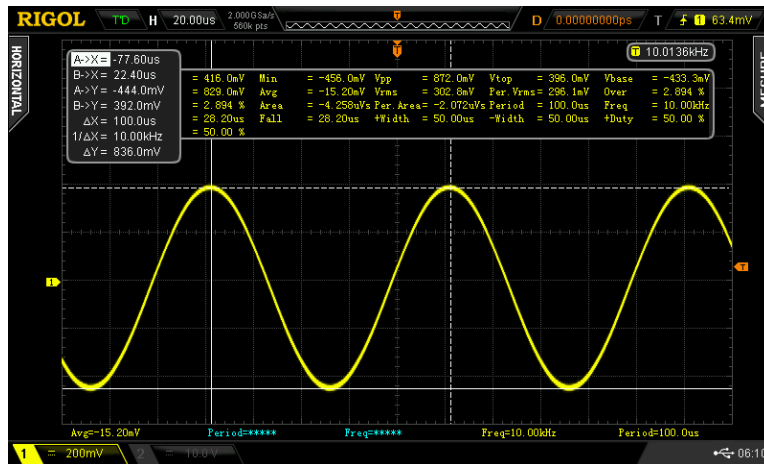
capa 2 (pourrie) 1,4μF

lecture 1,405 μF

8.4 PeakTech 2170

La mesure est faite à 10kHz sous 0,300Vrms sinusoïdal pur. La fréquence de 10kHz est choisie pour la comparaison des mesures avec le TC1 mais peut se faire de 100Hz à 100kHz.

Les pinces de mesure sont en montage Kelvin à 6 fils, éliminant les erreurs de mesure dues aux fils et pinces.



8.5 Nano Pro

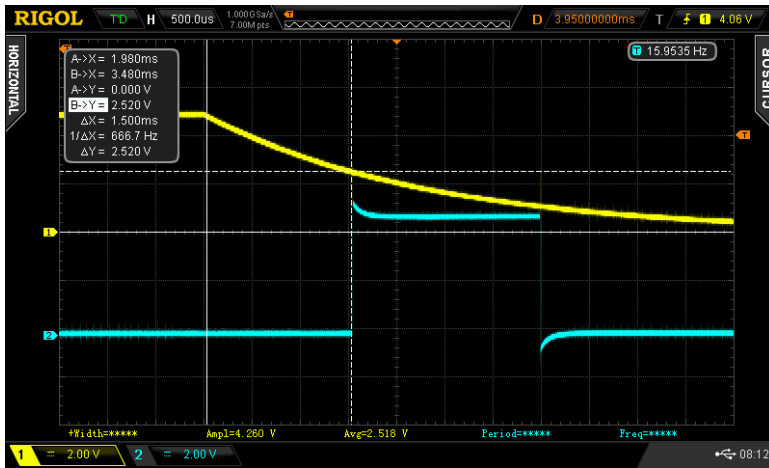
Ce sera donc une micro-carte arduino nano pro, équipée d'un μC at mega168 (strictement compatible du mega328p classique, seule la mémoire programme est plus limitée, sans importance ici). Il y a un vrai quartz, garantissant une très bonne précision en fréquence. Il suffit de regarder la photo publiée chez le vendeur, pour ce point, les vendeurs chinois sont fiables, la version mega168 (compatible pour ce montage qui n'utilise que 500 octets de programme) avec quartz coûte 1,73\$ chez I.B. en 2018.

Je n'utilise pas le « langage » arduino, seulement du c pour AVR (avr-gcc) pour pouvoir utiliser sans restriction toutes les ressources du μC et contrôler finement son comportement temporel.

Le condensateur à mesurer est connecté entre le +5V et l'entrée, la charge de cette capa est assurée par une résistance de 20 k Ω 1 % à la masse.

Le μC fonctionne en comparateur analogique, la tension de référence est de $V_{cc}/2$, nous sommes en montage ratiométrique, et la valeur absolue de V_{cc} (5V) n'importe pas. Le temps à n'importe quelle tension de comparaison est linéairement proportionnel à la valeur de la capa, ce qu'on retrouve dans $\tau = R * C$

Le circuit actuel ne comporte qu'une résistance et un seul comparateur « habilement » placé à la moitié de la tension d'alimentation, zone où la pente de la charge est encore assez importante (le 555 utilise deux comparateurs dont les niveaux se situent l'un au-dessus et l'autre au-dessous de celui du capacimètre). Ce qui compte ici, c'est le passage de la tension de charge à 2,5V, une interruption est alors déclenchée qui mesure le temps depuis le lancement de la charge de capa. La référence du comparateur analogique du μC est assurée par deux résistances de précision identiques (ici 20 k Ω 1%), seul le rapport entre les deux compte, et leurs dérives éventuelles sont mutuellement compensées si les résistances sont de mêmes technologie même modèle et même lot. Pour une bonne précision, la comparaison doit être faite à un endroit où la pente est max, la pente à $V_{cc}/2$ est encore suffisante. La valeur de la mesure de la capa dépend du temps à atteindre .



Le μC lance un compteur pendant la descente exponentielle de tension. Il lui faut avoir une résolution de comptage suffisante pour une lisibilité correcte et pour pouvoir s'adapter à la résolution de 256 pas du galva, suffisante pour une lecture confortable. La division par une constante suffisamment grande (220) permet d'ajuster finement le capacimètre.

Si l'alim interne fait 5V avec une bonne précision, le galva, bien sûr acheté en calibre 5V, n'a même pas besoin d'ajustement, et si l'arduino acheté est doté d'un quartz, la constante n'en a pas plus besoin.

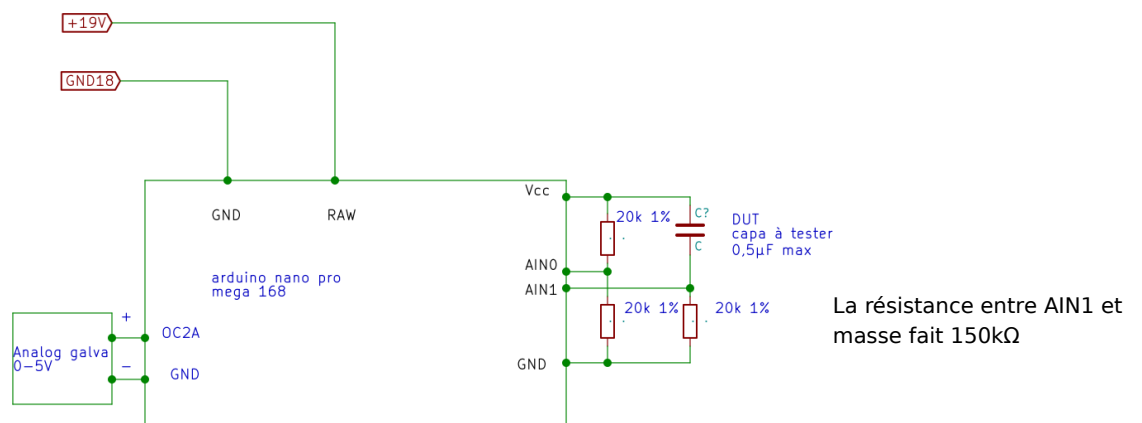
Un second exemplaire, réalisé avec un arduino à mega168, fonctionne sans problème, du moment que le makefile admet ce μC .

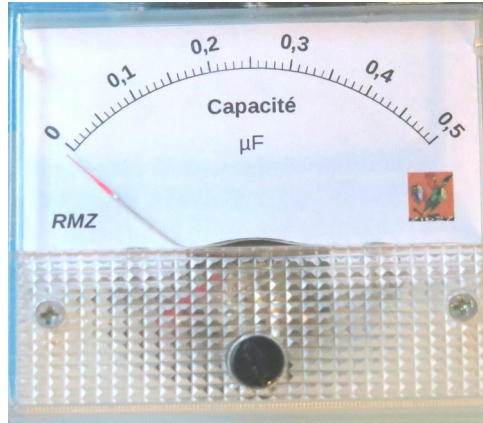
Un anti-repliement de spectre empêche les anomalies de débordement de compteur pour des capas trop grandes.

Puisque la mesure se fait via une résistance série, on pourrait facilement mesurer le courant de fuite sous 5V. Mais le clacmètre le fait, et jusqu'à 600V. Mesure par un galvanomètre analogique à aiguille, dont le courant ne doit pas dépasser 5mA.

On peut, bien sûr, plonger la capa dans un bain de paraffine à 75°C (voir chauffe-capac http://www.hackerschicken.eu/www/electric/Spithascope/chauffe_capa.pdf) pour une mesure en conditions plus réalistes.

8.5.1 Schéma





8.5.2 programme

```

/*
 *      capacitance meter
 *
 * at megal68
 * clock 16 MHz
 * compiler avr-gcc 4.3.5
 *
 * PB0
 * PB1 OC1A
 * PB2 OC1B
 * PB3 OC2A    pin 11 MOSI          ICSP    1      galva
 * PB4
 * PB5 D13     pin 13 LED
 *
 * PC0 A0
 * PC1 A1
 * PC2 A2
 * PC3 A3
 * PC4 A4
 * PC5 A5
 * PC6 -      RESET          ICSP    5
 *
 * ADC6 A6
 * ADC7 A7
 *
 * PD0 RXI
 * PD1 TX0
 * PD2 D2
 * PD3 D3     INT1
 * PD4 D4
 * PD5 D5     OC0B
 * PD6 D6     AIN0 OC0A        pin N°6 midpoint Vcc to GND
 * PD7 D7     AIN1            pib N°7 capacitor to Vcc R 150k to GND
 *
 * RMZ#246
 *
 * lfuse 62    hfuse D9 efuse ff (arduino nano pro with resonator)
 * efuse fd hfuse DA lfuse e2 (nano pro with quartz)
 * origin = e ff, h d9, l 62
 * internal clock 16 MHz with lfuse 0xff
 *
 * status: OK
 * keywords: AIN0 AIN1
 *
 * Zibuth27 2018/05/26
 */

#include <avr/io.h>

```



```
#include <util/delay.h>
#include <avr/interrupt.h>

#define F_CPU = 16000000

#define AIN0 PD6
#define AIN1 PD7

volatile uint32_t value;

int main (void)
{
    // settings

    // variables

    // ports
    DDRB = 0xff; // PORTB as output
    DDRC = 0x0e; // allows ADC0 as input
    DDRD = 0x32;

    // timer0 // used for capacitance metering
    TCCR0A = 0x83; // 83
    TCCR0B = 0x01; // 03 start counter

    // timer1 16 bits // mode 10
    TCCR1A = 0x82; // mode 10
    TIMSK1 |= (1<<T0IE1); // 2000=127ms
    OCR1A = 30000; // step 1µs, recycle 6ms 60000
    OCR1B = 20000; // 0x11
    ICR1 = 65000; // used for PWM to analog galvanometer mode 3
    TCCR1B = 0x1d; // start counter
    // galvanometer control

    // timer2 // used for PWM to analog galvanometer mode 3
    TCCR2A = 0x83; // start counter
    TCCR2B = 0x04; // galvanometer control
    OCR2A = 127;

    // ADC
    ADMUX = 0x40;
    ADCSRA = 0x07; // ADC speed 125 kHz
    ADCSRA |= (1<<ADEN);

    //USART
    UCSR0C |= (1<<UCSZ01)|(1<<UCSZ00); // 8 bit
    UBRR0H = 0;
    UBRR0L = 103;
    PORTD |= (1<<PD1);

    //TWI

    // comparator
    ADCSRB |= (1<<ACME); //comp mux enable
    ACSR |= (1<<ACIS1)|(1<<ACIS0)|(1<<ACIE); // edge choice, IRQ enable
    DDRD &= ~(1<<AIN0)|(1<<AIN1); // AIN0, AIN1 as input

    // INT1
    sei();

    // rotary encoder setting

    // continued settings
    while (1){

    // MAIN LOOP
    DDRD |= (1<<AIN1); // AIN1 out
    PORTD |= (1<<AIN1); // pulse AIN1
```



```
_delay_ms (1);
DDRD &= ~(1<<AIN0); // AIN0 in

// PORTD &= ~(1<<AIN1); // AIN1 lo
DDRD &= ~(1<<AIN1); // AIN1 hi-Z,
ACSR |= (1<<ACIE); // enable comparator
ADCSRA |= (1<<ADEN); // launch comparator
TCNT1 = 0; // reset counter
value = 0;
PORTD &= ~(1<<AIN1); // launch exponential decay
_delay_ms (200);
ACSR &= ~(1<<ACIE); // stop comparator
TCCR1B = 0x19; // start counter
}
return 0;
}
ISR (ANALOG_COMP_vect) {
    // COMP COMP COMP COMP
    OCR2A = TCNT1 / 203; // scale adjust
    if(TCNT1>51500) OCR2A=255; // antialiasing
    cli();
    ACSR &= ~(1<<ACIE); // inhibit comparator IRQ
    PORTB |= (1<<PB5); // LED flag
    _delay_us(100);
    PORTB &= ~(1<<PB5);
    value = 0;
    TCNT1 = 0;
}
ISR (TIMER1_OVF_vect) {
    //
    PORTB ^= (1<<PB5); // LED flag
    _delay_us(10);
    PORTB &= ~(1<<PB5);
    value = value + 1;
}
```

Une nouvelle version du programme fait clignoter une LED lors du dépassement de gamme de 0,5µF, indiquant que la position de l'aiguille est non-signifiante (retournement de spectre).

9 Le CDI

Capacitive Discharge Ignition. l'expression est dévoyée et désigne aujourd'hui, pour les îlotes aculturels, n'importe quel allumage, avec un peu d'électronique.

C'est normalement un type d'allumage utilisant un condensateur. Ici c'est le condensateur qui stocke l'énergie d'allumage (dans l'allumage batterie ou volant, l'énergie est stockée sous forme magnétique dans la bobine). Le condensateur de CDI est chargé à environ 400V par un convertisseur de tension ou par une bobine de volant ou d'alternateur adaptée. Il est déchargé brutalement par un thyristor dans une bobine qui ne joue alors que le rôle de transformateur et n'a pas besoin d'entrefer.

La réparation de ce type d'allumage sort des possibilités de l'amateur et le pro y touche rarement, tout étant habituellement noyé dans de la résine.

Le condensateur n'est **jamais** un modèle papier, mais souvent un modèle à film plastique ordre de grandeur = 1µF/400V soit 80 millijoules.

10 Condensateurs testés et précautions à prendre



En haut des condensateurs de la boîte à RIP¹⁵ de Bernique (condensateurs VeloRolex¹⁶ & cyclo), en bas un condensateur céramique (tout petit pour la même capacité/tension) GRM55DR72J224KW01 de 0,22 μ F / 630V et un MKP 10 (film polypropylène) 0,22 μ F / 400V. Le 400V est parfois un peu juste dans certains cas (marge insuffisante, la tension crête de la surtension d'ouverture qui dépend surtout du courant, de la valeur de la capa et du rapport de transformation) et il ne faut pas compter uniquement sur les propriétés d'autocicatrisation, elles existent bien, mais sont limitées en quantité.

On voit parfois des condensateurs entrés au chausse-pied dans le boîtier métallique d'un ancien condensateur papier, pas de problème tant que ça rentre et que le condensateur le supporte. « Pour bien faire », le boîtier est rempli par de l'époxy ou du polyester. De nos jours, certains mettent des condensateurs céramique dans ces boîtiers où le condensateur est loin de remplir le volume disponible. Remplir à l'époxy ou au polyester semble être du bon boulot bien pro et bien fini, et ne devrait pas poser de problème. On garantit habituellement le condensateur refait jusqu'au prochain croisement, après le second, c'est la faute au client ! Les résines habituelles sont très rarement polymérisées à 100 % en sortie d'une fabrication amateur (et surtout pas vérifiées

¹⁵ RIP = requiescat in pace ou rest in peace selon que vos cimetières sont de culture latine ou britiche (je sais ! mais j'aime l'écrire comme ça)

¹⁶ Voici ma Solex, acheté avant mes 50 ans pour 20\$ dans un magasin en toile, sur un marché de Kuala Lumpur, un jour de mousson !



au calorimètre à balayage différentiel, DSC), et durcissent plus tard. Quelques croisements plus tard (quelques années quelquefois) la résine finit par très bien durcir. Le coefficient de dilatation de la résine est de l'ordre de : $CTE = 200 \text{ ppm}$ (parts per million = 0,2 %) par °C, celle du métal du boîtier est de l'ordre de 10-20 ppm. Que pensez-vous qu'il arrivât avec quelques montée en température ? Le malheureux petit condensateur céramique est soumis à une pression énorme sur une céramique dure et cassante : il implose ! Le MKP y est aussi un peu sensible, pas pour les mêmes effets. Et quand un condensateur céramique est fissuré et qu'on continue à l'utiliser, il perd ses propriétés électriques avec conséquences sur l'allumage, mais en plus, il peut continuer à se détruire par d'autres mécanismes, voir photos. Pour lui braser (« souder ») ses fils, et si on veut qu'il tienne longtemps, il faut, soit lui souder ses deux électrodes à la fois (les pros dans le spatial avaient des fers à double panne ou travaillent à deux), soit le chauffer et maintenir le chauffage pendant la brasure de chaque côté. Et ne jamais le noyer directement dans l'époxy ou le polystyrène ! Déconseillé aussi pour un MKP.

Le condensateur 1 montre un mauvais sertissage du boîtier : l'ensemble rondelle isolante + borne à vis bouge librement = rejeté !

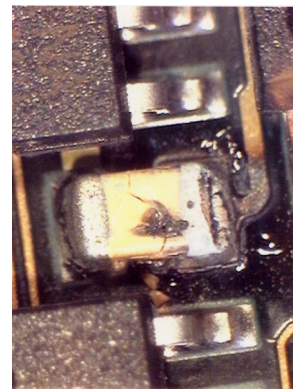
On peut en conclure que les condensateurs à sortie filaire seront probablement moins sensibles aux effets de traction sur l'électrode. Ces effets peuvent être forts en cas de montage mécanique de pièce métallique directement sur la vis du condensateur (et si le condensateur est fabriqué « cheap », cas malheureusement trop fréquent). En réflexion, il serait avisé de ne réaliser qu'une liaison filaire pour éviter le stress apporté par la lamelle.

Il vaut mieux remplir avec un élastomère mou (genre salle de bains) et laisser une bulle d'air (environ 10 % du volume total, si le boîtier est fermé

Ne pas braser le fil de masse directement du condensateur vers le boîtier métallique, la différence de masse et de conduction thermique va conduire à une surchauffe du condensateur. Braser systématiquement un fil souple à chaque électrode, à bonne distance du corps.



conséquences ultimes de fissures sur capas
céramiques pourtant utilisées avec une marge de
tension correcte



11 Conclusions - Qu'alors y faire ?

Pour une fiabilité maximale, je recommande les condensateurs à film autocicatrisant WIMA série 4 ou 10 avec la valeur de tension couvrant le plus largement possible la tension crête (dans le pire cas : bougie débranchée) créée par l'ensemble condensateur-bobine. Une **fiabilité suffisante** pour un besoin de durée plus limitée (mais au-delà du premier carrefour quand même) pourrait éventuellement être atteinte avec des condensateurs (plus petits) en 400V~(AC) **classe X2**, lorsque la tension crête de la surtension le permet. Rappel : les condensateurs classe X sont prévus en antiparasites, pour être reliés entre phase et neutre et y résister sans risquer d'incendie si défaillance (filtres d'entrée secteur) les condensateurs classe Y sont prévus pour la liaison entre le secteur et le boîtier et ne pas créer de risque utilisateur (fuites à la terre). **Les condensateurs doivent être câblés en suivant les prescriptions du fabricant !**

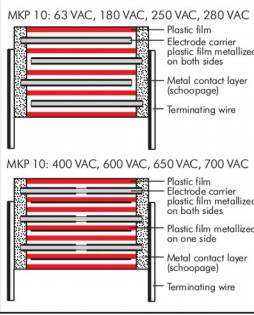
12 Annexes

Quelques extraits des datasheets de fabricants

12.1 condensateurs film / papier neufs Wima




Polypropylene (PP) Capacitors for Pulse Applications with Double-Sided Metallized Electrodes in PCM 7.5 mm to 52.5 mm. Capacitances from 1000 pF to 47 µF. Rated Voltages from 100 VDC to 3000 VDC.

Special Features		Electrical Data																																																																																																																																																																																																															
- Pulse duty construction - Self-healing - Very low dissipation factor - Negative capacitance change versus temperature - According to RoHS 2011/65/EU	Capacitance range: 1000 pF to 47 µF (E12-values on request) Rated voltages: 100 VDC, 250 VDC, 400 VDC, 630 VDC, 850 VDC, 1000 VDC, 1250 VDC, 1600 VDC, 2000 VDC, 2500 VDC, 3000 VDC Capacitance tolerances: ±20%, ±10%, ±5% Operating temperature range: -55° C to +100° C Insulation resistance at +20° C: C ≤ 0.33 µF: ≥ 1 × 10⁵ MΩ (mean value: 5 × 10⁵ MΩ) C > 0.33 µF: ≥ 30 000 sec (MΩ × µF) (mean value: 100 000 sec) Measuring voltage: 100 V/1 min. Test voltage: 2 sec.	Climatic test category: 55/100/56 in accordance with IEC Dielectric absorption: 0.05 % Voltage derating: A voltage derating factor of 1.35 % per K must be applied from +85° C for DC voltages and from +75° C for AC voltages. Reliability: Operational life > 300 000 hours Failure rate < 1 fit 10.5 × U_r and 40° C Specific dissipation: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Box size* W x H x L in mm</th> <th>Specific dissipation in Watts per K above the ambient temperature</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>35 x 50 x 57</td> <td>0.132</td> </tr> <tr> <td>45 x 55 x 57</td> <td>0.164</td> </tr> <tr> <td>45 x 65 x 57</td> <td>0.184</td> </tr> </tbody> </table> * other box sizes see page 11.	Box size* W x H x L in mm	Specific dissipation in Watts per K above the ambient temperature	35 x 50 x 57	0.132	45 x 55 x 57	0.164	45 x 65 x 57	0.184																																																																																																																																																																																																							
Box size* W x H x L in mm	Specific dissipation in Watts per K above the ambient temperature																																																																																																																																																																																																																
35 x 50 x 57	0.132																																																																																																																																																																																																																
45 x 55 x 57	0.164																																																																																																																																																																																																																
45 x 65 x 57	0.184																																																																																																																																																																																																																
Typical Applications For pulse applications e.g. - Switch mode power supplies - TV and monitor sets - Lighting - Audio/video equipment																																																																																																																																																																																																																	
Construction Dielectric: Polypropylene (PP) film Capacitor electrodes: Double-sided metallized plastic film Internal construction: 																																																																																																																																																																																																																	
Encapsulation: Solvent-resistant, flame-retardant plastic case with epoxy resin seal, UL 94 V-0 Terminations: Tinned wire. Marking: Colour: Red. Marking: Black. Epoxy resin seal: Red		Dissipation factors at +20° C: tan δ <table border="1"> <thead> <tr> <th>at f</th> <th>C ≤ 0.1 µF</th> <th>0.1 µF < C ≤ 1.0 µF</th> <th>C > 1.0 µF</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 kHz</td> <td>≤ 6 × 10⁻⁴</td> <td>≤ 6 × 10⁻⁴</td> <td>≤ 6 × 10⁻⁴</td> </tr> <tr> <td>10 kHz</td> <td>≤ 6 × 10⁻⁴</td> <td>≤ 6 × 10⁻⁴</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>100 kHz</td> <td>≤ 15 × 10⁻⁴</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table> Maximum pulse rise time for pulses equal to the rated voltage <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Capacitance pF/µF</th> <th colspan="14">max. pulse rise time V/µsec at T_A < 40° C</th> </tr> <tr> <th>100VDC</th> <th>250VDC</th> <th>400VDC</th> <th>630VDC</th> <th>850VDC</th> <th>1000VDC</th> <th>1250VDC</th> <th>1600VDC</th> <th>2000VDC</th> <th>2500VDC</th> <th>3000VDC</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1000 ... 2200</td> <td>1250</td> <td>2300</td> <td>2300</td> <td>2300</td> <td>3500</td> <td>3500</td> <td>7000</td> <td>7000</td> <td>11500</td> <td>11500</td> <td>—</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3300 ... 6800</td> <td>1150</td> <td>1500</td> <td>1500</td> <td>1500</td> <td>3500</td> <td>3500</td> <td>7000</td> <td>7000</td> <td>11500</td> <td>11500</td> <td>—</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.01 ... 0.022</td> <td>900</td> <td>1400</td> <td>1500</td> <td>1500</td> <td>2700</td> <td>2700</td> <td>3800</td> <td>3800</td> <td>4400</td> <td>11500</td> <td>—</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.033 ... 0.068</td> <td>500</td> <td>1000</td> <td>1150</td> <td>1400</td> <td>2700</td> <td>2700</td> <td>2700</td> <td>2700</td> <td>2700</td> <td>2700</td> <td>2700</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.1 ... 0.22</td> <td>250</td> <td>650</td> <td>650</td> <td>1150</td> <td>1800</td> <td>1800</td> <td>1800</td> <td>1800</td> <td>1800</td> <td>1800</td> <td>1800</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.33 ... 0.68</td> <td>130</td> <td>390</td> <td>500</td> <td>900</td> <td>1150</td> <td>1150</td> <td>1150</td> <td>1150</td> <td>1150</td> <td>1150</td> <td>1150</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.0 ... 2.2</td> <td>90</td> <td>250</td> <td>250</td> <td>500</td> <td>500</td> <td>500</td> <td>650</td> <td>650</td> <td>650</td> <td>650</td> <td>500</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3.3 ... 4.7</td> <td>65</td> <td>100</td> <td>130</td> <td>190</td> <td>230</td> <td>230</td> <td>330</td> <td>330</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6.8 ... 15</td> <td>45</td> <td>65</td> <td>90</td> <td>160</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>22 ... 47</td> <td>30</td> <td>45</td> <td>45</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		at f	C ≤ 0.1 µF	0.1 µF < C ≤ 1.0 µF	C > 1.0 µF	1 kHz	≤ 6 × 10 ⁻⁴	≤ 6 × 10 ⁻⁴	≤ 6 × 10 ⁻⁴	10 kHz	≤ 6 × 10 ⁻⁴	≤ 6 × 10 ⁻⁴	—	100 kHz	≤ 15 × 10 ⁻⁴	—	—	Capacitance pF/µF	max. pulse rise time V/µsec at T _A < 40° C														100VDC	250VDC	400VDC	630VDC	850VDC	1000VDC	1250VDC	1600VDC	2000VDC	2500VDC	3000VDC					1000 ... 2200	1250	2300	2300	2300	3500	3500	7000	7000	11500	11500	—					3300 ... 6800	1150	1500	1500	1500	3500	3500	7000	7000	11500	11500	—					0.01 ... 0.022	900	1400	1500	1500	2700	2700	3800	3800	4400	11500	—					0.033 ... 0.068	500	1000	1150	1400	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700					0.1 ... 0.22	250	650	650	1150	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800					0.33 ... 0.68	130	390	500	900	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150					1.0 ... 2.2	90	250	250	500	500	500	650	650	650	650	500					3.3 ... 4.7	65	100	130	190	230	230	330	330	—	—	—					6.8 ... 15	45	65	90	160	—	—	—	—	—	—	—					22 ... 47	30	45	45	—	—	—	—	—	—	—	—				
at f	C ≤ 0.1 µF	0.1 µF < C ≤ 1.0 µF	C > 1.0 µF																																																																																																																																																																																																														
1 kHz	≤ 6 × 10 ⁻⁴	≤ 6 × 10 ⁻⁴	≤ 6 × 10 ⁻⁴																																																																																																																																																																																																														
10 kHz	≤ 6 × 10 ⁻⁴	≤ 6 × 10 ⁻⁴	—																																																																																																																																																																																																														
100 kHz	≤ 15 × 10 ⁻⁴	—	—																																																																																																																																																																																																														
Capacitance pF/µF	max. pulse rise time V/µsec at T _A < 40° C																																																																																																																																																																																																																
	100VDC	250VDC	400VDC	630VDC	850VDC	1000VDC	1250VDC	1600VDC	2000VDC	2500VDC	3000VDC																																																																																																																																																																																																						
1000 ... 2200	1250	2300	2300	2300	3500	3500	7000	7000	11500	11500	—																																																																																																																																																																																																						
3300 ... 6800	1150	1500	1500	1500	3500	3500	7000	7000	11500	11500	—																																																																																																																																																																																																						
0.01 ... 0.022	900	1400	1500	1500	2700	2700	3800	3800	4400	11500	—																																																																																																																																																																																																						
0.033 ... 0.068	500	1000	1150	1400	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700																																																																																																																																																																																																						
0.1 ... 0.22	250	650	650	1150	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800																																																																																																																																																																																																						
0.33 ... 0.68	130	390	500	900	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150																																																																																																																																																																																																						
1.0 ... 2.2	90	250	250	500	500	500	650	650	650	650	500																																																																																																																																																																																																						
3.3 ... 4.7	65	100	130	190	230	230	330	330	—	—	—																																																																																																																																																																																																						
6.8 ... 15	45	65	90	160	—	—	—	—	—	—	—																																																																																																																																																																																																						
22 ... 47	30	45	45	—	—	—	—	—	—	—	—																																																																																																																																																																																																						
Mechanical Tests Pull test on pins: d ≤ 0.8 Ø: 10 N in direction of pins d > 0.8 Ø: 20 N in direction of pins according to IEC 60068-2-21 Vibration: 6 hours at 10 ... 2000 Hz and 0.75 mm displacement amplitude or 10 g in accordance with IEC 60068-2-6 Low air density: 1 kPa = 10 mbar in accordance with IEC 60068-2-13 Bump test: 4000 bumps at 390 m/sec² in accordance with IEC 60068-2-29		Packing Available taped and reeled up to and including case size 15 x 26 x 31.5 / PCM 27.5 mm. Detailed taping information and graphs at the end of the catalogue. For further details and graphs please refer to Technical Information.																																																																																																																																																																																																															

07/16

WIMA MKP 4



Metallized Polypropylene (PP) Capacitors
in PCM 7.5 mm to 37.5 mm. Capacitances from 0.01 μF to 10 μF .
Rated Voltages from 100 VDC to 2000 VDC.

Special Features

- High volume/capacitance ratio
- Self-healing
- Very low dissipation factor
- Negative capacitance change versus temperature
- Very low dielectric absorption
- According to RoHS 2011/65/EU

Typical Applications

For high frequency applications e.g.

- Sample and hold
- Timing
- Oscillating circuits
- High frequency coupling and decoupling

Construction

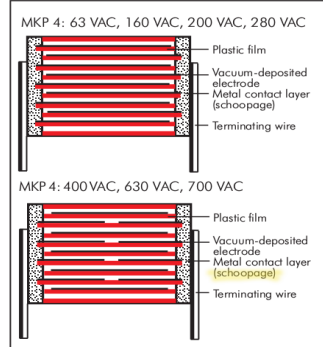
Dielectric:

Polypropylene (PP) film

Capacitor electrodes:

Vacuum-deposited

Internal construction:



Encapsulation:

Solvent-resistant, flame-retardant plastic case with epoxy resin seal, UL 94 V-0

Terminations:

Tinned wire.

Marking:

Colour: Red. Marking: Black.

Epoxy resin seal: Red

Electrical Data

Capacitance range:

0.01 μF to 10 μF (E12-values on request)

Rated voltages:

100 VDC, 250 VDC, 400 VDC, 630 VDC, 850 VDC, 1000 VDC, 1600 VDC, 2000 VDC

Capacitance tolerances:

$\pm 20\%$, $\pm 10\%$, $\pm 5\%$

Operating temperature range:

-55°C to $+100^\circ\text{C}$

Climatic test category:

55/100/56 in accordance with IEC

Insulation resistance at $+20^\circ\text{C}$:

$C \leq 0.33 \mu\text{F}$: $\geq 1 \times 10^5 \text{ M}\Omega$

(mean value: $5 \times 10^5 \text{ M}\Omega$)

$C > 0.33 \mu\text{F}$: $\geq 30\,000 \text{ sec (M}\Omega \times \mu\text{F)}$

(mean value: 100\,000 sec)

Measuring voltage: 100 V/1 min.

Maximum pulse rise time:

Capacitance $\mu\text{F}/\mu\text{F}$	max. pulse rise time V/ μsec at $T_A < 40^\circ\text{C}$							
	100 VDC	250 VDC	400 VDC	630 VDC	850 VDC	1000 VDC	1600 VDC	2000 VDC
1000 ... 2200	—	—	—	—	2200	2200	3500	5200
3300 ... 6800	—	—	—	—	1150	1150	2700	3500
0.01 ... 0.022	450	450	450	500	550	550	1800	2700
0.033 ... 0.068	250	250	300	350	400	400	900	1800
0.1 ... 0.22	150	150	200	250	300	300	500	900
0.33 ... 0.68	100	100	150	200	200	200	—	—
1.0 ... 2.2	75	100	100	150	150	150	—	—
3.3 ... 4.7	60	100	100	120	140	140	—	—
6.8 ... 10	40	50	60	85	—	—	—	—

for pulses equal to the rated voltage

Mechanical Tests

Pull test on pins:

$d \leq 0.8 \text{ mm}$: 10 N in direction of pins

$d > 0.8 \text{ mm}$: 20 N in direction of pins

according to IEC 60068-2-21

Vibration:

6 hours at 10...2000 Hz and 0.75 mm

displacement amplitude or 10 g in

accordance with IEC 60068-2-6

Low air density:

1 kPa = 10 mbar in accordance with

IEC 60068-2-13

Bump test:

4000 bumps at 390 m/sec²

in accordance with IEC 60068-2-29

Packing

Available taped and reeled up to and including case size 15 x 26 x 31.5 / PCM 27.5 mm.

Detailed taping information and graphs at the end of the catalogue.

For further details and graphs please refer to Technical Information.

WIMA MKP-X2



Metallized Polypropylene (PP) RFI-Capacitors Class X2
in PCM 7.5 mm to 37.5 mm. Capacitances from 1000 pF to 10 µF.
Rated Voltage 305 VAC.

Special Features

- Reliable self-healing
- High degree of interference suppression due to good attenuation and low ESR
- According to RoHS 2011/65/EU

Typical Applications

- Class X2 RFI applications to meet EMC regulations
- Capacitors connected to the mains between phase and neutral or phase conductors
 - General requirements, pulse peak voltage ≤ 2.5 kV

Construction

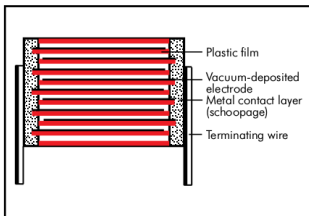
Dielectric:

Polypropylene (PPI) film

Capacitor electrodes:

Vacuum-deposited

Internal construction:



Encapsulation:

Solvent-resistant, flame-retardant plastic case with epoxy resin seal, UL 94 V-0

Terminations:

Tinned wire.

Marking:

Colour: Red. Marking: Black.

Electrical Data

Capacitance range: 1000 pF to 10 µF

Rated voltage: 305 VAC

Continuous DC voltage* (general guide): ≤ 560 V

Capacitance tolerances:

$\pm 20\%$, $\pm 10\%$, $\pm 5\%$

Operating temperature range:

-55°C to $+105^\circ\text{C}$

Climatic test category:

55/105/56 in accordance with IEC

Passive flammability class:

B for capacitors with $V > 1750$ mm³

C for capacitors with $V \leq 1750$ mm³

Test specifications:

In accordance with IEC 60384-14

Dissipation factors at $+20^\circ\text{C}$: $\tan \delta$

at f	$C \leq 0.1 \mu\text{F}$	$0.1 \mu\text{F} < C \leq 1.0 \mu\text{F}$	$C > 1.0 \mu\text{F}$
1 kHz	$\leq 15 \times 10^{-4}$	$\leq 20 \times 10^{-4}$	$\leq 30 \times 10^{-4}$
10 kHz	$\leq 20 \times 10^{-4}$	$\leq 60 \times 10^{-4}$	—
100 kHz	$\leq 100 \times 10^{-4}$	—	—

Approvals:

Country	Authority	Specification	Symbol	Approval-No.
Germany	VDE	IEC 60384-14/4		40003472
USA/Canada	UL	UL 60384-14 CAN/CSA-E60384-14		E 134915

Mechanical Tests

Pull test on pins: 10 N in direction of pins according to IEC 60068-2-21

Vibration: 6 hours at 10...2000 Hz and 0.75 mm displacement amplitude or 10 g in accordance with IEC 60068-2-6

Low air density: 1 kPa = 10 mbar in accordance with IEC 60068-2-13

Bump test: 4000 bumps at 390 m/sec² in accordance with IEC 60068-2-29

* If safety-approved EMI suppression capacitors are operated with a DC voltage being above the specified AC voltage rating the given approvals are no longer valid (IEC 60384-14).

Furthermore the permissible pulse rise time du/dt (f_{max}) will be subject to a reduction according to

$$f_{\text{max}} = f_r \times \sqrt{2} \times \text{UAC} / \text{UDC}$$

if the DC operating voltage UDC is higher than $\sqrt{2} \times \text{UAC}$

Insulation resistance at $+20^\circ\text{C}$:

$C \leq 0.33 \mu\text{F}$: $\geq 15 \times 10^3 \text{ M}\Omega$

$C > 0.33 \mu\text{F}$: $\geq 5000 \text{ sec (M}\Omega \times \mu\text{F)}$

Measuring voltage: 100 V/1 min.

Maximum pulse rise time:

100 V/ μsec for pulses equal to a voltage amplitude with $\sqrt{2} \times 305 \text{ VAC} = 432 \text{ V}$ according to IEC 60384-14

Test voltage:

$C \leq 1.0 \mu\text{F}$: 2260 VDC, 2 sec.

$C > 1.0 \mu\text{F}$: 1800 VDC, 2 sec.

Reliability:

Operational life $> 300\,000$ hours

Failure rate < 2 fit (0.5 x U, and 40°C)

Packing

Available taped and reeled up to and including case size 15 x 26 x 31.5 / PCM 27.5 mm.

Detailed taping information and graphs at the end of the catalogue.

For further details and graphs please refer to Technical Information.

WIMA MP 3-X2



Metallized Paper (MP) RFI-Capacitors Class X2
in PCM 10 mm to 27.5 mm. Capacitances from 1000 pF to 1.0 µF.
Rated Voltages 250 VAC and 275 VAC.

Special Features

- Particularly high reliability against active and passive flammability
- Excellent self-healing as well as high voltage strength
- High degree of interference suppression due to good attenuation and low ESR
- For temperatures up to +110° C
- According to RoHS 2011/65/EU

Typical Applications

Class X2 RFI applications to meet EMC regulations

- Capacitors connected to the mains between phase and neutral or phase and phase conductors
- General requirements, pulse peak voltage ≤ 2.5 kV

Construction

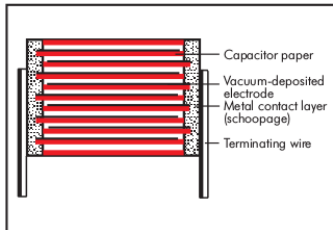
Dielectric:

Paper, epoxy resin impregnated

Capacitor electrodes:

Vacuum-deposited

Internal construction:



Encapsulation:

Self-extinguishing epoxy resin, UL 94 V-0, metal foil

Terminations:

Tinned wire.

Marking:

Marking: Black on Silver.

Electrical Data

Capacitance range:

1000 pF to 1.0 µF (E12-values on request)

Rated voltages: 250 VAC, 275 VAC

Continuous DC voltage* (general guide): ≤ 630 V

Capacitance tolerances: $\pm 20\%$

Operating temperature range:

-40°C to $+110^{\circ}\text{C}$

Climatic test category:

40/110/56/C in accordance with IEC

Insulation resistance at $+20^{\circ}\text{C}$:

$C \leq 0.33 \mu\text{F}$: $\geq 12 \times 10^3 \text{ M}\Omega$

$C > 0.33 \mu\text{F}$: $\geq 4000 \text{ sec } (\text{M}\Omega \times \mu\text{F})$

Measuring voltage: 100 V/1 min.

Dissipation factors:

$\tan \delta \leq 13 \times 10^{-3}$ at 1 kHz and $+20^{\circ}\text{C}$

Test specifications:

In accordance with IEC 60384-14

Approvals:

Country	Authority	Specification	Symbol	Approval-No.
Germany	VDE	IEC 60384-14		89749
USA/Canada	UL	UL 60384-14 CAN/CSA-E60384-14		E 100438

Maximum pulse rise time:

Capacitance pF/µF	Pulse rise time V/µsec max. operation
1000 ... 0.068	1500
0.1 ... 0.33	750
0.47	500
0.68 ... 1.0	250

for pulses equal to a voltage amplitude with $\sqrt{2} \times \text{UAC} = 390$ V

according to IEC 60384-14

Test voltage: 1300 VDC, 2 sec.

Reliability:

Operational life $> 300\,000$ hours

Failure rate < 1 fit (0.5 x U_r and 40°C)

Mounting Recommendation

To minimize or avoid shock and/or vibration stresses to terminating wires and solder connections we recommend to fix voluminous resin-potted MP capacitors as from e.g. PCM 22.5 mm in an appropriate way since for constructional reasons they do not sit tight on the board.

* If safety-approved EMI suppression capacitors are operated with a DC voltage being above the specified AC voltage rating the given approvals are no longer valid (IEC 60384-14).

Furthermore the permissible pulse rise time du/dt ($I_{F_{\max}}$) will be subject to a reduction according to

$$F_{\max} = F_r \times \sqrt{2} \times \text{UAC} / \text{UDC}$$

if the DC operating voltage UDC is higher than $\sqrt{2} \times \text{UAC}$

Packing

Available taped and reeled up to and including PCM 22.5 mm.

Detailed taping information and graphs at the end of the catalogue.

For further details and graphs please refer to Technical Information.

12.2 condensateurs céramiques MLCC



△Note • Please read rating and △CAUTION (for storage, operating, rating, soldering, mounting and handling) in this catalog to prevent smoking and/or burning, etc.
• This catalog has only typical specifications. Therefore, please approve our product specifications or transact the approval sheet for product specifications before ordering.

C02E.pdf
Sep.25,2013

Notice

Continued from the preceding page.

6. Washing

1. Please evaluate the capacitor using actual cleaning equipment and conditions to confirm the quality, and select the solvent for cleaning.
2. Unsuitable cleaning solvent may leave residual flux or other foreign substances, causing deterioration of electrical characteristics and the reliability of the capacitors.

3. Select the proper cleaning conditions.

- 3-1. Improper cleaning conditions (excessive or insufficient) may result in deterioration of the performance of the capacitors.

7. Coating

1. A crack may be caused in the capacitor due to the stress of the thermal contraction of the resin during curing process.

The stress is affected by the amount of resin and curing contraction.

Select a resin with low curing contraction.

The difference in the thermal expansion coefficient between a coating resin or a molding resin and the capacitor may cause the destruction and deterioration of the capacitor such as a crack or peeling, and lead to the deterioration of insulation resistance or dielectric breakdown.

Select a resin for which the thermal expansion coefficient is as close to that of the capacitor as possible.

A silicone resin can be used as an under-coating to buffer against the stress.

2. Select a resin that is less hygroscopic.

Using hygroscopic resins under high humidity conditions may cause the deterioration of the insulation resistance of a capacitor.

An epoxy resin can be used as a less hygroscopic resin.

■ Other

1. Transportation

1. The performance of a capacitor may be affected by the conditions during transportation.

- 1-1. The capacitors shall be protected against excessive temperature, humidity, and mechanical force during transportation.

- (1) Climatic condition

- low air temperature: -40°C
- change of temperature air/air: -25°C/+25°C
- low air pressure: 30 kPa
- change of air pressure: 6 kPa/min.

- (2) Mechanical condition

Transportation shall be done in such a way that the boxes are not deformed and forces are not directly passed on to the inner packaging.

- 1-2. Do not apply excessive vibration, shock, or pressure to the capacitor.

- (1) When excessive mechanical shock or pressure is applied to a capacitor, chipping or cracking may occur in the ceramic body of the capacitor.

- (2) When the sharp edge of an air driver, a soldering iron, tweezers, a chassis, etc. impacts strongly on the surface of the capacitor, the capacitor may crack and short-circuit.

- 1-3. Do not use a capacitor to which excessive shock was applied by dropping, etc.

A capacitor dropped accidentally during processing may be damaged.

2. Characteristics Evaluation in the Actual System

1. Evaluate the capacitor in the actual system, to confirm that there is no problem with the performance and specification values in a finished product before using.
2. Since a voltage dependency and temperature dependency exists in the capacitance of high dielectric type ceramic capacitors, the capacitance may change depending on the operating conditions in the actual system. Therefore, be sure to evaluate the various characteristics, such as the leakage current and noise absorptivity, which will affect the capacitance value of the capacitor.
3. In addition, voltages exceeding the predetermined surge may be applied to the capacitor by the inductance in the actual system. Evaluate the surge resistance in the actual system as required.

GRM Series

GJM Series

GMA Series

GMD Series

GQM Series

GRJ Series

GR3 Series

KFM Series

KFR Series

LLA Series

LLL Series

LLM Series

LLR Series

Notice

Table des matières

1	Le condensateur.....	1
2	Couplage à une résistance (zappable pour les noobs qui veulent le rester).....	1
2.1	Condensateur série.....	3
2.1.1	période $T = 2\tau$	3
2.1.2	Période $T = 2\tau / 100$	3
2.1.3	Période $T = 2\tau * 100$	4
2.1.4	Filtrage passe-haut.....	5
2.2	Condensateur parallèle.....	6
2.2.1	période $T = 2\tau$	6
2.2.2	Période $T = 2\tau / 100$	7
2.2.3	Période $T = 2\tau * 100$	8
2.2.4	Filtrage passe-bas.....	8
2.3	Application à un circuit analogique ou digital.....	9
2.3.1	Analogique.....	9
2.3.2	Logique.....	10
3	Un peu de technologie des condensateurs.....	10
3.1	Le condensateur au papier-étain.....	10
3.2	condensateur papier-aluminium.....	11
3.3	le condensateur à huile.....	14
3.4	le condensateur film.....	15
3.5	Le condensateur céramique.....	15
3.6	La fiabilité du condensateur céramique.....	15
3.7	Le shoopage.....	17
3.8	L'ESR.....	17
3.9	La tension crête.....	18
3.10	Choix de la tension.....	18
3.11	Générateur de tension.....	20
3.12	Banc BEM.....	22
3.13	Mesure du courant de fuite sous haute tension.....	23
3.13.1	Mesures d'un lot de capas.....	23
4	Test d'endurance de capas.....	24
4.1	réalisation.....	24
4.2	Montage.....	24
4.3	Utilisation du bain.....	25
4.4	Pulse generator.....	26
4.5	Environment.....	26
4.6	The spark.....	27
4.7	The microcontroller board (μC).....	27
4.8	Schematics of the Digispark.....	29
4.9	results.....	30
4.10	Le module d'allumage électronique dans le banc d'endurance:.....	31
4.11	Solex / SEV green coil.....	32
4.12	Conclusions of the Digispark based generator.....	32
4.13	Le banc d'endurance.....	33



4.14	Essais d'endurance.....	34
4.15	Les capas en test.....	34
4.15.1	Papier.....	34
4.16	Résultat, état des électrodes après 60000 km / 1400 h.....	35
4.17	Alims chinoises.....	35
4.18	Program.....	35
5	Le choix du type de condensateur.....	36
6	Analyse de construction et préférences de condensateurs.....	38
6.1	Intro à l'analyse techno.....	38
6.2	Analyses.....	39
6.3	Tenue en tension.....	39
6.3.1	Capa TC-Tenta MKP : « le petit jaune ».....	41
6.3.2	Effets de l'eau.....	42
6.3.3	Comparaison Rifa.....	46
6.3.4	Conclusions sur le Tenta :.....	46
6.3.5	Défauts génériques du Tenta.....	46
6.3.6	Capa Kemet R46, « le petit gris ».....	46
6.3.7	caractéristiques du petit gris.....	48
6.3.8	essais de traction.....	48
6.4	Kemet R46 à fils souples.....	49
6.4.1	ERO F1774 <i>le gros gris à longs fils</i>	49
6.4.2	Kemet F862, « <i>le petit vert</i> ».....	51
6.4.3	caractéristiques génériques du petit vert.....	53
6.4.4	capa Wima MKP4, le petit rouge.....	53
6.4.5	essai de traction.....	54
6.4.6	Capa Wima MKP10,.....	55
	le gros rouge qui tache.....	55
6.4.7	Capa WIMA MP3-X2.....	56
6.4.8	TC tenta MKP, le tout petit jaune.....	57
6.4.9	Wima MKS4, <i>un petit canon de rouge</i>	58
6.4.10	capa axiale ERO X2.....	58
6.4.11	Montage recommandé des capas.....	59
6.5	Conclusions générales sur la construction des capas film.....	59
6.6	Classement des capas, dans l'ordre décroissant de qualité de construction :.....	60
6.7	Quelques montages mécaniques intéressants.....	61
		61
6.8	Appel au peuple.....	62
7	Valeurs classiques des capas.....	62
7.1	Valeurs normalisées.....	62
8	Capacimètre.....	63
8.1	le Voltcraft VC850.....	63
8.2	Multimètre TC1.....	64
8.3	Rigol DM3058.....	65
8.4	PeakTech 2170.....	66
8.5	Nano Pro.....	66
8.5.1	Schéma.....	67
8.5.2	programme.....	68
9	Le CDI.....	70



10 Condensateurs testés et précautions à prendre.....	71
11 Conclusions - Qu'alors y faire ?.....	72
12 Annexes.....	73
12.1 condensateurs film / papier neufs Wima.....	73
12.2 condensateurs céramiques MLCC.....	76

Index

1 fit = failure in time = 1 défaut par 10 puissance 9 heures, mille millions d'heures.....	38
alimentation chinoise.....	24
Bach.....	63
banc BEM Müller.....	22
Bernique.....	12
Bosch, Ottomotor management.....	40
britiche.....	71
cage de farfadet.....	34
Capacitive Discharge Ignition.....	70
cas d'espèce	46
CIA.....	15
coefficient de dilatation.....	38
condensateur Rifa.....	17
constante de temps.....	2
CTE.....	38
déparasitage secteur.....	41
diagramme de Bode.....	5
dwel.....	26
Entsörkondensator.....	49
ESR.....	1, 17
ESR est un paramètre très secondaire du condensateur.....	17
fidait.....	18
fit.....	16, 20, 24, 38, 45, 54, 56, 59, 63, 66
fit = failure in time = 1 défaut par 10 puissance 9 heures.....	38
générateur de Marx.....	15
Idiophile.....	11
IGM.....	33
IGS.....	12
îlotes aculturels.....	70
institut gériatrique des motos.....	33
institut gériatrique des Solex.....	12
KISS.....	26
Marin Mersenne.....	63
Mesures d'un lot de capas.....	23
Norme de sécurité X.....	18
NOS.....	38
NOS, New Old Stock.....	11
papier-étain.....	10



période.....	2
Pierre-Gilles de Gennes.....	10
ppm.....	15, 18, 72
ppm (parts per million).....	72
préconisations de brasure du fabricant.....	17
Rapn'pneus.....	12
RCA designer's handbook de 1957.....	19
résistance de fuite.....	1
résistance série.....	1
retard à l'allumage.....	37
Rhönault	25
Rifa.....	17
Rifa	46
RIP.....	71
Rolex.....	71
root cause.....	46
schoopage.....	10 sv, 17, 42, 48
série de Renard.....	63
strobo à tube à éclat.....	37
thermodurcissable.....	42
thermoplastique.....	42
tin whiskers.....	10
translateur.....	3
valeurs de l'impulsion d'allumage.....	38
volant magnifique.....	37
volant mirifique.....	37
X2.....	19
Y2.....	19
« strobos » à LED.....	37

IGEM fecit



Ce papier a été téléchargé plus de 10 000 fois depuis un an (au 8/09/2019)

